ส.ค. 2544



ผลของการจัดการทางการเกษตรในระบบเกษตรยั่งยืนที่มีต่อสมบัติของดินและสิ่งมีชีวิตในดิน

ขนิษฐา เจริญพานิช

อภินันทนาการ
จาก
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการวางแผนสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชนบท
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล
พ.ศ. 2544

ISBN 974-04-0762-5

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหิดล
Copyright by Mahidol University

ส.ค.
ขนฐ ผ
1 ก.ย. 44
ค.ส.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการจัดการทางการเกษตรในระบบเกษตรยั่งยืนที่มีต่อสมบัติของดินและสิ่งมีชีวิตในดิน

ชนิษฐา เจริญพานิช

นางสาวชนิษฐา เจริญพานิช
ผู้วิจัย

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกษม กุลประดิษฐ์ วท.ม.
ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....

อาจารย์เบญจภรณ์ ประภักดี วท.ม.
กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....

นายพิทยากร ลิ่มทอง Ph.D.
กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....

นายชวลิต ฮงประยูร Ph.D.
กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....

ศาสตราจารย์เลียงชัย ลิ้มล้อมวงศ์
Ph.D.
คณบดี
บัณฑิตวิทยาลัย

.....

อาจารย์สัญชัย สูติพันธ์วิหาร วท.ม.
ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการวางแผน
สิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชนบท
คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

Copyright by Mahidol University

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการจัดการทางการเกษตรในระบบเกษตรยั่งยืนที่มีต่อสมบัติของดินและสิ่งมีชีวิตในดิน

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการวางแผนสิ่งแวดล้อม

เพื่อพัฒนาชนบท

วันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ. 2544

ขนิษฐา เจริญพานิช

นางสาวขนิษฐา เจริญพานิช

ผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกษม กุลประดิษฐ์ วท.ม.

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

อาจารย์สุทธินันท์ นันทจิต วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

อาจารย์เบญจภรณ์ ประภักดี วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

นายพิทยากร ลิ่มทอง Ph.D.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

นายชวลิต ฮงประยูร Ph.D.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ศาสตราจารย์เลียงชัย ลิ้มล้อมวงศ์ Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์อนุชาติ พวงสำลี Ph.D.

คณบดี

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

Copyright by Mahidol University

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลแวดล้อมที่มีคุณค่าทั้งหลาย ผู้วิจัยจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์เกษม กุลประดิษฐ์ ประธานควบคุมและประธานการสอบวิทยานิพนธ์ และกรรมการควบคุมและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ 3 ท่าน คือ อาจารย์ขนุจกรณ์ ประภักดี ดร. ชวลิต ธงประยูร หัวหน้าภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน ดร. พิทยากร ลิ่มทอง หัวหน้ากลุ่มงานอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษาแนะนำ ตรวจทาน แก้ไข ตลอดจนให้ข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยครั้งนี้ตลอดมา และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์สุทธินันท์ นันทจิต ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งช่วยให้การศึกษาวิจัยเสร็จสมบูรณ์ขึ้นเท่าที่ผู้วิจัยพึงกระทำได้

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนฯและคณะ รวมทั้งคุณปรีชา คุณสุมธ และพี่แดง ที่ได้กรุณาช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดช่วงระยะเวลาของการเก็บข้อมูลในพื้นที่ศึกษา ขอขอบคุณในน้ำใจไมตรีของพี่ๆ ผู้ดูแลแปลงเกษตรยั่งยืนทุกท่านที่ได้สละแรงกายแรงใจช่วยเหลือผู้วิจัยในเรื่องการเก็บตัวอย่างดิน

ขอขอบพระคุณกองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน คุณไชยวัฒน์ เวสารัชตระกูล ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ขอบพระคุณภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กำแพงแสน คุณธรรรอง ใบกว้าง ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างแมลง ตลอดจนให้คำแนะนำในการคีย์ตัวอย่างแมลง

ขอขอบพระคุณโครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย ซึ่งร่วมจัดตั้งโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ รหัสโครงการ BRT 543078 ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยและให้โอกาสผู้วิจัยได้เข้ามามีส่วนร่วมในโครงการศึกษาสถานภาพความหลากหลายทางชีวภาพของดินในประเทศไทย

ขอขอบคุณ Dr. TAKEHIKO KENZAKA ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้กล้องจุลทรรศน์ในการถ่ายภาพจุลินทรีย์ดิน ขอบคุณน้องกบES.4 และพี่ป๊อกRD.3 ที่ช่วยให้ผู้วิจัยได้มีภาพสวยๆในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอบคุณอิงET.25 พี่มด และจอห์น ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่อง SCAN ภาพ ขอบคุณพี่เตี้ยและ Mr. Ian Grangeที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องบทความภาษาอังกฤษ

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำและการดูแลตลอดช่วงระยะเวลาในการทำLab ขอบคุณจีRD.4 และน้องนกET.25ที่ช่วยสอนเทคนิคการแยกเชื้อให้บริสุทธิ์ ขอบคุณสำหรับมิตรภาพและน้ำใจของพี่ฝนET.25 ก้อง ดวงRD.4 น้องแนนและตุ๊กตาES.4 ที่มีให้กันตลอดช่วงระยะเวลาในการทำLab ขอบคุณพี่ๆ และ เพื่อนๆ RD ทุกคน ที่ช่วยเพิ่มพูนประสบการณ์ที่หลากหลายในการดำเนินชีวิตของผู้วิจัย และขอขอบคุณทุกแรงบันดาลใจที่มีส่วนในการผลักดันให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้

ขอบคุณพี่อดิศร ที่เป็นผู้ช่วยที่ดีในการเก็บข้อมูลและคอยช่วยเหลือในทุกๆ เรื่องเสมอมา

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับคุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัวเจริญพานิช ที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น และกำลังใจ รวมถึงทุนทรัพย์ในการทำวิจัยแก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา และอดทนรอคอยความสำเร็จในครั้งนี้ด้วยความห่วงใยตลอดมา

ขนิษฐา เจริญพานิช

Copyright by Mahidol University

4036841 ENRD/M : สาขาวิชา : เทคโนโลยีการวางแผนสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชนบท ;
วท.ม. (เทคโนโลยีการวางแผนสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชนบท)
คำสำคัญ : เกษตรยั่งยืน / ดิน / ระบบนิเวศดิน / สิ่งมีชีวิตในดิน

ชนิษฐา เจริญพานิช : ผลของการจัดการทางการเกษตรในระบบเกษตรยั่งยืนที่มีต่อสมบัติของดินและสิ่งมีชีวิตในดิน (EFFECT OF AGRICULTURAL MANAGEMENT IN SUSTAINABLE AGRICULTURAL SYSTEMS ON SOIL PROPERTIES AND SOIL ORGANISMS)
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกษม กุลประดิษฐ์, วท.ม., เบญจภรณ์ ประภักดี, วท.ม., ชวลิต ยงประยูร, Ph.D., พิทยากร ลิ่มทอง, Ph.D. 258 หน้า. ISBN 974-04-0762-5

การศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินภายหลังที่มีการจัดการทางการเกษตรด้วยระบบเกษตรยั่งยืน โดยศึกษาชนิดและปริมาณของสิ่งมีชีวิตในดิน ประกอบด้วย สัตว์ในดิน จุลินทรีย์ดิน รวมทั้งแมลงเหนือผิวดิน นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในดินที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน พื้นที่ศึกษาเป็นแปลงสาธิตของโครงการวิจัยระบบเกษตรยั่งยืนในศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งเริ่มดำเนินการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 บนดินชุดมาบบอนกลุ่มชุดดินที่ 35 โดยวิธีปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักเปรียบเทียบปุ๋ยหมักธรรมชาติในพืชผัก

ผลการศึกษาพบว่า คุณสมบัติของดินภายหลังที่มีการจัดการทางการเกษตรด้วยระบบเกษตรยั่งยืน มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น พิจารณาจาก ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ความชื้นในดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน อัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ และค่าความอิ่มตัวด้วยด่างของดิน เหล่านี้ ที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ยังพบความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดินและเหนือดิน ซึ่งจัดว่าเป็นดัชนีชี้วัดความสมบูรณ์ทางชีวภาพของดิน โดยพบสิ่งมีชีวิตพวกไส้เดือนดิน รองลงมาคือ พวกแมลงกลุ่มต่างๆ ตะขาบ แมงมุม และกิ้งกือ ตามลำดับ ส่วนแมลงเหนือผิวดินที่พบมากที่สุดจัดอยู่ใน Order Coleoptera รองลงมา คือ Order Homoptera Diptera และ Orthoptera ซึ่งแมลงที่พบส่วนใหญ่เป็นแมลงที่มีประโยชน์ อย่างเช่น แมลงตัวห้ำ แมลงตัวเบียน และแมลงผสมเกสร ขณะเดียวกันก็มีแนวโน้มทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน คือ แบคทีเรีย รา และแอคทิโนมัยสีท เพิ่มขึ้นด้วย โดยพบจุลินทรีย์ย่อยสลายเศษพืชอย่างเช่น ราในกลุ่ม *Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.*, *Trichoderma spp.* และแอคติโนมัยสีท พวก *Streptomyces spp.* เป็นต้น

จากผลการศึกษาดังกล่าวจะเห็นได้ว่า การจัดการด้วยระบบเกษตรยั่งยืนช่วยปรับปรุงสมบัติของดินให้ดีขึ้น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในลักษณะเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของระบบนิเวศระหว่างความหลากหลายทางชีวภาพของดิน สังคมพืชบนดิน สัตว์ในดิน จุลินทรีย์ดิน รวมทั้งศึกษาเกี่ยวกับภาวะมลพิษของดินอันเนื่องมาจากการจัดการทางการเกษตรที่มีผลกระทบต่อความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดิน

Copyright by Mahidol University

4036841 ENRD/M : MAJOR : TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PLANNING FOR RURAL DEVELOPMENT ; M.Sc. (TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PLANNING FOR RURAL DEVELOPMENT)
KEY WORD : SUSTAINABLE AGRICULTURE / SOIL / SOIL ECOLOGY / SOIL ORGANISMS

KANITTA CHAROENPANIT : EFFECT OF AGRICULTURAL MANAGEMENT IN SUSTAINABLE AGRICULTURAL SYSTEMS ON SOIL PROPERTIES AND SOIL ORGANISMS. THESIS ADVISOR : KASEM KULPRADIT, M.Sc., BENJAPHORN PRAPAGDEE, M.Sc., CHAWALIT HONGPRAYOON, Ph.D., PITAYAKON LIMTONG , Ph.D. 258 p. ISBN 974-04-0762-5.

The objective of this research was to study the effect of agricultural management on soil properties and soil organisms. The effect of agricultural management systems was assessed by evaluating changes to the soil properties and to the soil flora and fauna. Relationships between soil physico-chemical properties and soil organisms were determined and bio-indicator species of soil quality and health were identified. The experiment was begun in 1994 and was conducted at Khao Hin Sorn Royal Development Study Center, Phanomsarakam, Chachoengsao Province. The soil was that of the Mapbon soil series (group 35) and the soil properties measured were: soil water holding capacity, moisture content, organic matter, C/N ratio, total N, available P, exchangeable K, and base saturation. The soil organisms, in terms of species numbers and diversity, were assessed both above and below the soil surface.

Five different soil surface mulch systems were tested. All the soil mulch systems tested improved the general quality of the soil. The most easily observable macro-organisms in decreasing order of abundance occurred as follows: earthworms, centipedes, spiders, and millipedes. In turn, these macro-organisms could be used as bio-indicators of soil health in the same order as given above. Soil surface insects that were found, in order of greatest diversity first, were: Order Coleoptera, Order Homoptera, Diptera, and Orthoptera. Most of these are beneficial insects such as insect predators, insect parasites, or plant pollinators. There were also beneficial soil micro-organisms found at significantly greater densities in the mulched plots compared to the control plot, with some of the species being absent in the control plots. Some of the beneficial micro-organisms found in the mulched plots included: *Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.*, *Trichoderma spp.*, and *Streptomyces spp.*

The study found that agricultural management greatly improved the quality of soil. Further studies should be carried out to examine the relationships between soil, plant, micro-organisms, and macro-organisms. The effect of agricultural management on soil pollution should also be studied.

Copyright by Mahidol University

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญภาพ.....ฎ
บทที่ 1. บทนำ
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 กรอบแนวคิดของการศึกษา.....4
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....5
1.4 สมมติฐานในการวิจัย.....5
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....5
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....6
1.7 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย.....7
1.8 คำย่อที่ใช้ในการวิจัย.....8
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม
2.1 สิ่งมีชีวิตในดิน
2.1.1 สัตว์ในดิน.....9
2.1.2 จุลินทรีย์ดิน..... 29
2.2 ระบบเกษตรยั่งยืน
2.2.1 แนวคิดและความหมายของเกษตรยั่งยืน.....37
2.2.2 ตัวชี้วัดความเป็นเกษตรยั่งยืน.....44
2.2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรแบบยั่งยืน.....48
2.3 สภาพพื้นที่ศึกษา
2.3.1 สภาพทางกายภาพทั่วไปของศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนฯ.....56
2.3.2 ข้อมูลพื้นฐานของแปลงสาธิตการศึกษาทดลองในพื้นที่ของศูนย์ฯ.....59

Copyright by Mahidol University

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย
3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของพื้นที่ศึกษาและการวางแผนการทดลอง.....64
3.2 การปลูกพืช.....66
3.3 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของดิน.....68
3.4 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน.....69
3.5 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพของดิน.....70
3.6 การเก็บตัวอย่างพืชเพื่อการวิเคราะห์ปริมาณของรากพืช.....76
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล.....77
3.8 สถานที่ศึกษา.....77
3.9 แผนการดำเนินการวิจัย.....78
3.10 งบประมาณที่ใช้ในการวิจัย.....78
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล
4.1 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน.....79
4.2 ความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดิน
4.2.1 ความหลากหลายของสัตว์ในดิน.....100
4.2.2 ความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดิน.....112
4.2.3 ความหลากหลายของจุลินทรีย์ดิน..... 122
4.3 ปริมาณของรากพืชและผลผลิตของพืช
4.3.1 ปริมาณของรากพืช.....135
4.3.2 ผลผลิตของพืช..... 138
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตในดินกับคุณสมบัติของดิน 140
4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน
4.5.1 รูปแบบและวิธีการจัดการทางการเกษตร.....147
4.5.2 ชนิดของพืช.....148

Copyright by Mahidol University

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน.....150

5.1.2 ความหลากหลายของสัตว์ในดิน.....151

5.1.3 ความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดิน.....152

5.1.4 ความหลากหลายของจุลินทรีย์ดิน.....152

5.1.5 ปริมาณของรากพืชและผลผลิตของพืช.....153

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย.....156

5.2.2 ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไป.....156

รายการอ้างอิง.....157

ภาคผนวก ก สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ.....167

ภาคผนวก ข ข้อมูลคุณสมบัติดินก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต

ข้อมูลสัตว์ในดินก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต

ข้อมูลจุลินทรีย์ดินก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต.....171

ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....196

ประวัติผู้วิจัย.....250

EXECUTIVE SUMMARY.....251

Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1 อิทธิพลของสิ่งมีชีวิตในดินที่มีต่อขบวนการต่างๆในระบบนิเวศดิน.....1
2 ผลกระทบจากการจัดการดินด้วยระบบเกษตรสมัยใหม่ที่มีต่อ Arthropod Predators.....18
3 การเปรียบเทียบการจัดการไร่องุ่นในรูปแบบเกษตรอินทรีย์ เกษตรชีวภาพหมุนเวียน และเกษตรสมัยใหม่ใน Lower Austria.....20
4 กิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ดินที่มีความสำคัญต่อรากพืชและอาณาเขตของรากพืช.....30
5 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินในพื้นที่ใกล้เคียงและพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน.....81
6 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนก่อนและหลังการปลูกพืช.....92
7 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองของสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินในพืชข้าวโพดหวานทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต.....93
8 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองของสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินในพืชถั่วฝักยาวทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต.....94
9 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองของสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินในพืชมะระจีนทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต.....95
10 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองของสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินในพืชแตงร้านทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต.....96
11 ความหนาแน่นของสัตว์ในดินกลุ่มเด่นๆ ที่พบในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน 102
12 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองของสัตว์ในดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน.....103
13 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชนิดพืชของสัตว์ในดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน.....104
14 ความหลากหลายของสัตว์ในดินของแต่ละตำรับการทดลองในช่วงก่อนปลูก.....108

Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

15 ความหลากหลายของสัตว์ในดินของแต่ละตำรับการทดลองในช่วงหลังเก็บเกี่ยว....108
16 ความหลากหลายของสัตว์ในดินของแต่ละชนิดพืชในช่วงหลังเก็บเกี่ยว.....109
17 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองของแต่ละชนิดพืชในช่วงหลังเก็บเกี่ยว.....110
18 ชนิดและปริมาณของแมลงเหนือผิวดินที่พบในแต่ละตำรับการทดลองของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน.....114
19 ชนิดและปริมาณของแมลงเหนือผิวดินที่พบในแต่ละชนิดพืชของแมลงเหนือผิวดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน.....117
20 เปรียบเทียบความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดินในแต่ละตำรับการทดลอง 120
21 เปรียบเทียบความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดินในแต่ละชนิดพืช 120
22 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินระหว่างตำรับการทดลองในพืชข้าวโพดหวานทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว.....123
23 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินระหว่างตำรับการทดลองในพืชถั่วฝักยาวทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว.....123
24 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินระหว่างตำรับการทดลองในพืชมะระจีนทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว.....124
25 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินระหว่างตำรับการทดลองในพืชแตงร้านทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว.....124
26 เปรียบเทียบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินของแต่ละตำรับการทดลองในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต.....125
27 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียในดินที่พบในพื้นที่ศึกษา.....128
28 ลักษณะโคโลนีของแอคติโนมัยสีทในดินที่พบในพื้นที่ศึกษา.....131
29 ลักษณะโคโลนีและชนิดของราในดินที่พบในพื้นที่ศึกษา.....131
30 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความกว้างและความยาวของรากในแต่ละตำรับการทดลองของแต่ละชนิดพืช.....136

©Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

31 เปรียบเทียบความแตกต่างมวลของรากโดยน้ำหนักสดและแห้งในแต่ละตำรับการทดลองของแต่ละชนิดพืช.....138
32 เปรียบเทียบผลผลิตของพืชผัก (กิโลกรัม/แปลง)ในแต่ละตำรับการทดลอง.....139
33 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินที่มีต่อสัตว์ในดินและจุลินทรีย์ดิน.....140
ผ-1 ตำแหน่งแปลงทดลองในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน.....172
ผ-2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....173
ผ-3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต.....178
ผ-4 ชนิดและจำนวนตัวที่พบของสัตว์ในดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่ศึกษาในช่วงก่อนปลูก.....183
ผ-5 ชนิดและจำนวนตัวที่พบของสัตว์ในดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่ศึกษาในช่วงหลังเก็บเกี่ยว.....188
ผ-6 เปรียบเทียบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต.....193
ผ-7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....197
ผ-8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของความชื้นดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....198
ผ-9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของสภาพกรดด่างของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....199

Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

ผ-10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณอินทรียวัตถุในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....200
ผ-11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....201
ผ-12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....202
ผ-13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....203
ผ-14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....204
ผ-15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....205
ผ-16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....206
ผ-17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....207

Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

ผ-18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของค่าความอิ่มตัวด้วยด่างของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....208
ผ-19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....209
ผ-20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....210
ผ-21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....211
ผ-22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....212
ผ-23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก).....213
ผ-24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของความชื้นดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก).....214
ผ-25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของสภาพกรดด่างของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก).....215

Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

ผ-26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณอินทรียวัตถุในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก).....216
ผ-27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลัง-ก่อน).....217
ผ-28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก).....218
ผ-29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก).....219
ผ-30 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก).....220
ผ-31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก).....221
ผ-32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก).....222
ผ-33 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก).....223

Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

ผ-34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของค่าความอิ่มตัวด้วยด่างของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก).....224
ผ-35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก).....225
ผ-36 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก).....226
ผ-37 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก).....227
ผ-38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA)ของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก).....228
ผ-39 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....229
ผ-40 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของความชื้นดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....230
ผ-41 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของสภาพกรดด่างของดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....231
ผ-42 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของปริมาณอินทรียวัตถุของดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....232

Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

ผ-43 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....233
ผ-44 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....234
ผ-45 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....235
ผ-46 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....236
ผ-47 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....237
ผ-48 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....238
ผ-49 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของค่าความอิ่มตัวด้วยด่างของดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....239
ผ-50 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....240

Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

ผ-51 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....241

ผ-52 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก.....242

ผ-53 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของความชื้นดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว.....243

ผ-54 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของปริมาณอินทรียวัตถุของดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว.....244

ผ-55 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว.....245

ผ-56 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว.....246

ผ-57 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว.....247

ผ-58 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว.....248

Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

ผ-59 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-way ANOVA)ของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว.....249

Copyright by Mahidol University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่

1. แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดิน/พืช/สิ่งมีชีวิตในดิน.....2
2. กรอบแนวคิดของการวิจัย.....4
3. การจำแนกสัตว์ในดินตามขนาดตัว.....11
4. แผนผังแสดงขนาดของร่างกายและขนาดของที่อยู่อาศัยซึ่งสัมพันธ์กับรูปแบบการหากิน.....13
5. (ก) Berlese Tullgren funnel (ข) Baermann funnel.....15
6. วงจรปัญหาของเกษตรกรรมเคมี.....36
7. แผนที่ เส้นทางและที่ตั้งของแปลงศึกษาทดลองภายในศูนย์ฯ.....60
8. ขั้นตอนในการศึกษา.....65
9. แผนผังแสดงแปลงศึกษาทดลองซึ่งมีการจัดการด้วยระบบเกษตรยั่งยืน.....67
10. แสดงจุดเก็บตัวอย่างดิน 1 แปลงผัก.....68
11. แผนผังแสดงตำแหน่งการวางกับดักกาวเหนียวเพื่อสุ่มเก็บตัวอย่างแมลงผิวดินในแปลงเกษตรยั่งยืน.....73
12. การทำ Serial dilution เพื่อนำมาทำ Plate count โดยวิธี Pour plate 75
13. ตัวอย่างของสัตว์ในดินที่พบในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน.....101
14. ลักษณะ Single colony บนอาหารเลี้ยงเชื้อของแบคทีเรียที่พบในดินตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา.....129
15. ลักษณะโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อของแอคติโนมัยสีทที่พบในดินตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา.....130
16. ลักษณะโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อของราในดินตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา.....132
17. ลักษณะสปอร์ของเชื้อราที่แยกได้จากดินภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย40 เท่า.....133
18. เปรียบเทียบความกว้างและความยาวของรากในแต่ละตำรับการทดลองของแต่ละชนิดพืช.....137

Copyright by Mahidol University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

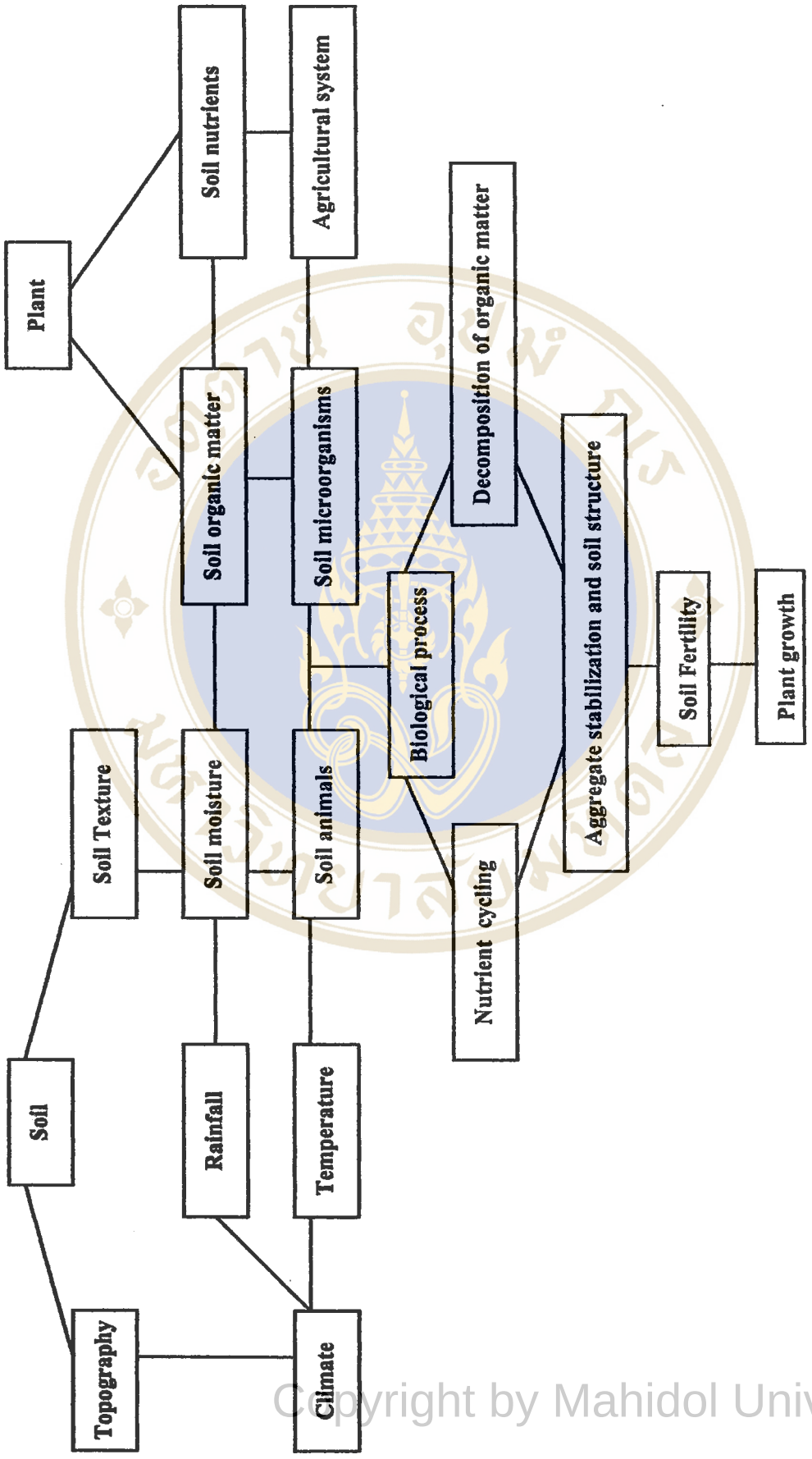
ดินเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหลายชนิด อย่างเช่น จุลินทรีย์ดินและสัตว์ในดิน ซึ่งการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ ก่อให้เกิดกิจกรรมต่างๆ ตามมามากมายและมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของดินและระบบนิเวศดิน เช่น การย่อยสลายอินทรียวัตถุ การผสมคลุกเคล้าภายในหน้าตัดดิน การหมุนเวียนของธาตุอาหารพืช และความคงทนของโครงสร้างดิน (ตารางที่ 1) ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ ล้วนมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช ขณะเดียวกันปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันของแต่ละพื้นที่ เช่น สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ ชนิดของพืช ตลอดจนรูปแบบการจัดการทางการเกษตร ก็มีความสัมพันธ์กับความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดินดังแสดงในภาพที่ 1 (1)

ตารางที่ 1 อิทธิพลของสิ่งมีชีวิตในดินที่มีต่อสมบัติของดินและระบบนิเวศดิน

	การหมุนเวียนของธาตุอาหาร	การเกิดโครงสร้างดิน
จุลินทรีย์ดิน	- เร่งกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุ - มีส่วนในกระบวนการ Mineralization และ Immobilization ของธาตุอาหารในดิน	- ผลิตสารอินทรีย์มาเชื่อมอนุภาคดิน - เส้นใยของราช่วยยึดอนุภาคดินขนาดเล็กให้จับตัวเป็นก้อน
สัตว์ในดิน ขนาดเล็ก	- ส่งเสริมประชากรของราและแบคทีเรียในดิน -ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายดินโดยการผสมระหว่างดินบนกับดินล่าง	- ทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนของเม็ดดินร่วมกับจุลินทรีย์ดิน
สัตว์ในดิน ขนาดกลาง	-ส่งเสริมการเพิ่มประชากรของราและสัตว์ในดินขนาดเล็ก -ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายดินโดยการผสมระหว่างดินบนกับดินล่าง - ย่อยสลายซากพืช	- ผลิต fecal pellets - ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน - ส่งเสริมกระบวนการสร้างสารฮิวมิก
สัตว์ในดิน ขนาดใหญ่	- ย่อยสลายซากพืช - กระตุ้นกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน	- ผสมคลุกเคล้าอินทรียสารและอนินทรีย์สาร - เพิ่มอินทรียวัตถุและจุลินทรีย์ดิน - ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน - ส่งเสริมกระบวนการสร้างสารฮิวมิก - ผลิตfecal pellets

ที่มา : Clive A. Edwards (1)

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 1 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดิน/พืช/สิ่งมีชีวิตในดิน

Copyright by Mahidol University

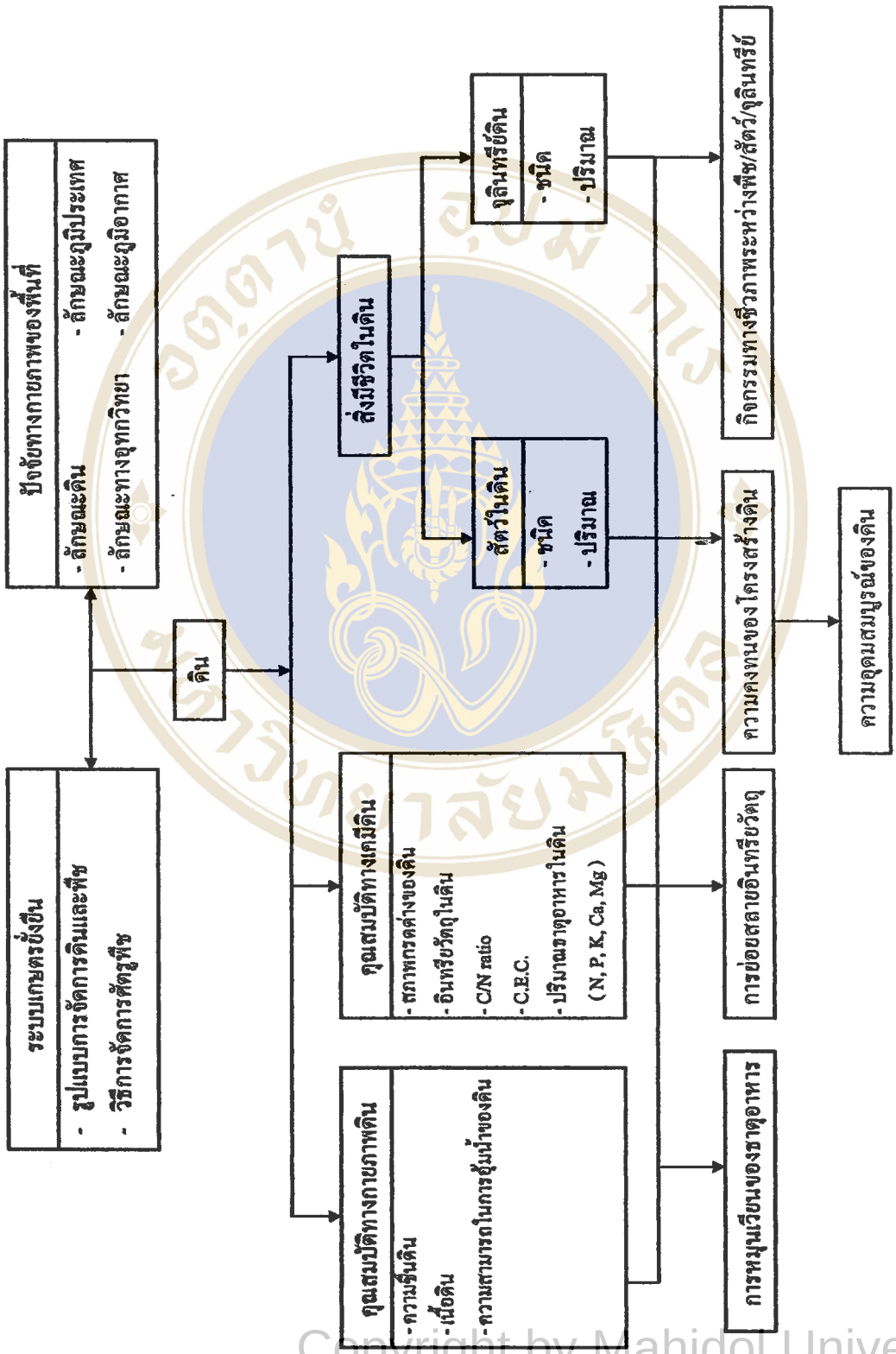
แต่จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับดิน พบว่า ดินในประเทศไทยส่วนใหญ่ประสบปัญหาดินเสื่อมโทรม ซึ่งมีสาเหตุมาจากการชะล้างพังทลายของหน้าดินส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินลดลง ประกอบกับรูปแบบและวิธีการทำการเกษตรในปัจจุบัน มีการใช้เทคโนโลยีทางการผลิต อาทิ เครื่องจักรกลและสารเคมีทางการเกษตรที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้โครงสร้างของดินถูกทำลายดินมีการอัดแน่นแข็ง ความสามารถในการเก็บกักน้ำและดูดยึดธาตุอาหารในดินลดลง จนทำให้จำนวนสิ่งมีชีวิตที่เป็นประโยชน์ในดินลดลงตามไปด้วย

จากปัญหาดังกล่าวจึงเกิดแนวคิดในการปรับปรุงคุณภาพดินที่มีสภาพเสื่อมโทรมให้อยู่ในสภาพที่จะปลูกพืชได้ภายใต้แนวทางการพัฒนาการเกษตรแบบยั่งยืน ที่เน้นให้มีการปรับปรุงดินให้อุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติด้วยอินทรียวัตถุและสิ่งมีชีวิตในดิน โดยใช้เทคนิคการปรับปรุงดินที่ทำได้ง่าย เช่น การใช้พืชและสัตว์เป็นแหล่งของธาตุอาหารพืชในดิน, การใช้ระบบการปลูกพืช เช่น การปลูกพืชคลุมดิน/การปลูกพืชหมุนเวียน/การปลูกพืชต่างชนิดแบบผสมผสาน, การใช้วัสดุปรับปรุงดิน เช่น ปุ๋ยอินทรีย์, ปุ๋ยพืชสด, ปุ๋ยชีวภาพ และการใช้วิธีทางธรรมชาติในการควบคุมศัตรูพืช เช่น การใช้สารสกัดจากพืช การใช้แมลงตัวห้ำตัวเบียน เป็นต้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการทางธรรมชาติที่ไม่ทำให้เกิดผลกระทบทางลบต่อสภาพแวดล้อม และเป็นที่ยอมรับกันว่าสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยเคมีได้ นอกจากนี้ยังไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพดินและโครงสร้างของดินอีกด้วย

พื้นที่บริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อ. พนมสารคาม จ. ฉะเชิงเทรา เป็นพื้นที่หนึ่งซึ่งชุดดินที่พบส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 35 ได้แก่ ดินชุดมาบบอนจันทึก ซึ่งเป็นกลุ่มดินที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ มีความสามารถในการอุ้มน้ำและดูดซับแร่ธาตุอาหารได้น้อย ดังนั้นการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่จึงเป็นการปลูกพืชไร่ เช่น มันสำปะหลังและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ แต่หลังจากที่ได้นำเทคนิคการปรับปรุงดินตามแนวทางเกษตรยั่งยืนเข้ามาใช้ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินดีขึ้น ส่งผลให้เกิดความหลากหลายของรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน และเนื่องจากในพื้นที่ดังกล่าวยังไม่มีการศึกษาทางด้านนิเวศวิทยาของสิ่งมีชีวิตในดินซึ่งถือว่าเป็นดัชนีชี้วัดคุณสมบัติทางชีวภาพของดิน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาวิจัย เพื่อให้เข้าใจถึงความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดินในระบบเกษตรยั่งยืน รวมทั้งอิทธิพลของปัจจัยแวดล้อมต่างๆที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงคุณภาพดินในพื้นที่อื่นๆและนำไปสู่การอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดินต่อไป

Copyright by Mahidol University

1.2 กรอบแนวคิดของการศึกษา



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดของการวิจัย

Copyright by Mahidol University

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาผลของระบบการจัดการดินและพืชในระบบเกษตรยั่งยืนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ, เคมี และชีวภาพของดิน

1.3.2 เพื่อศึกษาชนิด และปริมาณของสัตว์ในดินและจุลินทรีย์ดิน ภายใต้ระบบการจัดการดินและพืชด้วยระบบเกษตรยั่งยืน

1.3.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในดินกับสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดินที่เปลี่ยนแปลงไปภายใต้ระบบการจัดการดินและพืชด้วยระบบเกษตรยั่งยืน

1.4 สมมติฐานในการวิจัย

1.4.1การจัดการดินและพืชในระบบเกษตรยั่งยืนมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินในเชิงบวก

1.4.2 การจัดการดินและพืชในระบบเกษตรยั่งยืนมีความสัมพันธ์กับสิ่งมีชีวิตในดินทั้งในด้านชนิดและปริมาณ

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ขอบเขตทางด้านเนื้อหา

1.5.1.1 ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ ภายหลังที่มีการจัดการดินและพืชด้วยระบบเกษตรยั่งยืน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ดินทางปฐพีวิทยาร่วมกับวิธีการวิเคราะห์ดินทางนิเวศวิทยาและจุลชีววิทยา โดยทำการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนปลูกพืชและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต

1.5.1.2 ศึกษาชนิดและปริมาณของสิ่งมีชีวิตในดิน และผลที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและคุณสมบัติของดิน โดยการเก็บรวบรวมสิ่งมีชีวิตในดิน อันประกอบด้วย สัตว์ในดินขนาดใหญ่ ซึ่งได้แก่ ไส้เดือนดิน กิ้งกือ ตะขาบ หอยทาก ด้วง แมงป่อง แมงมุม แมลงกระชอน มด ปลวก และสัตว์ในดินขนาดกลาง ซึ่งได้แก่ แมลงหางดีด ไรดิน แมลงสองง่าม แมลงสามง่าม แมลงวัน

1.5.1.3 ศึกษาแมลงเหนือผิวดินและแมลงในอากาศโดยใช้กับดักกาวเหนียว (Sticky trap)

Copyright by Mahidol University

1.5.1.4 ศึกษาจุลินทรีย์ดิน 3 กลุ่มหลักคือ แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยสีท เพื่อนำมาจำแนกกลุ่ม นับจำนวน

1.5.1.5 ศึกษาปริมาณของรากพืชซึ่งมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารของพืชและมีความสัมพันธ์กับความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดิน โดยเก็บตัวอย่างพืชหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต ตลอดจนศึกษาผลผลิตของพืชในระบบเกษตรยั่งยืน

1.5.1.6 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการจัดการด้วยระบบเกษตรยั่งยืนกับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินและผลกระทบต่อความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดิน

1.5.1.7 ศึกษาปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ดังต่อไปนี้ คือ เนื้อดิน ความชื้นดิน ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน สภาพกรดด่างของดิน ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน อัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ ปริมาณประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ และค่าความอิ่มตัวด้วยด่างของดิน

1.5.2 ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา ได้แก่ พื้นที่ซึ่งมีการจัดการด้วยระบบเกษตรยั่งยืนในแปลงสาธิตโครงการปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักธรรมชาติบนดินชุดมาบบอนในพื้นที่ภายในศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อ. พนมสารคาม จ. ฉะเชิงเทรา ซึ่งแปลงทดลองดังกล่าวเริ่มทำการปลูกพืชผักแบบต่างชนิดผสมผสานอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปีพ.ศ. 2537 – 2543 รวมระยะเวลาที่ทำจนถึงปัจจุบัน 7 ปีและพื้นที่ใกล้เคียงบนดินชุดมาบบอนดั้งเดิมซึ่งไม่มีการจัดการทางการเกษตร

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1ทำให้ทราบว่ามีปัจจัยใดที่เป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดินภายใต้การจัดการดินและพืชด้วยระบบเกษตรยั่งยืน

1.6.2ทำให้ทราบว่าการจัดการดินและพืชด้วยระบบเกษตรยั่งยืนมีผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดินทั้งในด้านชนิด และปริมาณ

Copyright by Mahidol University

1.6.3 ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตในดินกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงคุณภาพดินในพื้นที่อื่นๆ ต่อไป

1.6.4 ชี้ให้เห็นว่าการจัดการดินและพืชด้วยระบบเกษตรยั่งยืน ช่วยปรับปรุงคุณภาพดินให้ดีขึ้นทั้งทางด้านโครงสร้างทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีตลอดจนส่งเสริมให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดินอันเป็นปัจจัยสำคัญในเรื่องของความสมดุลของวงจรธาตุอาหารและระบบนิเวศเกษตร

1.7 นิยามศัพท์

1.7.1 ระบบเกษตรยั่งยืน หมายถึง ระบบการผลิตทางการเกษตรและวิถีการดำเนินชีวิตของเกษตรกรที่เอื้ออำนวยต่อการฟื้นฟูและการดำรงรักษาไว้ซึ่งความสมดุลของระบบนิเวศและสภาพแวดล้อม โดยมีผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ สังคมที่เป็นธรรม ส่งเสริมการพัฒนาคุณภาพชีวิตของเกษตรกรและผู้บริโภค รวมทั้งพัฒนาสถาบันทางสังคมของชุมชนท้องถิ่น ทั้งนี้เพื่อความผาสุขและความอยู่รอดของมวลมนุษย์ชาติโดยรวม

1.7.2 สิ่งมีชีวิตในดิน หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในดินได้แก่ สัตว์ในดินและจุลินทรีย์ดิน

1.7.3 สัตว์ในดิน หมายถึง สัตว์ที่อาศัยอยู่ในดินทั้งพวกที่อาศัยอยู่ในดินตลอดชีวิตหรือพวกที่มีบางช่วงของชีวิตอยู่ในดิน ซึ่งมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดิน ได้แก่ ไส้เดือนดิน หอยทาก แมงมุม ไรดิน แมงป่อง แมงป่องเทียม แมงมุมขายาว กิ้งกือ ตะขาบ แมลงสองง่าม แมลงสามง่าม แมลงหางดีด แมลงกระชอน ปลวก ตัวอ่อนของด้วงและแมลงวันตลอดจนต่อรังและมด

1.7.4 จุลินทรีย์ดิน หมายถึง กลุ่มสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเกินกว่าจะมองเห็นด้วยตาของมนุษย์ซึ่งอาศัยอยู่ในดินและมีบทบาทในกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในดิน ตลอดจนมีความสัมพันธ์กับสิ่งมีชีวิตอื่นๆในระบบนิเวศ ได้แก่ แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยสีท

1.7.5 แมลงเหนือผิวดิน หมายถึง แมลงที่มีวงจรชีวิตส่วนใหญ่อยู่บนดิน แต่จะดำรงชีวิตอยู่ตามผิวดินเพื่อหากิน วางไข่หรือหลบซ่อนศัตรู ได้แก่ ด้วง มวน เพลี้ย และแมลงวัน

1.7.6 ระบบนิเวศดิน หมายถึง ความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในดินอันได้แก่ พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ กับสิ่งแวดล้อมในดิน (เช่น ขนาดของอนุภาคดิน สารอนินทรีย์ในดิน อากาศในดิน น้ำในดิน และอุณหภูมิดิน) ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างตัวของดิน การหมุนเวียนของแร่ธาตุและพลังงานในดิน

Copyright by Mahidol University

1.8 คำย่อที่ใช้ในการวิจัย

ซม.	=	เซนติเมตร
ม.	=	เมตร
ตร.ม.	=	ตารางเมตร
มม.	=	มิลลิเมตร
มล.	=	มิลลิลิตร
mg	=	มิลลิกรัม
กก.	=	กิโลกรัม
ก.	=	กรัม
ชม.	=	ชั่วโมง
$^{\circ}C$	=	องศาเซลเซียส
T1	=	ตำรับการทดลองที่ 1
T2	=	ตำรับการทดลองที่ 2
T3	=	ตำรับการทดลองที่ 3
T4	=	ตำรับการทดลองที่ 4
T5	=	ตำรับการทดลองที่ 5
R1	=	ซ้ำที่ 1
R2	=	ซ้ำที่ 2
R3	=	ซ้ำที่ 3
R4	=	ซ้ำที่ 4

Copyright by Mahidol University

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 สิ่งมีชีวิตในดิน (Soil Organisms)

ข้างใต้พื้นดินมีสังคมของสิ่งมีชีวิตที่ซับซ้อนอาศัยอยู่มากมายตั้งแต่สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กมาก อย่างเช่น จุลินทรีย์ดินไปจนถึงสัตว์ในดินขนาดใหญ่ ซึ่งสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดเหล่านี้ล้วนมีบทบาทที่สำคัญในสายใยชีวิตของระบบนิเวศดิน ตัวอย่างเช่น ทำให้เกิดการสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ในดิน ช่วยปรับสภาพดินให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช ทำให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารและพลังงาน ตลอดจนมีส่วนทำให้เกิดกระบวนการสร้างสารฮิวมิก ซึ่งช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน และที่สำคัญคือสิ่งมีชีวิตในดินจัดเป็นดัชนีชี้วัดความสมบูรณ์ทางชีวภาพของคุณภาพดิน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะจำแนกสิ่งมีชีวิตในดินเป็นกลุ่มหลักๆ ได้ดังนี้

1) สัตว์ในดิน (soil animals) ซึ่งประกอบด้วย Non- arthropod animals คือ Oligochaeta (ไส้เดือนดินและenchytraeid worms) Gastropoda (หอยทาก) Arthropod animals ได้แก่ Arachnida {Araneida(แมงมุม) Acarina(ไรดิน) Chelonothi(แมงป่องเทียม) Scorpiones(แมงป่อง) Opiliones (แมงมุมขายาว)} Diplopoda (กิ้งกือ) Chilopoda (ตะขาบ) และพวกแมลงต่างๆ ซึ่งจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ Apterygota (พวกแมลงไม่มีปีก) ได้แก่ ตัวสองง่าม ตัวสามง่าม แมลงหางดีด และ Pterygota (พวกแมลงที่มีปีก) ได้แก่ Orthoptera (จิ้งหรีด/ตั๊กแตน/แมลงกระชอน) Isoptera (ปลวก) Coleoptera (ด้วงปีกแข็ง) Diptera (แมลงวัน) Dermaptera (แมลงหางหนีบ) Hymenoptera (ผึ้ง/ต่อ/แตนและมด)

2) จุลินทรีย์ดิน(soil microorganisms) ที่พบมาก คือ แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยสีท

2.1.1 สัตว์ในดิน (Soil animals หรือ Soil fauna)

สัตว์ในดิน คือ สัตว์ทุกชนิดที่อาศัยอยู่ในดินทั้งพวกที่อาศัยอยู่ในดินตลอดชีวิตหรือพวกที่มีวิวัฒนาการในบางช่วงของชีวิตอยู่ในดินรวมทั้งสัตว์บางชนิดที่วงจรชีวิตส่วนใหญ่อยู่บนดิน แต่มีบางช่วงของชีวิตอยู่ในดิน ซึ่งช่วงชีวิตที่อยู่ในดินนั้นก็จัดเป็นสัตว์ในดินด้วย (2)

Copyright by Mahidol University

สัตว์ในดินมีบทบาทที่สำคัญมากต่อระบบนิเวศดิน โดยมีกิจกรรมทางชีวภาพต่างๆดังนี้คือ การสร้างเนินดิน การผสมคลุกเคล้าแร่ธาตุและอินทรียวัตถุในดิน การทำให้เกิดช่องว่างในดิน การเชื่อมอนุภาคดิน และการหมุนเวียนธาตุอาหาร (3) ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดิน ส่งผลให้อากาศและน้ำเคลื่อนที่เข้าไปในดินได้ง่ายขึ้น ควบคุมการเกิดกษัยการของดินและทำให้เกิดการสลายตัวของซากพืชและซากสัตว์ในดิน จะเห็นได้ว่ากิจกรรมของสัตว์ในดินนอกจากจะช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินแล้วยังช่วยทำให้ระบบนิเวศดินเกิดความสมดุลอีกด้วย ขณะที่ Linden (อ้างใน 4) ได้กำหนดคุณสมบัติของสัตว์ในดินที่ใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของดินไว้ 3 ประเภท ประเภทแรกคือ สิ่งมีชีวิตและประชากรต้องสัมพันธ์กับพฤติกรรม สรีรวิทยา สัณฐานวิทยา จำนวนและมวลชีวภาพ ตลอดจนอัตราการเจริญเติบโต อัตราการเกิดและอัตราการสืบพันธุ์ ประเภทที่ 2 คือ สังคมชีวิตจะพิจารณาจากหน้าที่และความสัมพันธ์ เช่น พฤติกรรมการขุดโพรง สายใยอาหาร และความหลากหลายทางชีวภาพ และประเภทที่ 3 คือกระบวนการทางชีวภาพต้องสัมพันธ์กับกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุ กระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างดิน เป็นต้น

การแบ่งประเภทของสัตว์ในดินโดยทั่วไปจะพิจารณาจากขนาดตัว ระยะที่พบในดิน แหล่งที่อยู่อาศัย ลักษณะการกินอาหาร และตำแหน่งของสายใยอาหารในดิน ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของสัตว์ในดินได้ดังนี้

1) <u>การแบ่งสัตว์ในดินตามขนาดตัว</u> (body size)

Wallwork (5) ได้แบ่งประเภทของสัตว์ในดินตามขนาดตัวได้เป็น 3 ประเภท คือ

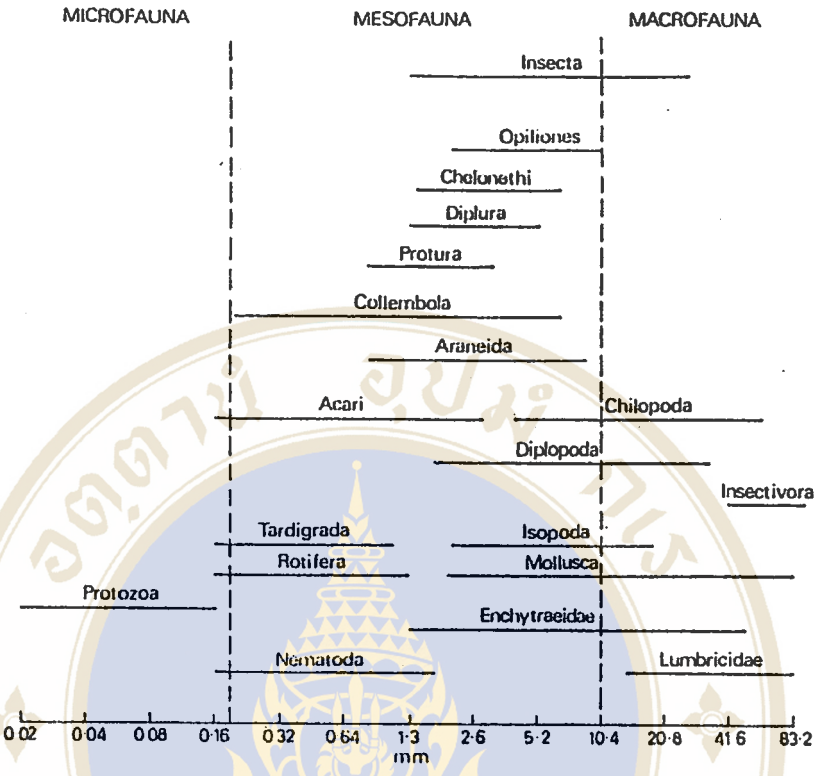
- สัตว์ในดินขนาดเล็ก (Microfauna) มีขนาดอยู่ระหว่าง 20 ไมโครเมตรถึง 200 ไมโครเมตร ตัวอย่างเช่น โปรโตซัว และไส้เดือนฝอย เป็นต้น

- สัตว์ในดินขนาดกลาง (Mesofauna) มีขนาดอยู่ระหว่าง 200 ไมโครเมตรถึง 1 เซนติเมตร ตัวอย่างเช่น ไรดิน และแมลงหางดีด เป็นต้น

- สัตว์ในดินขนาดใหญ่ (Macrofauna) มีขนาดใหญ่กว่า 1 เซนติเมตรขึ้นไป ตัวอย่างเช่น ไส้เดือนดิน ด้วง หอยทาก กิ้งกือ เป็นต้น

ดังแสดงในภาพที่ 3

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 3 การจำแนกสัตว์ในดินตามขนาดตัว

2) <u>การแบ่งสัตว์ในดินตามระยะที่พบในดิน</u> (Presence in the soil)

Wallwork (5) แบ่งสัตว์ในดินตามระยะที่พบในดินได้เป็น 4 ประเภท คือ

- Transient soilfauna เป็นพวกที่มีวงจรชีวิตส่วนใหญ่อยู่บนดิน แต่ในช่วงตัวเต็มวัยจะอาศัยอยู่ในดินชั่วคราว เพื่อการหลบซ่อนศัตรูหรือหากิน เช่น ด้วง สัตว์พวกนี้มีความสำคัญต่อดินน้อยมาก

- Temporary soilfauna เป็นพวกที่มีวงจรชีวิตระยะไข่และระยะตัวอ่อนอยู่ในดิน ส่วนตัวเต็มวัยอยู่บนดิน เช่น แมลงวัน และบั่วรา เป็นต้น สัตว์พวกนี้มีความสำคัญต่อดินมาก เพราะเป็นพวกกินซากและเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร

- Periodic soilfauna เป็นพวกที่มีวงจรชีวิตทั้งหมดอยู่ในดิน แต่ตัวเต็มวัยสามารถขึ้นมาหากินหรือสืบพันธุ์บนดินได้เป็นครั้งคราว เช่น ไรดินและแมลงหางหนีบ สัตว์พวกนี้มีความสำคัญต่อดินมากเพราะเป็นพวกกินพืชและเชื่อมโยงระหว่างห่วงโซ่อาหารบนดินกับในดิน

- Permanent soilfauna เป็นพวกที่มีวงจรชีวิตทั้งหมดอยู่ในดินตลอดเวลาและอย่างถาวร เช่น แมลงหางดีด

Copyright by Mahidol University

3) การแบ่งสัตว์ในดินตามวิธีการเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในดิน (Locomotion)

Alison (6) ได้แบ่งสัตว์ในดินตามวิธีการเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในดินได้เป็น 2 กลุ่ม คือพวกสัตว์ขนาดเล็ก ซึ่งเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในดินได้โดยใช้ฟิลม์ของน้ำที่เคลือบบนผิวอนุภาคของดิน (water films) และช่องว่างระหว่างอนุภาคของดิน (existing pore spaces) ซึ่งบรรจุอากาศและน้ำ โดยไม่ทำให้อนุภาคดินถูกรบกวน เช่น โปรโตซัว และพวกสัตว์ที่ต้องขุดโพรงหรืออุโมงค์เพื่อผ่านเข้าไปในดิน (burrowing animals) เช่น ไส้เดือนดิน ด้วง และแมลงกระชอน นอกจากนี้สัตว์ขนาดใหญ่บางชนิด เช่น ไส้เดือน กิ้งกือ และตะขาบ ก็สามารถแทรกผ่านช่องว่างในดินได้

4) การแบ่งสัตว์ในดินตามลักษณะการกินอาหาร (Feeding activity)

Friedrich (7) ได้แบ่งสัตว์ในดินตามลักษณะการกินอาหาร ได้เป็น 9 กลุ่มดังนี้ พวก Living plants (กินพืชเป็นอาหาร) พวก Dead vegetable matter (กินซากพืชเป็นอาหาร) พวก Fungi (กินสปอร์ของเชื้อราและhyphaeเป็นอาหาร) พวก Algae (กินสาหร่ายเป็นอาหาร) พวก Bacteria (กินแบคทีเรียเป็นอาหาร) พวก Other animals (กินสัตว์ชนิดอื่นเป็นอาหาร) พวก Dung (กินมูลสัตว์เป็นอาหาร) พวก Carrion (กินซากเน่าเป็นอาหาร) และพวกDetritus; parasitic animals(กินสัตว์ที่กินสัตว์เป็นอาหารรวมทั้งพวก parasite ซึ่งอาศัยอยู่กับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น)

Alison (6) ได้แบ่งสัตว์ในดินตามลักษณะการกินอาหารได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

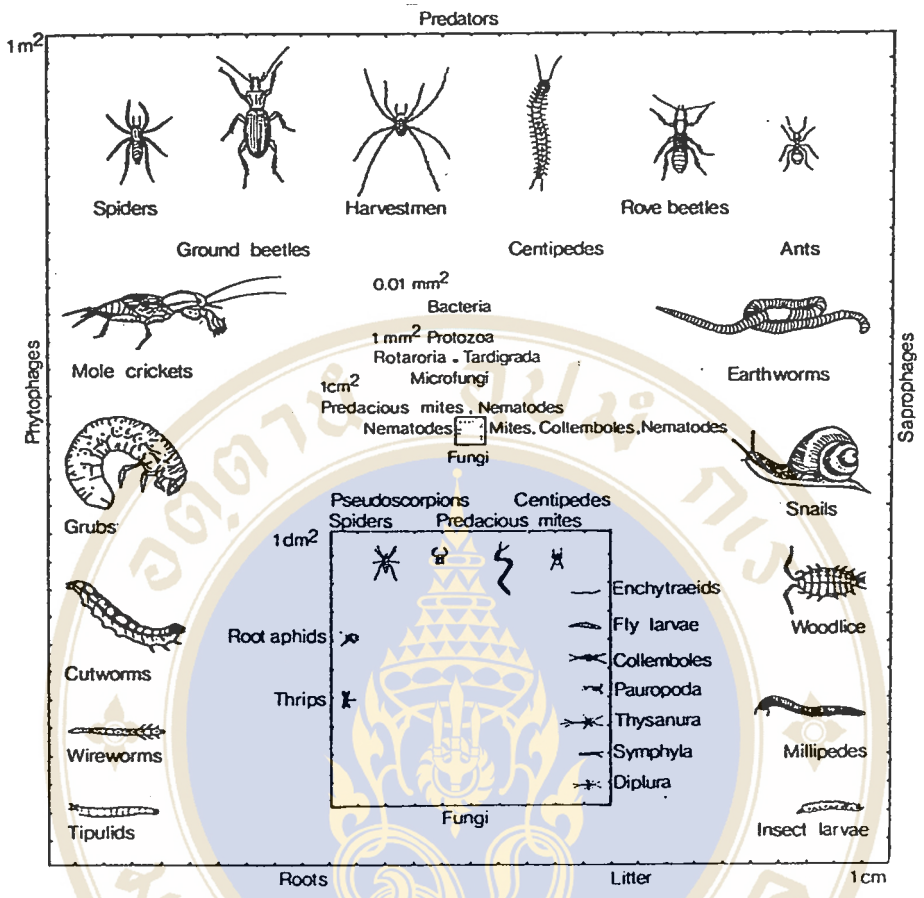
- Microphytic feeders เป็นสัตว์ซึ่งหากินบนสปอร์และhyphaeของเชื้อรา สาหร่าย ไลเคน และแบคทีเรีย ตัวอย่างของสัตว์ในดินกลุ่มนี้ ได้แก่ มด ไส้เดือนฝอย บั่วรา โปรโตซัว และหอยทากบางชนิด

- Saprophytic feeders เป็นสัตว์ซึ่งกินเศษซากอินทรีย์สารหรือสิ่งที่เน่าเปื่อยเป็นอาหาร ตัวอย่างเช่น ไส้เดือนดิน Enchytraeids กิ้งกือ ไรดิน และแมลงหางดีด บางครั้งอาจจัดให้อยู่ในกลุ่ม scavengers หรือ detritivores ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้เป็น faecal-feeders(coprophages) wood-feeders(xylophages) และ carrion-feeders(necrophages)

- Phytophagous feeders เป็นสัตว์ซึ่งหากินกับส่วนของพืชที่มีชีวิตโดยจะดูดกินน้ำเลี้ยงจากพืชเป็นอาหาร เช่น บริเวณลำต้นและใบจะพบหอยและตัวอ่อนของแมลงบางชนิด บริเวณรากพืชจะพบไส้เดือนฝอยที่เป็นปรสิตและตัวอ่อนของแมลงพวกsymphylids แมลงวัน และด้วง บริเวณส่วนของเนื้อไม้จะพบปลวกและตัวอ่อนของด้วง เป็นต้น

- Carnivores เป็นสัตว์พวกตัวห้ำซึ่งกินสัตว์ชนิดอื่นเป็นอาหาร(Predaceous)หรือเป็นสัตว์ที่เป็นตัวเบียน เช่น ด้วงดิน ด้วงก้นกระดก ตะขาบ ไรดิน แมงมุม แมงป่องเทียม ไส้เดือนฝอย และหอยทากบางชนิด (ดังภาพที่ 4)

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 4 แผนผังแสดงขนาดของร่างกายและขนาดของที่อยู่อาศัยซึ่งสัมพันธ์กับรูปแบบการหากิน

ในการศึกษาสัตว์ในดินโดยทั่วไปมีวิธีการแยกสกัดสัตว์ในดิน (Extraction Techniques) ที่สำคัญ 2 วิธี คือ

1) <u>Mechanical methods</u> ได้แก่ Sieving method (การร่อน) ใช้แยกสัตว์ในดินที่มีขนาดแตกต่างจากอนุภาคของดินอย่างเห็นได้ชัด เช่น การแยกไส้เดือนดิน ซึ่งสามารถแยกได้ 2 วิธี คือ Dry sieving method ใช้แยกกลุ่มของสัตว์ที่มีขนาดต่างๆกัน โดยใช้ขนาดของรูที่ร่อน (mesh size) เป็นตัวกำหนด และ Wet sieving method ใช้แยกสัตว์ในดินที่มีขนาดเล็กๆ เช่น enchytraeids แต่วิธีการนี้ไม่เหมาะสำหรับอนุภาคขนาดผงละเอียด) เช่น ฮิวมัสและอนินทรีย์สารในดิน เนื่องจากอนุภาคเล็กๆจะผ่านรูลงมาข้างล่าง , Flotation method (การแขวนลอย) ใช้แยกสัตว์ในดินขนาดเล็กโดยแยกสารอนินทรีย์ในดินออกจากอินทรีย์สารที่ความถ่วงจำเพาะที่ต่างกัน จากนั้นใช้ความแตกต่างของ wetting แยกสัตว์ในดินขนาดเล็กออกจากซากพืช ส่วนพวกโปรโตซัวและสัตว์ในดินขนาดเล็กสามารถแยกได้โดยใช้เครื่องเหวี่ยง ประกอบกับการตกตะกอน และเทคนิคการชะล้าง

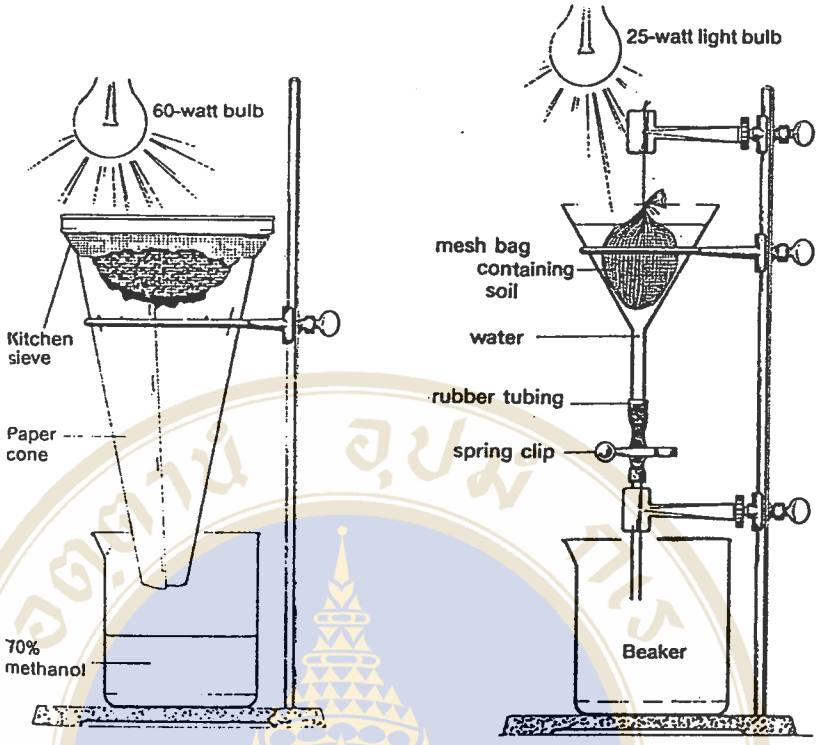
Copyright by Mahidol University

สำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแยกสัตว์โดยวิธีนี้ก็ คือ ธรรมชาติของดินที่อัดตัวกัน, คุณสมบัติทางชีวภาพของสัตว์แต่ละชนิด เช่น รูปร่าง ขนาด ความหนาแน่น ส่วนข้อเสียของวิธีนี้คือ ปริมาณของงานค่อนข้างหยาบ และใช้เวลาในการทำงานค่อนข้างมาก อีกทั้งไม่สามารถใช้กับดินที่มีอินทรียวัตถุสูง เนื่องจากวิธีนี้สกัดได้ทั้งสิ่งที่มีชีวิตและสิ่งที่ตายแล้ว โดยปราศจาก distinction

2) Behavioural Methods ใช้พฤติกรรมการตอบสนองของสัตว์ โดยสัตว์จะออกจากดินเมื่อมีสิ่งกระตุ้น เช่น ความร้อน แสงสว่าง และความชื้นที่ลดลง สัตว์ต่างชนิดกันจะปฏิบัติกับสิ่งเร้าที่ต่างกัน วิธีนี้จึงแยกสัตว์ได้เกือบ 100% และยังหาปริมาณและประชากรของสัตว์ที่อยู่ในดินได้อีกด้วย ซึ่งวิธีนี้แบ่งการสกัดได้เป็น 2 ชนิด คือ Dry funnel extraction ชนิดที่นิยมใช้ ได้แก่ Berlese Tullgren funnel เป็นเครื่องมือสำหรับแยกสัตว์ในดินขนาดเล็ก ออกจากดินหรือเศษซากพืช (ภาพที่ 5ก) โดยอาศัยหลักการใช้ความร้อนไล่แมลงเพราะแมลงชอบหนีความร้อนและแทรกตัวลงไปในทางดิ่งซึ่งผลที่สุดจะตกลงไปในกรวยที่รองรับและตกลงไปในขวดฆ่าซึ่งมีแอลกอฮอล์หรือสารละลาย pieric acid ใส่ไว้สำหรับรองรับสัตว์ที่หนีความร้อนและแห้งแล้งจาก substrate ลงมา ซึ่งในการทดลองนี้ต้องแน่ใจว่าดินก่อนที่จะใช้ความร้อนมีสัตว์อยู่ครบ โดยเฉพาะในระยะตัวเต็มวัย และWet funnel extraction ชนิดที่นิยมใช้ ได้แก่ Baermann funnel ใช้สกัดสัตว์ในดินที่มีความสัมพันธ์กับน้ำในดิน เช่น ไส้เดือนฝอย enchytraeid โดยนำตัวอย่างดินไปบรรจุไว้ใน mesh bag ของสารละลายในปากกรวยที่มีน้ำอยู่ เพื่อทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อได้รับความร้อนอย่างช้าๆ (วางแสงให้ห่างจากผิวน้ำประมาณ 10 ซม.) อุณหภูมิในน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลง (ประมาณ 40°C) สัตว์ก็จะหนีตกลงไปในกรวยที่รองรับ จากนั้นจึงนำไปสังเกตและจำแนกต่อด้วยกล้องจุลทรรศน์ (ภาพที่5ข) Nielsen extractor ใช้สกัดสัตว์ในดินพวก enchytraeid โดยนำตัวอย่างดินไปวางไว้เหนือชั้นกรวดหยาบๆในกระป๋องเจาะรูและคลุมด้วยทรายฝังหลอดแก้วลงไปอยู่ในชั้นทรายที่มีกระแสน้ำเย็น ส่วนกระป๋องให้วางไว้ในอ่างน้ำอุ่น เมื่อตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยอากาศสัตว์ในดินจะเคลื่อนที่ไปในทรายที่เย็นกว่า ซึ่งสามารถนำไปแยกต่อโดยวิธีแขวนลอย

นอกจากวิธีการดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีวิธีการเก็บสัตว์ในดินในสนามเพื่อนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการ เช่น การสร้างหลุมพราง (Pitfall trap) ซึ่งเหมาะสำหรับแมลงพวก Isopods Myriapods แมงมุมและแมลงหางดีด การใช้ลมดูด (suction traps) การใช้กับดักกาวเหนียว (sticky traps) การกวาด (sweeping) การทำเครื่องหมายแล้วปล่อย (Mark and release method) ซึ่งใช้กับสัตว์ที่มีเปลือกหอยและการใช้เครื่องฉีดพ่นไล่หรืออาจใช้สารเคมี เช่น formalin และ $KMnO_4$ ฉีดไล่ที่ผิวดิน

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 5 (ก) Berlese Tullgren funnel (ข) Baermann funnel

และจากการศึกษาเกี่ยวกับสัตว์ในดิน พบว่า สัตว์ในดินมีบทบาทที่สำคัญต่อระบบนิเวศดิน กล่าวคือ ช่วยในการปรับสภาพของดินให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช และช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน โดยเป็นตัวการสำคัญในการช่วยย่อยสลายอินทรียวัตถุต่างๆที่ทับถมอยู่ตามพื้นผิวของดินให้สลายตัวได้เร็วขึ้น เนื่องจากสัตว์ในดินจะกัดกินซากพืชซากสัตว์ขนาดใหญ่ให้แปรสภาพเป็นชิ้นเล็กๆ ทำให้พวกจุลินทรีย์ดินเข้าย่อยสลายได้ง่าย ตัวอย่างเช่น ปลวก จะทำลายต้นไม้ที่ตายแล้วหรือที่โค่นล้มซึ่งเปิดโอกาสให้พวกจุลินทรีย์ดินเข้าย่อยสลายไม้ได้เร็วขึ้นและแปรสภาพเป็นแร่ธาตุอาหารที่สำคัญของพืชปกคลุมผิวหน้าดินเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน

นอกจากนี้สัตว์ในดินยังมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงโครงสร้างดิน เช่น การสร้างเมือกของหอยทากเชื่อมอนุภาคของดิน และช่วยทำให้สมบัติทางกายภาพของดินเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น เช่น การขุดคุ้ยไชชอนดินของไส้เดือนดินทำให้เกิดช่องว่างจำนวนมากในดินที่ส่งผลให้ดินมีอัตราการซาบซึมน้ำสูงและมีการถ่ายเทอากาศดีขึ้น ส่วนแมลงที่เก็บเศษใบไม้หรือเศษผงต่างๆ มาสร้างรังใต้ดิน โดยการเจาะทำรังหรือไชชอนลงไปในดิน เช่น มดและปลวก ก็มีส่วนช่วยทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้นโดยทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายดินโดยการผสมคลุกเคล้าระหว่างดินบนกับดินล่าง ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นอินทรียวัตถุในดินโดยสัตว์ในดินชนิดอื่นๆ เช่น ไรดินและแมลงหางดีด ส่งผลให้ดินโปร่งมีการระบายอากาศดีและเพิ่มแร่ธาตุอาหารในดิน

Copyright by Mahidol University

สัตว์ในดินบางชนิดยังเป็นตัวห้ำ (Predator) ช่วยทำลายแมลงที่เป็นศัตรูพืชได้ ตัวอย่างเช่น ด้วงบางชนิดจะทำลายตัวอ่อนของแมลงวันบางชนิดหรือไส้เดือนฝอยบางชนิดจะกินจุลินทรีย์เป็นอาหารซึ่งเป็นการช่วยควบคุมสัดส่วนของจุลินทรีย์ดินให้อยู่ในภาวะที่สมดุลกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆในระบบนิเวศดิน นอกจากนี้สัตว์ในดินที่มีพฤติกรรมการขุดโพรงและการอาศัยอยู่โดยเก็บพืชสีเขียวเป็นอาหารเข้าไปในโพรง เช่น แมลงกระชอน ยังช่วยผสมคลุกเคล้าแร่ธาตุและอินทรียวัตถุในดินช่วยให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้นอีกด้วย

จะเห็นได้ว่าสัตว์ในดินมีบทบาทที่สำคัญมากต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน นอกจากนี้ผลที่เกิดขึ้นยังมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม เนื่องจากในกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุ ทำให้เกิดการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชต่างๆที่เป็นประโยชน์ประกอบกับพฤติกรรมการขุดคุ้ยหาอาหารและพฤติกรรมการบุกเบิกแหล่งที่อยู่อาศัยใหม่ๆของสัตว์ในดินก็มีส่วนช่วยทำให้โครงสร้างของดิน เช่น การระบายน้ำ การถ่ายเทอากาศและความร่วนซุยของดินดีขึ้นด้วย นอกจากนี้มูลของมันก็จัดเป็นอาหารที่มีคุณภาพดีต่อสัตว์ในดินชนิดอื่น รวมถึงจุลินทรีย์ดินชนิดต่างๆที่มีบทบาทในการย่อยสลายอินทรียวัตถุอีกด้วย

และจากการรวบรวมงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับสัตว์ในดินพบว่า สัตว์ในดินมีบทบาทที่สำคัญในการย่อยสลายซากพืชและช่วยในการผสมคลุกเคล้าแร่ธาตุและอินทรียวัตถุในดิน(5) และจากผลการศึกษาบทบาทของสัตว์ในดินต่อการเพิ่มธาตุอาหารของพืชพบว่า อัตราการย่อยสลายซากพืชจะขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ในดิน ส่วนความชื้นและปริมาณน้ำในดินมีผลต่อการเพิ่มกิจกรรมให้กับสัตว์ในดินและจุลินทรีย์ในดิน เพราะกระบวนการย่อยสลายที่สมบูรณ์เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินโดยตรง แต่ประสิทธิภาพการย่อยสลายจะต่ำมากถ้าไม่มีสัตว์ในดินช่วยทำให้เศษซากพืชฉีกขาดเป็นชิ้นเล็กๆหรือมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีเสียก่อน ขณะเดียวกันปัจจัยสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละฤดู เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน และระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน จะมีผลต่อปริมาณสัตว์ในดินและอัตราการย่อยสลายซากพืช นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงฤดูฝนจะมีปริมาณของสัตว์ในดิน อัตราการย่อยสลายซากพืช และอัตราการเพิ่มธาตุอาหารในดินสูงที่สุดและต่ำที่สุดในช่วงฤดูหนาว นอกจากนี้ Edwards (8) ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างไส้เดือนดินและจุลินทรีย์ดินในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ พบว่า ไส้เดือนดินและจุลินทรีย์ดินมีความสัมพันธ์แบบได้ประโยชน์ร่วมกันในการย่อยสลายอินทรียวัตถุและมูลของไส้เดือนดินจะอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ขณะเดียวกันกิจกรรมของไส้เดือนดินและจุลินทรีย์ดินยังเป็นตัวกระตุ้นทางอ้อมในการทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น

ส่วนงานวิจัยที่ชี้ให้เห็นถึงผลของการจัดการดินและพืชในรูปแบบต่างๆ ที่มีต่อสัตว์ในดิน ได้แก่ งานของ Lal (9) ศึกษาผลของสัตว์ในดินต่อสมบัติดินในระบบนิเวศเขตร้อน พบว่า การทำ

Copyright by Mahidol University

การเกษตรในรูปแบบต่างๆ มีอิทธิพลต่อประชากรและความหลากหลายของชนิดและกิจกรรมของสัตว์ในดิน เช่น การเปิดหน้าดินไถพรวน การปลูกพืชเชิงเดี่ยว และการเกษตรที่ใช้สารเคมีจะมีผลทำให้กิจกรรมของสัตว์ในดินและความหลากหลายของชนิดสัตว์ในดินลดลง ส่วนเทคนิคการจัดการดินที่ส่งเสริมกิจกรรมของสัตว์ในดิน ได้แก่ การใช้วัสดุคลุมดิน การไม่ไถพรวน การปลูกพืชคลุมดิน การทำวนเกษตร และการผสมผสานระบบนิเวศต่างๆเข้าด้วยกัน มีผลต่อการเพิ่มจำนวนชนิดและกิจกรรมของสัตว์ในดิน นอกจากนี้ยังพบว่า การลดลงของคุณภาพดินในเขตร้อนส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อกิจกรรมและความหลากหลายของสัตว์ในดิน

Brady (10)ได้สรุปปัจจัยและเทคนิคในการจัดการทางการเกษตรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตในดินทั้งในด้านความหลากหลายของชนิดและจำนวนของสิ่งมีชีวิตในดินไว้ดังนี้ ปัจจัยที่มีผลในเชิงลบกับปริมาณสิ่งมีชีวิตในดิน ได้แก่ การใช้สารกำจัดศัตรูพืช (โดยเฉพาะพวกสารฆ่าเชื้อรา) การชะล้างพังทลายของดิน การปลูกพืชเชิงเดี่ยว การไถพรวนมากเกินไป กากของเสียจากอุตสาหกรรม ส่วนปัจจัยที่มีผลในเชิงบวกหรือส่งเสริมปริมาณสิ่งมีชีวิตในดิน ได้แก่ การระบายน้ำและอากาศที่ดี การใช้ปุ๋ยและปูน การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ การชลประทานที่เหมาะสมและการควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน ขณะเดียวกัน Ekschmitt (อ้างใน11) ได้สรุปผลของการจัดการดินด้วยระบบเกษตรกรรมสมัยใหม่ที่มีต่อสัตว์ในดิน เช่น แมงมุม ด้วงดิน และด้วงก้นกระดก ไว้ดังตารางที่ 2

Watanabe (อ้างใน12) ศึกษาที่ป่าปลูก Ashu ประเทศญี่ปุ่นในพื้นที่ต่างกัน 4 แบบ คือ ป่าปลูกคริปโตเมอเรีย ป่าผสมธรรมชาติคริปโตเมอเรีย บีช และโอคผลัดใบและทุ่งหญ้า พบว่าน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ของสัตว์ในดินจะมากที่สุดในทุ่งหญ้าซึ่งเป็นดินดำและพบว่าจำนวนของสัตว์ในดินจะลดลงตามความลึกแต่ไม่พบที่ความลึกมากกว่า 40 ซม. และสิ่งที่มีอิทธิพลต่อชนิดและปริมาณของสัตว์ในดิน คือ อุณหภูมิ pH ความพรุนของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุและชนิดของรากพืชที่ขึ้นบริเวณนั้น ต่อมาในปี 1973 ได้ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงชนิดพืชว่ามีอิทธิพลต่อสัตว์ในดินในด้านจำนวน ชนิด น้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ โดยศึกษาในป่าผสมธรรมชาติซึ่งประกอบด้วย White oak *(Quercus crispula* BL) และ Flase hornbeum *(Crypinus tschonosku* Maxim) เทียบกับป่าปลูกคริปโตเมอเรีย ซึ่งมีต้น Cryptomeria *(Cryptomeria japonica* D.Don) อายุต่างๆกัน พบว่า สัตว์ในดินจะไวต่อการเปลี่ยนชนิดพืชมากและจะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือ จำนวนสัตว์ในป่าผสมธรรมชาติจะมากกว่าและสัตว์จะลดจำนวนลงเมื่อต้นไม้ในป่าปลูกคริปโตเมอเรียมีอายุมากขึ้นแต่น้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ของสัตว์ในป่าปลูกคริปโตเมอเรียจะมากกว่าเนื่องจากมีไส้เดือนเป็นจำนวนมาก และไม่พบสัตว์ในดินที่ระดับความลึกกว่า 40 ซม. ในป่าปลูกคริปโตเมอเรีย แต่ในป่าผสมธรรมชาติยังพบสัตว์บ้างเล็กน้อยที่ระดับ 40-50 ซม. โดยพบที่ผิวดินทั้ง 2 กรณี

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 2 ผลกระทบจากการจัดการดินด้วยระบบเกษตรกรรมสมัยใหม่ที่มีต่อArthropod Predators

การจัดการ	ผลกระทบ
การไถพรวน	- ลดจำนวนของแมงมุมที่เป็นตัวห้ำ รวมทั้งด้วงดินและด้วงก้นกระดก - ช่วยเพิ่มช่องว่างในดินเป็นผลให้พบด้วงดินชนิดที่ชอบร้อนเป็นจำนวนมาก
การใช้ปุ๋ยเคมี	- ความหนาแน่นของพืชพรรณและปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อจำนวนแมงมุม ด้วงดิน และด้วงก้นกระดกที่เป็นตัวห้ำ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของสัตว์ในดินที่เป็นตัวห้ำจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมดังนั้นถ้ามีการใช้ปุ๋ยเคมีสังเคราะห์ในปริมาณมากอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์ดังกล่าว
การเก็บเกี่ยว	- การเก็บเกี่ยวให้หมดในครั้งเดียวจะลดจำนวนของแมงมุม ด้วงดิน และด้วงก้นกระดกโดยไปทำลายไข่ของสัตว์ที่เป็นตัวห้ำในรุ่นต่อไป
การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช	- การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชหวกสารกำจัดวัชพืชและสารฆ่าเชื้อราจะมีอันตรายต่อสัตว์ในดินที่เป็นตัวห้ำน้อยกว่าสารฆ่าแมลงต่างๆ เนื่องจากสารฆ่าแมลงจะทำลายวงจรชีวิตโดยเฉพาะระยะสืบพันธุ์ของแมงมุมและด้วงต่างๆได้
การใช้ที่ดินผิดประเภท	- ทำให้จำนวนของสัตว์ในดินที่เป็นตัวห้ำลดจำนวนลง

Dangerfield (อ้างใน13) ศึกษาเกี่ยวกับจำนวน มวลชีวภาพ และความหลากหลายของสัตว์ในดินขนาดใหญ่ในทุ่งหญ้า savanna และในพื้นที่ซึ่งถูกเปลี่ยนแปลงไปปลูกข้าวโพดหรือยูคาลิปตัส เมื่อเปรียบเทียบ พบว่า มวลชีวภาพและความชุกชุมของกิ้งกือและตัวอ่อนแมลงในทุ่งหญ้าป่าธรรมชาติจะสูงมากกว่าบริเวณอื่นๆ ความหนาแน่นและมวลชีวภาพของสัตว์ในดินจะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับความหลากชนิดของซากพืช ความชุกชุมและมวลชีวภาพของบริเวณที่ปลูกยูคาลิปตัสจะมีความหลากชนิดน้อยกว่าในป่าธรรมชาติ และพบว่าบริเวณที่ปลูกข้าวโพดจะมีจำนวนประชากรของตัวอ่อนแมลงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมจะส่งผลกระทบต่อปริมาณและสังคมของสัตว์ในดิน

Wardle (อ้างใน14) ใช้ค่าดัชนีความหลากหลายของสัตว์ในดิน(Shannon-wiener diversity index) ในการประเมินอิทธิพลของการไถพรวนในการเกษตรแบบสมัยใหม่เปรียบเทียบกับการเกษตรแบบไม่ไถพรวนต่อความหลากหลายทางชีวภาพและความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในดิน ซึ่งได้แก่ รา ไส้เดือนฝอย แมลงหางดีด ไรดิน ไส้เดือนดิน แมงมุมและด้วงดิน ผลการศึกษาพบว่าการไถพรวนมีผลกระทบต่อความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดินขนาดเล็กเพียงเล็กน้อย แต่มีผลกระทบมากต่อสิ่งมีชีวิตในดินขนาดกลางและใหญ่

Copyright by Mahidol University

Foissner (15) ได้ศึกษาเปรียบเทียบสิ่งมีชีวิตในดินในพื้นที่เกษตรนิเวศ ซึ่งมีหลายรูปแบบ ได้แก่ เกษตรอินทรีย์ เน้นการใช้สารอินทรีย์ในการปรับปรุงดิน เช่น ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยพืชสดเหลว โธมัสฟอสเฟต ไฮเปอร์ฟอสเฟต และโพแทสเซียม และรูปแบบที่2 คือ เกษตรชีวภาพหมุนเวียน เน้นการใช้สารที่ผ่านการย่อยสลายและสารอินทรีย์อื่นๆ เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสดเหลว และbasalt-meal เปรียบเทียบกับพื้นที่เกษตรสมัยใหม่ที่ใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ในประเทศออสเตรีย ผลการศึกษาพบว่า สิ่งมีชีวิตในดินที่มีความสำคัญ ถึงแม้จะมีมากในพื้นที่เกษตรนิเวศแต่ก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างพื้นที่เกษตรนิเวศและพื้นที่เกษตรสมัยใหม่ทั้งในพื้นที่ลักษณะฟาร์มและทุ่งหญ้า ส่วนในด้านโครงสร้างและส่วนประกอบของโปรโตซัวชนิดเด่นไม่พบความแตกต่างทางสถิติของทั้ง 2 พื้นที่ แต่ในส่วนของกลุ่มที่เป็นดัชนีชี้วัดจะมีเยื่อหุ้มเซลที่บาง ทำให้มีช่วงชีวิตสั้นและมีหน้าที่สำคัญต่อการหมุนเวียนพลังงานและธาตุอาหารในดิน

สำหรับในพื้นที่เกษตรนิเวศ พบว่า มีกิจกรรมทางชีววิทยาสูงกว่าพื้นที่เกษตรสมัยใหม่ โดยบางพื้นที่ของเกษตรนิเวศนั้นบ่งชี้ว่ากิจกรรมทางชีววิทยาที่มีสูงนั้นมาจากฮิวมัสที่มีอยู่มากในพื้นที่ประกอบกับพื้นที่นั้นเป็นดินที่ไม่อัดแน่นซึ่งสอดคล้องกับปริมาณอินทรียวัตถุที่มีสูงกว่าในพื้นที่เกษตรนิเวศและแตกต่างจากพื้นที่เกษตรสมัยใหม่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.10$) และในพื้นที่เกษตรสมัยใหม่ พบว่า การทำลายสัตว์ในดินจะส่งผลกระทบที่แตกต่างกันตามลักษณะพื้นที่ คือ ในพื้นที่กึ่งแห้งแล้งที่ปราศจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์สัตว์ในดินจะถูกทำลายมากกว่าพื้นที่ในบริเวณมหาสมุทรแอตแลนติกที่มีการทำปศุสัตว์ร่วมอยู่ด้วย ซึ่งจากผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าเกษตรนิเวศเกื้อหนุนสิ่งมีชีวิตในดิน นอกจากนี้ยังมีข้อมูลที่แสดงให้เห็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพิ่มขึ้นอีกโดยเฉพาะสภาพภูมิอากาศ ชนิดของดิน และการจัดการฟาร์ม ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่งและในส่วนของการจัดการแบบเกษตรสมัยใหม่ที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตในดินควรได้รับการปรับปรุงเทคโนโลยีให้ดีขึ้นและเพิ่มการวิจัยในด้านสิ่งมีชีวิตในดินให้มากขึ้น

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบการจัดการไร่อุ่นในรูปแบบเกษตรอินทรีย์, เกษตรชีวภาพหมุนเวียนและเกษตรสมัยใหม่ใน Lower Austria

Parameter	*เกษตรอินทรีย์*	*เกษตรชีวภาพหมุนเวียน*	*เกษตรสมัยใหม่*
โปรโตซัว (testate amoebabae)			
จำนวน (ตัว/กรัม ของมวลดินแห้ง)	347	239	156
มวลชีวภาพ (มก./กก. ของมวลดินแห้ง)	24	14	7
จำนวน species	14	13	13
ไส้เดือนฝอย (Nematodes)			
จำนวน (ตัว/กรัม ของมวลดินแห้ง)	152	213	46
ไส้เดือน (Lumbricidea)			
จำนวน (ตัว/ตร.ม.)	91	36	4
มวลชีวภาพ (กรัม/ตร.ม.)	38	16	4

สำหรับการศึกษาความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดินที่ผ่านมาในประเทศไทยยังไม่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยอย่างจริงจังที่เป็นเช่นนี้เนื่องด้วยเหตุผลหลายประการ ซึ่งนอกจากการขาดความตระหนักถึงความสำคัญของสิ่งมีชีวิตในดินที่มีต่อการรักษาสมดุลของระบบนิเวศดินแล้ว ยังรวมถึงความยากลำบากในการศึกษาวิจัยทั้งในด้านการเก็บตัวอย่าง การจัดจำแนก เนื่องจากการขาดแคลนบุคลากรและอุปกรณ์ที่เหมาะสมและจำเป็นอีกด้วย ประกอบกับการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตในดินต้องใช้ความรู้หลายสาขาวิชาประกอบกัน ได้แก่ ปฐพีวิทยา สัตววิทยา กีฏวิทยา จุลชีววิทยา และนิเวศวิทยา จึงทำให้การศึกษาวิจัยทางด้านนี้ในประเทศไทยยังมีค่อนข้างจำกัดและขาดการศึกษาอย่างต่อเนื่อง จากการรวบรวมงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดินที่ผ่านมาในประเทศไทย พอสรุปได้ดังนี้

Watanabe (12) ศึกษาน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ของสัตว์ในดินในป่าดิบแล้งและป่าแดงที่ อ.ปักธงไชย จ.นครราชสีมา พบว่า แม้จะมีป่าติดต่อกันและตั้งอยู่ในเขตที่มีภูมิอากาศเหมือนกัน สภาพดินคล้ายกัน แต่องค์ประกอบของสัตว์ในดินจะแตกต่างกันมากมาย ในป่าดิบแล้งจะพบกลุ่มสัตว์ในดินที่สำคัญ คือ ไส้เดือนดิน หอยฝาเดียว ตัวกะปิ กิ้งกือ แมงมุม แมลงสาบ ตั๊กแตน ปลวก หนอนผีเสื้อ มด ตัวอ่อนแมลงวัน แมงป่องและด้วงหลายชนิด ส่วนในป่าแดงมีสัตว์ซึ่งคิดเป็นน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่แล้วน้อยกว่าในป่าดิบแล้งโดยสัตว์ที่พบได้แก่ มด แมงป่องเทียม และแมลงหางหนีบ ซึ่งสัตว์ที่พบในป่าแดงนี้ส่วนใหญ่มีน้อยหรือไม่มีเลยในป่าดิบแล้ง นอกจากนี้

Copyright by Mahidol University

ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่กับปริมาณน้ำในดินและพบว่าทั้งป่าดิบแล้งและป่าแดงน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่จะเพิ่มเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักของลิตเตอร์

จรียา (12) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของสัตว์ในดินและอิทธิพลที่มีต่อการย่อยสลายอินทรียวัตถุในสวนป่าสักที่ จ.พิษณุโลก พบว่า สัตว์ในดินขนาดใหญ่มีปริมาณและมวลชีวภาพสูงที่สุดในฤดูฝนแต่ต่ำสุดในฤดูร้อน โดยสัตว์กลุ่มเด่นที่พบได้แก่ ปลวกและมด ส่วนสัตว์ในดินขนาดกลางจะมีปริมาณสูงสุดในฤดูหนาวและต่ำสุดในฤดูร้อนสัตว์กลุ่มเด่น ได้แก่ ไรดินและแมลงหางดีด นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสัตว์ในดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการย่อยสลายซากพืช แต่ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสัตว์ในดินกับธาตุอาหารพืช ส่วนปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสัตว์ในดินได้แก่ ความชื้นในดินและในเศษซากพืช ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในดิน สำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพของสัตว์ในดิน ได้แก่ ความชื้นในดิน ความชื้นในซากพืช และปริมาณน้ำฝน

พีรพัฒน์ (16) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินในนาข้าวเนื่องจากการเปลี่ยนจากระบบเกษตรเคมีมาเป็นระบบเกษตรธรรมชาติบนชุดดินร้อยเอ็ด โดยผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางชีวภาพของดินในแต่ละระบบเกษตร ซึ่งได้แก่ นาเกษตรเคมี นาธรรมชาติ 3 ปี และนาธรรมชาติ 5 ปี พบว่า มีความแตกต่างในด้านปริมาณและความหนาแน่นของสัตว์ในดิน โดยในนาธรรมชาติ 5 ปี มีความหนาแน่นของสัตว์ในดินสูงที่สุดคือ 17 ตัว/ตร.ม. รองลงมาคือนาธรรมชาติ3ปี มีความหนาแน่นของสัตว์ในดิน 15.5 ตัว/ตร.ม. และน้อยที่สุดคือ นาเกษตรเคมี มีความหนาแน่นของสัตว์ในดิน 10.5 ตัว/ตร.ม. นอกจากนี้ยังพบว่าจำนวนความหนาแน่นและชนิดของแมลงในดินแปรผันเชิงบวกกับปริมาณอินทรียวัตถุที่ผิวดิน กล่าวคือในนาธรรมชาติ 3 ปีนั้น มีปริมาณอินทรียวัตถุในนามากที่สุด รองลงมาคือ นาธรรมชาติ 5 ปี ซึ่งแตกต่างกันไม่มากนัก และน้อยที่สุดในนาเกษตรเคมี คือ 401.1 368.3 และ 198.0 กรัม/ตร.ม. ส่วนสัตว์ในดินที่พบส่วนใหญ่เป็นพวกแมลงและตัวอ่อนของแมลง โดยแมลงที่พบมากที่สุดเป็นพวกด้วง รองลงมาคือ ตั๊กแตนและมวน แต่อย่างไรก็ดีในด้านความหลากหลายของสัตว์ในดินยังไม่แตกต่างกันมากนัก

เสาวภา (17) ศึกษาอาร์โทรปอดในดินระหว่างดินในป่าธรรมชาติและดินในพื้นที่เพาะปลูกบนดอยสุเทพ-ปุย พบว่า ความหลากหลายของอาร์โทรปอดในดินจาก 2 พื้นที่มีความแตกต่างกันทั้งจำนวนตัวและสปีชีส์โดยพื้นที่เพาะปลูกมี 3310 ตัว 98 สปีชีส์ ตัวอย่างเช่น Collembola Cecidomyiidae Symphyla เป็นต้น แต่ในป่าธรรมชาติมี 5550 ตัว 144 สปีชีส์ ตัวอย่างเช่น Symphyla Psocoptera Carabidae Staphylinidae Formicidae Ptillidae Collembola เป็นต้น ซึ่งเป็นประชากรกลุ่มใหญ่และพบได้แทบทุกเดือน นอกจากนี้ยังพบว่าอาร์โทรปอดในดินของป่าธรรมชาติมีความซับซ้อนของคอมมิวนิตี้มากกว่าอาร์โทรปอดในดินของพื้นที่เพาะปลูก โดยมี

Copyright by Mahidol University

สหสัมพันธ์กับอาร์โทรปอดในดินด้วยกันเองมากกว่า เนื่องจากมีการกินต่อกันเป็นทอดๆและมีการหมุนเวียนสารอาหารในระบบนิเวศป่าไม้ ขณะที่อาร์โทรปอดในดินของพื้นที่เพาะปลูกมีสหสัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อม เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิดิน สารอินทรีย์ในดิน และpHของดิน เพราะพื้นที่เพาะปลูกจัดเป็นระบบนิเวศที่มนุษย์ทำขึ้นมีการให้น้ำ ปุ๋ย และสารกำจัดศัตรูพืช

Glenn (18) ศึกษาผลกระทบของรูปแบบการใช้ที่ดิน (ได้แก่ ป่าดิบเขา สวนป่ายูคาลิปตัส และสวนสน) ที่มีต่ออาร์โทรปอดในดินบริเวณดอยสุเทพ-ปุย พบว่า ป่าดิบเขามีจำนวนชนิดของอาร์โทรปอดที่ผิวดินมากที่สุด รองลงมาคือ สวนสน และสวนป่ายูคาลิปตัส โดยมีค่าเป็น 146, 116 และ 119 ชนิดตามลำดับ ส่วนอาร์โทรปอดในซากใบไม้จะพบมากที่สุดในป่าดิบเขาจำนวน 147 ชนิด รองลงมาคือ สวนป่ายูคาลิปตัสจำนวน 126 ชนิด และสวนสน 69 ชนิด ในขณะที่อาร์โทรปอดในดินป่าดิบเขามี 55 ชนิด ลดลงเป็น 39 และ 30 ชนิด ในป่ายูคาลิปตัสและสวนสน

Kisworo (19) ศึกษาผลกระทบของการปนเปื้อนโลหะหนักต่ออาร์โทรปอดในดินบริเวณรอบโรงไฟฟ้าแม่เมาะ พบว่า ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินได้แก่ อาร์เซนิก นิคเกิล โครเมียม โคบอล มีการเปลี่ยนแปลงและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญขึ้นอยู่กับพื้นที่และเวลา ส่วนอาร์โทรปอดในดินพบ 6 Class 20 Order 53 Family และ 112 species โดยปริมาณของอาร์โทรปอดในดินจะขึ้นอยู่กับการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน คือ ถ้าดินมีการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินมาก ปริมาณของอาร์โทรปอดในดินจะลดลง

สำหรับในการศึกษาครั้งนี้จะจำแนกสัตว์ในดินเป็นกลุ่มหลักๆ ได้ดังนี้

ก. <u>Non-arthropod animals</u> ได้แก่

ก.1 Oligochaeta (earthworms and enchytraeid worms)

- **Earthworms (ไส้เดือนดิน)** เป็นสัตว์ในดินขนาดใหญ่ที่พบในดินชั้นบน มีวงจรชีวิตอยู่ระหว่าง 1-10 ปี เป็นพวก hermaphroditic ดำรงชีวิตอยู่ในดินหลวมๆ ที่มีความชื้นและมีอินทรียวัตถุมากๆ หรือมีใบไม้ปกคลุม เนื่องจากไส้เดือนต้องอาศัยความชื้นที่ผิวร่างกายเพื่อแลกเปลี่ยนก๊าซ ดังนั้นมันจึงสูญเสียความชื้นได้ง่ายหากดินที่มันอาศัยอยู่แห้งแล้งเกินไป โดยปกติร่างกายของไส้เดือนจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ถึง 90 % ของน้ำหนักร่างกาย ซึ่งไส้เดือนสามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ แม้ว่ามันจะสูญเสียน้ำถึง 70 % ของน้ำในร่างกายทั้งหมด (6) จึงมักพบไส้เดือนในดินเหนียวซึ่งมีความจุความชื้นในปริมาณที่มากกว่าในดินทรายและในดินที่มีสารแคลเซียมสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่ได้รับการใส่ปูนอย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้เนื่องจากไส้เดือนต้องอาศัยสารประกอบแคลเซียมในการย่อยอาหาร ดังนั้นธาตุแคลเซียมในดินจึงถูกเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตแล้วเก็บไว้ในอวัยวะที่ใช้ในการหลั่งหินปูน (lime secreting gland) ซึ่งจะถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อต้องการย่อยอาหาร(3)

Copyright by Mahidol University

ไส้เดือนสามารถขุดโพรงผ่านดินหลวมๆ ที่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคดินมาก โดยมันจะขุดโพรงควบคู่ไปกับการกินและย่อยอินทรียวัตถุพร้อมทั้งขับสารที่เรียกว่า castings (ลักษณะคล้ายดินเหนียวอัดแน่น) ทิ้งไว้ตลอดแนวทางเดินทั้งบนดินและในดินทำให้เกิดการผสมคลุกเคล้าของอินทรียวัตถุในดินส่งผลให้โครงสร้างของดินเปลี่ยนแปลงไป อีกสาเหตุหนึ่งของการขุดโพรงก็คือ เพื่อหลีกหนีความหนาวเย็นและความแห้งแล้งที่พื้นผิวดิน โดยใช้ความลึกข้างล่างเป็นที่พักในเวลากลางคืนเมื่อดินชั้นบนได้รับความชื้นจากฝนหรือน้ำค้างไส้เดือนจะเคลื่อนตัวออกจากโพรงเพื่อการจับคู่และหากินโดยใช้ส่วนหางยึดไว้ในส่วนปลายของโพรงมันจะค้นหาธาตุอาหารจากซากพืชแล้วดึงเข้าไปในโพรง เศษซากพืชที่มันนำเข้าไปในโพรงนี้จะถูกเคลือบด้วยแร่ดินเลนซึ่งช่วยในการย่อยสลาย(20)

ไส้เดือนอาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า earthmovers เนื่องจากมันช่วยทำให้เกิดการสะสมของชั้นดินที่ผิวดิน(21) จากการศึกษาของ Darwin พบว่า ไส้เดือนดินจะสะสมcastingsบนผิวดิน4-6 เมตริกซ์ตัน/เฮกตาร์(10 –15 ตัน/เอเคอร์)ในรอบปี ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการสะสมของชั้นดินหนา 2.5 ซม.ทุกๆ 12 ปี (มากกว่าปกติ) อีกเหตุผลหนึ่งในการเป็น earthmovers คือ บริเวณโพรงของไส้เดือนดินจะมีช่องเปิดอยู่ที่ผิวดินทำให้ดินได้หายใจเอาออกซิเจนเข้าไปในระหว่างอนุภาคดินอากาศในดินจึงหมุนเวียนดีขึ้น ขณะเดียวกันน้ำซึ่งไหลบ่าจากพื้นผิวของดินจะแทรกซึมเข้าสู่เม็ดดินอย่างรวดเร็วและไหลเข้าสู่เขตรากพืชต่อไป (22) ไส้เดือนดินมีความสำคัญในกระบวนการสร้างสารฮิวมิก(6) และเป็นตัวแทนความหนาแน่นของมวลชีวภาพของสัตว์ในดิน โดยเกี่ยวข้องกับการย่อยสลายอินทรียวัตถุและการเกิดชั้นอินทรียวัตถุของดิน (5) ช่วยเพิ่มการระบายน้ำและอากาศของดิน ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพิ่มความโปร่งของดิน และช่วยในการจับตัวเป็นก้อนของอนุภาคดิน ไส้เดือนดินมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารในดินเพราะมันสามารถแทรกซึมน้ำฝนเข้าไปในดินได้โดยผ่านช่องเปิดที่ผิวดิน (23) ดังนั้นจึงมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมพัฒนาการของดินและความอุดมสมบูรณ์ของดิน (11) จากความสำคัญดังกล่าวสามารถสรุปความสำคัญของไส้เดือนดินต่อโครงสร้างและสมบัติของดินไว้ดังนี้ (24)

1) ผลของไส้เดือนดินต่อความเสถียรของ casts : เนื่องจาก casts ที่ไส้เดือนดินขับออกมาจะถูกทับถมทั้งบนดินและในดิน โดยความเสถียรของ casts จะขึ้นอยู่กับ อายุของ casts โครงสร้างและองค์ประกอบของดิน แหล่งอาหารของไส้เดือนดินและปฏิสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ดินส่งผลให้เกิดการผสมคลุกเคล้าของอินทรียวัตถุในดินในอัตราที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ (3)

2) ผลของโพรงต่อการระบายน้ำ(drainage)และการถ่ายเทอากาศในดิน(aeration)

Copyright by Mahidol University

3) ผลของไส้เดือนดินต่อการย่อยสลายเศษซากพืช : เนื่องจากไส้เดือนดินช่วยให้เกิดการเคลื่อนย้ายของซากพืชจากผิวดินไปยังหน้าตัดดิน แล้วหมุนเวียนแร่ธาตุในดินกลับไปยังผิวดินอีกครั้งหนึ่ง ส่งผลให้เกิดการพัฒนาของชั้นอินทรียวัตถุที่ผิวดิน

4) ผลของไส้เดือนดินต่อการหมุนเวียนของธาตุอาหารพืช : เนื่องจากไส้เดือนดินมีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการสร้างสารฮิวมิก การปลดปล่อยธาตุไนโตรเจน และอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนของอินทรียวัตถุในดินซึ่งช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน

5) ผลของไส้เดือนดินต่อจุลินทรีย์ดิน : ไส้เดือนดินช่วยเปลี่ยนแปลงประชากรของจุลินทรีย์ใน earthworm gut และ faeces และกิจกรรมของมันยังช่วยกระตุ้นการย่อยสลายของจุลินทรีย์

จากความสำคัญดังกล่าว ไส้เดือนดินจึงถูกพิจารณาว่าเป็นสัญลักษณ์ที่ชี้บอกความอุดมสมบูรณ์ของดิน (4) ส่วนปัจจัยที่กำหนดความหลากหลายของชนิดและปริมาณของไส้เดือนดิน ได้แก่ pHของดิน ความชื้นของดิน อุณหภูมิของดิน จำนวนและการแพร่กระจายของอินทรียวัตถุในดิน เนื้อดิน แหล่งอาหาร การจัดการดินและระบบเกษตรกรรม (24)

- **Enchytraeids (pot worms)** เป็น oligochaetes ที่เล็กที่สุด มีขนาด 10 - 20 มม. มีสีขาวอาจเรียก white worms พบในพื้นที่ซึ่งมีสภาพเป็นกรดและมีสารประกอบของอินทรียวัตถุสูง เช่น ดินอินทรีย์ในป่า กองปุ๋ยหมัก เป็น hermaphroditic ส่วนใหญ่หากินกับเศษพืช ราในดิน สาหร่ายและแบคทีเรีย โดยพบมากในดินชั้นบนที่มีอินทรียวัตถุมากๆ เนื่องจากมันไม่สามารถขุดโพรงลึกลงไปในดินได้จึงเคลื่อนที่ผ่านช่องอากาศและรอยแตกของหินและหากินโดยขับสารละลายด่างเข้มข้น (alkaline) มาเคลือบที่ผิวของพืชในบริเวณที่มีความชื้น เมื่อเนื้อเยื่อพืชสลายตัวมันจะกินได้ง่ายขึ้นและของเสียจะถูกผสมในฮิวมัส Dash (อ้างใน 3) รายงานว่า Enchytraeids มีความสำคัญในกระบวนการย่อยสลาย กล่าวคือ ช่วยเพิ่มแหล่งอาหารให้กับผู้ย่อยสลายอื่นๆ โดยการ fragmentation และย่อยสลายซากพืช ช่วยผลิต fecal pellets ซึ่งเพิ่มดินโดยเตรียมพื้นที่สำหรับกิจกรรมของจุลินทรีย์ กระตุ้นกิจกรรมระดับสูงในกระบวนการ grazing ของจุลินทรีย์ดิน นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญในการสร้างชั้นอินทรียวัตถุในดิน โดยมีบทบาทที่สำคัญในการผสมคลุกเคล้าซากพืชและแร่ธาตุในดินและช่วยให้เกิดกระบวนการสร้างสารฮิวมิกในดิน

ก.2 **Gastropoda (slugs and snails)** หอยทาก จัดอยู่ใน Order Stylommatophora มีร่างกายนุ่มอยู่บนกล้ามเนื้อเดียว เคลื่อนที่โดยใช้หนวด มี 2 เพศในตัวเดียวกัน แต่สิ่งที่ทั้งสองต่างกันคือ snails จะมีเปลือกหอย (shell) แต่ slugs ไม่มี เปลือกหอยของ snails เปรียบเสมือนบ้าน ใช้ป้องกันตัวเองจากศัตรูและสภาพแวดล้อมที่แปรปรวน เช่น เมื่อถึงฤดูหนาวมันจะถอยเข้าไปอยู่ในเปลือกหอยแล้วใช้น้ำเมือกเหนียวๆปิดที่ปลายเปิดของเปลือกหอยและรอจนกว่าอากาศอบอุ่นจึงจะออกมา

Copyright by Mahidol University

ในขณะที่ slugs ไม่มีเปลือกหอยแต่จะป้องกันตัวเองโดยขับน้ำย่อยที่มีลักษณะเหนียวและลื่นมาเคลือบที่ตัวของมันอย่างหนาและฝังตัวอยู่ในดินตลอดฤดูหนาว โดยปกติหอยทากจะฝังตัวอยู่ในดินในตอนกลางวัน เมื่อถึงเวลากลางคืนซึ่งมีอากาศชื้นจะออกหาอาหารโดยเคลื่อนตัวไปช้าๆ ขณะที่มันเคลื่อนตัวไปที่ต่อมใกล้ขอบเท้าด้านหน้าจะขับน้ำเมือกเหนียวๆ ซึ่งช่วยอัดฉีดเท้าและป้องกันตัวมันจากการฉีกขาดของเส้นเลือดฝอย จึงพบแถบของน้ำเมือกเหนียวที่แห้งทิ้งไว้ตามพื้นดิน เนื่องจากมันไม่สามารถขุดโพรงได้จึงอาศัยอยู่ตามผิวดินหรือในรอยแตกของหิน กินอาหารโดยใช้ลิ้นที่เหมือนตะไบถู (radula) ซึ่งเป็นแถบของchitin ที่งอกลับได้ อาหารที่มันกินจะถูกเก็บพักเอาไว้จนกระทั่งกลับมาถึงที่พักแล้วจึงย่อย

Wallwork (5) รายงานว่าหอยทากมีการหากินแตกต่างกันไปดังนี้ พวกที่เป็น Herbivorous หากินกับส่วนต่างๆ ของพืช เช่น บนราก ใต้ดิน พวกที่เป็น Fungivorous หากินกับเชื้อรา พวกที่เป็น Detritus feeders หากินกับซากใบไม้เนื้อไม้ที่เน่าเปื่อยโดยการขับเอมไซม์ที่ใช้ย่อยเซลลูโลสออกมาและมีแบคทีเรียอิสระมาช่วยย่อยเซลลูโลส และพวกที่เป็น Predators หากินกับหอยทากเล็กๆ หรือตัวหนอนขนาดเล็กโดยใช้ radula จับเหยื่อแล้วกลืนกิน หอยทากมีความสำคัญในการเน่าเปื่อยของเนื้อไม้ และการย่อยสลายของชั้นอินทรีย์ นอกจากนี้เยื่อเมือกเหนียวๆซึ่งมันผลิตขึ้นจะเชื่อมอนุภาคดินไว้ด้วยกันและเป็นปัจจัยสำคัญในการปรับปรุงโครงสร้างของดิน สำหรับการแพร่กระจายของหอยทากจะสัมพันธ์กับธาตุแคลเซียมในอาหารพืช เนื่องจากเปลือกหอยของมันถูกประกอบด้วยแคลเซียมเป็นส่วนใหญ่ ความชื้นในดิน เนื้อดิน pHของดิน แหล่งอาหารและชนิดของพืชพรรณ

ข. <u>Arthropod animals</u> ได้แก่

ข.1 Arachnida พบในชั้นลิตเตอร์ที่ผิวดิน ส่วนใหญ่เป็นพวก Predaceous ซึ่งประกอบด้วย Arachnida (แมงมุม) หากินกับหมัดไม้ พวก Opiliones(แมงมุมขายาว) หากินกับตัวอ่อนของด้วงดินและตะขาบขนาดเล็ก พวก Chelonothi(แมงป่องเทียม) หากินกับไส้เดือนฝอย แมลงวันขนาดเล็ก แมลงหางดีด พวกแมงป่อง พบในร่องหินแตกหรือในโพรงดินหากินกับตัวอ่อนของด้วง และพวก Acarina(ไรดิน) หากินกับซากพืช รา และแบคทีเรีย บางชนิดเข้าจู่โจมแมลงและไส้เดือนฝอย บางชนิดเป็น parasite เป็นต้น Arachnida มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายของห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศดิน ควบคุมการเจริญเติบโตของราและแบคทีเรียในระบบนิเวศดินอีกทั้งกิจกรรมของมันยังช่วยกระตุ้นการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดินและยังมีบทบาทที่สำคัญในการผสมคลุกเคล้าอินทรียวัตถุในดินซึ่งช่วยให้เกิดกระบวนการสร้างสารฮิวมิก

Copyright by Mahidol University

ข.2 **Diplopoda (millipedes)** กิ้งกือมีร่างกายแบบ multisegmented คือ มีลำตัวกลมยาวคล้ายหนอนที่มีหลายขา มักพบในดินที่ชื้นมีแคลเซียมสูงและมีฝนตกตลอด ดำรงชีวิตด้วยการหากินกับซากพืช (saprophagous) มีเพียงไม่กี่ชนิดที่เข้าทำลายพืช บางชนิดเป็น Predaceous กินสัตว์เล็กๆ ชนิดอื่นเป็นอาหาร กิ้งกือส่วนใหญ่สามารถขับสารที่ทำให้รู้สึกวิงเวียน (ill- smelling fluid) ผ่านออกตรงทางเปิดด้านข้างของลำตัว ซึ่งถ้ามีความเข้มข้นมากสามารถฆ่าแมลงได้ ในบางชนิดพบว่าสารที่ปล่อยออกมามีองค์ประกอบของไฮโดรเจนไซยาไนด์ปนอยู่ด้วย การป้องกันตัวเองส่วนใหญ่โดยการทำท่าขดไปมาขาจะเข้าไปด้านในส่วนเปลือกที่หนาจะอยู่ด้านนอกซึ่งเป็นการหลอกศัตรูว่าตายแล้วโดยท่านี้จะใช้เพื่อรักษาความชื้นในช่วงแห้งแล้งที่ยาวนานด้วย การแพร่กระจายของกิ้งกือจะขึ้นอยู่กับ ความชื้น pHของดิน และชนิดของเศษซากพืช กิ้งกือมีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุและช่วยผลิตฮิวมัสในกระบวนการสร้างสารฮิวมิก อีกทั้งมีความสำคัญในวัฏจักรแคลเซียม(4)

ข.3 **Chilopoda (centipedes)** ตะขาบมีลำตัวยาวแบนคล้ายหนอน มีขา 15 คู่หรือมากกว่า ขา 2 คู่สุดท้ายชี้ห้นไปข้างหลังและมีรูปร่างต่างจากขาคู่อื่นๆ มักพบในที่ชื้นหรือในชั้นดินหลวมๆที่มีซากพืชปกคลุมอยู่ เคลื่อนที่เข้าไปในดินโดยใช้ช่องว่างระหว่างอนุภาคของดิน ตะขาบจัดเป็น predators ในดินโดยกินแมลง แมงมุม และสัตว์ขนาดเล็กเกือบทุกชนิดเป็นอาหาร โดยจะตะครุบเหยื่อหาอาหารในตอนกลางคืนแล้วใช้เขี้ยวพิษกัดเหยื่อให้เป็นอัมพาตก่อน ตะขาบมีความสำคัญในระบบนิเวศดิน คือ ช่วยเพิ่ม C/Nratio ของซากพืชในกระบวนการย่อยสลาย (25) ส่วนการแพร่กระจายของตะขาบขึ้นอยู่กับ ความชื้น ชนิดดิน และขนาดตัว

ข.4 **Insecta** ซึ่งจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

ข.4.1 Apterygota พวกแมลงไม่มีปีก ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างระหว่างการเจริญเติบโต (ametabolous) สามารถลอกคราบได้ไม่จำกัดแม้หลังจากเจริญเป็นตัวเต็มวัยแล้ว เช่น

- Diplurans (ตัวสองง่าม) มีลำตัวเรียวยาวสีขาวซีดหรือน้ำตาลอ่อนอมชมพู มีขนาดตั้งแต่ 3-50 มม. มักพบในที่ชื้นที่มีซากพืชปกคลุมอยู่ ส่วนใหญ่จะพบ 2 วงศ์ คือ พวก japygidae เป็นตัวห้ำกินสัตว์ขนาดเล็ก เช่น แมลงหางดีด ไส้เดือนฝอย โดยใช้ cerci ในการจับเหยื่อ และพวก campodeidae เป็นพวกกินซากพืชและซากอินทรียวัตถุ

- Thysanurans (ตัวสามง่าม) อาจเรียก bristle tails, silverfish, firebrat มีลำตัวเรียวยาวและแบนราบสีเทาและน้ำตาล มักซ่อนตัวอยู่ในรอยแตกของหิน ในชั้นลิตเตอร์ หากินกับซากพืชหรือสปอร์ของเชื้อรา

- Collembola (springtails) แมลงหางดีดส่วนใหญ่จะพบในชั้นลิตเตอร์ที่มีเชื้อราหากินกับซากพืชและเชื้อราสาเหตุโรคพืชหรือกินไส้เดือนฝอยบริเวณรากพืชที่มีชีวิต การแพร่กระจายของ

Copyright by Mahidol University

แมลงหางดีดถูกจำกัดโดย ขนาดของ species และช่องว่างในดิน ความชื้นของดิน แหล่งอาหารที่หาได้ ส่วนจำนวนประชากรของแมลงหางดีดขึ้นอยู่กับ ชนิดของพืชพรรณ โครงสร้างของดิน จุลินทรีย์ดิน ความชื้นในดินและในบรรยากาศ แมลงหางดีดมีความสำคัญต่อระบบนิเวศในกระบวนการเกิดดิน คือ ช่วยย่อยสลายอินทรียวัตถุและส่งเสริมกระบวนการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชในดิน ผลิต faecal pellets ซึ่งทำให้เกิดฮิวมัส นอกจากนี้ยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง C/N ratio ในกระบวนการย่อยสลาย โดยทำให้ C/N ratio ลดลง (26)

ข.4.2 Pterygota ประกอบด้วยแมลงที่มีปีกส่วนใหญ่

- Orthoptera แมลงในอันดับนี้ ได้แก่ ตั๊กแตน จิ้งหรีด แมลงกระชอน แมลงสาบ แต่ที่มีบทบาทเด่นชัดคือ แมลงกระชอน (mole crickets) ซึ่งมีลำตัวสีน้ำตาล ส่วน tibia และ tarsi ของขาคู่หน้าจะกว้างและแบนใช้ในการขุดดิน พบตามที่ชื้นหากินกับรากพืชและแมลงในดิน บทบาทของแมลงกระชอนที่มีต่อดิน ได้แก่ พฤติกรรมการขุดโพรงที่ช่วยเพิ่มอากาศและการระบายน้ำของดิน ส่งเสริมให้เกิดการผสมของแร่ธาตุในดิน ช่วยควบคุมประชากรของศัตรูพืช เช่น หนอนและตัวอ่อนของแมลงวัน ส่วนผลเสียคือรบกวนชั้นดินและเพิ่มอันตรายในการเกิดกัยการของดิน

- Isoptera (termitesหรือwhite ants) ปลวกเป็นแมลงสังคม มีขนาด 2-12 มม. ยกเว้นปลวกแม่รัง(queen) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าตัวอื่นประมาณ 4 -15 เท่า ในแต่ละรังของปลวก(mound) จะแบ่งเป็นระบบ caste ซึ่งจะบอกถึงการทำงานที่แตกต่างกัน ได้แก่ Reproductive caste ซึ่งมีปีกและตารวมทั้งตัวผู้และตัวเมีย สามารถสลัดปีกทิ้งได้หลังจากที่ได้รับการผสมพันธุ์ ตัวเมียจะเป็นราชินี (queen) ทำหน้าที่วางไข่ Soldier เป็นตัวเต็มวัยที่เจริญเต็มที่แล้วมีส่วนหัวและกรามใหญ่ ซึ่งบางครั้งใหญ่มากจนไม่สามารถจะกินอาหารด้วยตัวเองได้ต้องอาศัย workers เป็นผู้ป้อนให้ ทำหน้าที่เฝ้าระวังรักษารังในกรณีที่มีศัตรูมารังควานโดยการกัดศัตรูหรือเอาหัวอุดรูไม่ให้ศัตรูเข้าได้ Worker คือ ตัวอ่อนและตัวเต็มวัยที่เป็นหมัน ไม่มีปีกและตารวม ทำหน้าที่ต่างๆในการดูแลรังทั่วไป เช่น หาอาหาร เพาะเลี้ยงเชื้อราเป็นอาหาร เลี้ยงและดูแลแม่รัง สร้างรัง ทำทางเดินต่างๆ (27)

ปลวกอาศัยอยู่ในที่มืดและชื้น เจริญเติบโตบนเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนประกอบในเนื้อไม้ แต่ไม่สามารถย่อยเซลลูโลสได้ต้องอาศัยโปรโตซัวในลำไส้ เพื่อช่วยในการย่อยสลาย อาหารที่ปลวกกินแบ่งเป็น 3 ชนิดคือ พวกกินเนื้อไม้ที่มีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบ พวกกินวัตถุที่เน่าเปื่อยหรือซากพืชซากสัตว์ และพวกกินสปอร์ของเชื้อราเป็นอาหาร(4) บทบาทของปลวกที่มีต่อระบบนิเวศดิน ได้แก่ ช่วยในการย่อยสลายอินทรียวัตถุขนาดใหญ่ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส โพลีแซคคาไรด์ ขณะเดียวกันการสร้างรังของปลวกยังมีผลต่อการเคลื่อนย้ายอินทรีย์วัตถุจากผิวดินทำให้เกิดฮิวมัส การผสมคลุกเคล้าดินและอินทรียวัตถุจากชั้นดินต่างๆให้เข้ากับอนินทรีย์สารในดิน (27) ปลวกช่วยเพิ่มจำนวนของ inquilines (สิ่งมีชีวิตที่มีชีวิตอยู่ในรังปลวกโดยแบ่งที่ว่างในรังเป็นที่อยู่

Copyright by Mahidol University

อาศัย เช่น มด ไรดินและแมลงหางดีด) จากความสำคัญดังกล่าวจึงจัดให้ปลวกเป็น soil movers (bioturbators) เช่นเดียวกับ มด และไส้เดือนดิน

- Coleoptera(beetles) ด้วงปีกแข็งเป็นแมลงที่พบได้ทั่วไปและสามารถกินอาหารได้หลายชนิด ด้วงหลายชนิดกินพืชโดยจะอาศัยอยู่ในชั้นลิตเตอร์หากินโดยการเจาะไม้หรือผลไม้ หรือชอนใบทำลายส่วนรากพืชหรือส่วนหัว บางชนิดก็หากินกับดอกไม้และเรณู เช่น ด้วงดีด ตัวอ่อนของด้วงแรด บางชนิดเป็นตัวห้ำกินแมลงชนิดอื่นเป็นอาหาร เช่น ด้วงดิน ด้วงเสือ ด้วงเต่า บางชนิดกินซากเน่าเปื่อย เช่น ตัวเต็มวัยของด้วงแรด มอดแป้ง ด้วงบางชนิดมีความสัมพันธ์กับพวกแมลงสังคมโดยอาศัยร่วมอยู่ในรัง เช่น ตัวอ่อนของด้วงก้นกระดกจะอาศัยอยู่ในรังของมดแล้วใช้ขนเป็นตัวขับสารให้มดมาค้นหาและจะกินอาหารโดยตรงจากปากของมดส่วนตัวเต็มวัยจะใช้ตัวอ่อนของมดเป็นอาหารในขณะที่มดเลี้ยงดูตัวอ่อนของด้วงโดยหาอาหารมาให้กิน ด้วงมีความสำคัญต่อระบบนิเวศดิน คือ ช่วยย่อยสลายอินทรียวัตถุและช่วยซ่อมแซมสมดุลในจำนวนของสิ่งมีชีวิตอื่นๆในดิน (6)

- Diptera(flies) แมลงวันพบตามที่ชื้นใกล้น้ำ ส่วนในดินจะพบในระยะตัวอ่อนส่วนใหญ่กินซากพืชซากสัตว์ที่เน่าเปื่อยเป็นอาหาร แมลงวันมีความสำคัญต่อระบบนิเวศดิน คือ ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน และทำให้เกิดสภาพที่เหมาะสมต่อพัฒนาการของจุลินทรีย์ดิน

- Hymenoptera(wasps&ants) พวกที่มีบทบาทต่อระบบนิเวศดิน ได้แก่

ต่อรัง (Vespoidea or Solitary wasps) สร้างรังในดินโดยตัวเมียเต็มวัยจะขุดรูลงไปในไม้หรือดินทำเป็นรังเล็กๆแล้วจับหนอนของแมลงต่างๆ ซึ่งโดยมากเป็นหนอนผีเสื้อ โดยการต่อยให้สลบแล้วนำไปเลี้ยงลูกในรัง มีบางชนิดที่อยู่กันเป็นกลุ่มแบบสังคมโดยสร้างรังจากใบไม้ซึ่งเคี้ยวแล้วผสมกับน้ำลายทำเป็นแผ่นบางคล้ายกระดาษ สร้างเป็นรังขึ้น มีการจัดสรรแรงงานให้ทำหน้าที่ต่างๆกัน มีทั้งชนิดที่ทำรังเล็กอยู่ตัวเดียวเช่น ต่อแม่หม้ายหรือมีพวกที่อยู่กันไม่ถึง 10 ตัว จนกระทั่งถึงพวกที่ทำรังขนาดใหญ่เป็นหลายร้อยตัว การกินอาหารจะหากินกับตัวอ่อนของหนอนและแมลงอื่นๆ บางชนิดจะกินเชื้อราน้ำหวาน หรือเกสรดอกไม้ต่างๆ

มด (ants) มีความเป็นอยู่แบบรวมกันเป็นกลุ่ม (colonial) มีสังคม (social insects) ประกอบด้วย 3 castes ต่างเพศกัน คือ gueens males และ workers มดชอบอาศัยอยู่ในที่อบอุ่นมีความชื้นเช่นใต้หินแบนๆหรือในดิน การที่มดอาศัยอยู่ในดินเพื่อป้องกันตัวเองจากศัตรูและสภาพแวดล้อม (แสงแดด อากาศแห้ง ลม ฝน) เพื่อแหล่งอาหาร มดแต่ละรังนั้นมีขนาดต่างๆกัน การกินอาหารก็แตกต่างกันไป บางชนิดกินสัตว์อื่นเป็นอาหาร กินมูลสัตว์ เชื้อรา น้ำหวานหรือเกสรดอกไม้ต่างๆ บางชนิดก็กินพืช ปัจจัยที่จำกัดการแพร่กระจายของมด คือ ปริมาณอาหาร สภาพแวดล้อมและความชื้นของดิน สำหรับความสำคัญของมดต่อระบบนิเวศดิน คือ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างดินโดยการสร้างรังของมดจะทำให้เกิดช่องว่างจำนวนมากในดิน ส่งผลให้

Copyright by Mahidol University

เกิดการไหลเวียนของอากาศในดิน ดินมีอัตราการซาบซึมน้ำสูง ทำให้เกิดฮิวมัสและยังทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายดิน เกิดการผสมของแร่ธาตุในดินระหว่างดินบนกับดินล่างทำให้ดินหลวมขึ้น ช่วยในการหมุนเวียนธาตุอาหารและการทับถมของอินทรียวัตถุบนผิวดิน จากความสำคัญดังกล่าวจึงจัดให้มดเป็น soil movers (bioturbators)(20)

2.1.2 จุลินทรีย์ดิน (Soil microorganisms)

จุลินทรีย์ดิน จัดเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศในฐานะเป็นผู้ย่อยสลายอินทรียวัตถุและมีบทบาทสำคัญต่อการหมุนเวียนธาตุอาหาร เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน ดินที่มีจุลินทรีย์มากส่วนใหญ่มักเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง ซึ่งชนิดและจำนวนของจุลินทรีย์ในดินจะแตกต่างกันไปตาม ชนิดของดิน แร่ธาตุและอินทรียสารในดิน ความชื้นของดิน ฯลฯ

Gray และ Williams (28) ได้สรุปความสำคัญของจุลินทรีย์ที่มีต่อดินไว้ว่า จุลินทรีย์ดินช่วยในการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดิน กล่าวคือ จุลินทรีย์ดินจะย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินให้กลายเป็นอินทรียสารขนาดเล็กในรูปที่ง่ายต่อการนำเข้าสู่เซล อินทรีย์สารที่ผ่านการย่อยสลายในครั้งแรกจะถูกออกซิไดซ์โดยเอนไซม์ที่อยู่ภายในเซล เพื่อนำธาตุอาหารโมเลกุลเล็กมาเป็นแหล่งพลังงานและสร้างเป็นเซลใหม่ ผลที่ได้จากการย่อยสลายนี้ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอินทรีย์ slimy material ธาตุอาหารและฮิวมัส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ได้แก่ ปริมาณออกซิเจน เป็นต้น ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นนี้เมื่อรวมกับน้ำในดินจะเกิดเป็นกรดคาร์บอนิด ซึ่งทั้งกรดคาร์บอนิด และกรดอินทรีย์ จะเป็นตัวช่วยละลายธาตุอาหารบางชนิด เช่น ฟอสฟอรัส แคลเซียม เหล็ก และแมงกานีส เป็นต้น ส่วน slimy material จะเป็นตัวช่วยให้เม็ดดินจับตัวกันเป็นก้อนทำให้ดินร่วนซุย และเนื่องจากในอินทรียวัตถุมีธาตุอาหารหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นเมื่อมีการสลายตัวจะปลดปล่อยธาตุอาหารชนิดต่างๆออกมาให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ รวมทั้งสารฮิวมิก ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยปรับปรุงโครงสร้างและสมบัติทางเคมีของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

ส่วนผลต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยตรงนั้น จุลินทรีย์ดินบางชนิดจะสามารถสร้างสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยผลิต growth substances ออกมา ซึ่งเป็นสารที่กระตุ้นให้พืชเจริญงอกงามดีขึ้น เช่น เชื้อราบางชนิดสามารถสังเคราะห์สารพวก indole acetic acid (IAA) เร่งการยืดขยายของเซลพืช ทำให้พืชเจริญอย่างรวดเร็ว และแบคทีเรียบางชนิดสามารถสังเคราะห์สารพวก thiamine และ biotine ซึ่งสารนี้จะกระตุ้นการเจริญของไรโซเบียมให้เจริญอย่างรวดเร็วการตรึงไนโตรเจนจากอากาศมาเปลี่ยนเป็นสารประกอบไนเตรตจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วด้วย หรือแม้กระทั่ง

Copyright by Mahidol University

แบคทีเรียพวก *Azotobacter sp.* ก็สามารถสังเคราะห์ฮอร์โมนชนิดต่างๆ เช่น Auxin Gibberellic acid ด้วยเหตุนี้เองพืชที่มีจุลินทรีย์ในอาณาเขตรากของพืชมากจะเจริญงอกงามดี และจุลินทรีย์ในดินยังช่วยในการย่อยสลายหรือแปรสภาพสารเคมีชนิดต่างๆที่ปนเปื้อนลงไปในดิน โดยมีบทบาทสำคัญในการช่วยทำลายความเป็นพิษของสารเคมีในพื้นที่ดินทางการเกษตรซึ่งมีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในปริมาณมากในแต่ละปี (29) นอกจากนี้ R.H.Miller (อ้างใน1) ได้สรุปกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ดินที่มีความสำคัญต่อรากพืชและอาณาเขตรากของพืช ซึ่งเป็นแหล่งที่มีประชากรของจุลินทรีย์และกิจกรรมของจุลินทรีย์อยู่มาก ไว้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 กิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ดินที่มีความสำคัญต่อรากพืชและอาณาเขตของรากพืช

กิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน	ความสำคัญ
การย่อยสลายซากพืชและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	- จุลินทรีย์ดินช่วยสังเคราะห์ฮิวมัส - จุลินทรีย์ดินช่วยปลดปล่อยอินทรียสาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน - มีส่วนในกระบวนการสร้างตัวของดิน
เพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช	- ความสัมพันธ์แบบเกื้อกูลกันกับไมคอไรซา - ผลิตสารคีเลต - ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน
กระบวนการตรึงไนโตรเจน	- แบคทีเรียอิสระที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้เองและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน - ความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ - ความสัมพันธ์แบบเกื้อกูลกันกับพืชตระกูลถั่วและพืชอื่น
ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช	- ผลิตฮอร์โมนส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช - ป้องกันเชื้อสาเหตุโรคพืชไม่ให้ผ่านเข้าไปทางราก - ส่งเสริมให้ธาตุอาหารถูกปลดปล่อยออกมาให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้
ควบคุมไส้เดือนฝอยและแมลงอื่นๆ	- จุลินทรีย์ดินบางชนิดจะกินไส้เดือนฝอยและแมลงศัตรูพืช
ควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธี	- จุลินทรีย์ดินบางชนิดสามารถทำลายแมลงศัตรูพืชได้
ลดการปนเปื้อนของสารเคมี	- จุลินทรีย์ดินช่วยย่อยสลาย/แปรสภาพสารเคมีหรือของเสียจากอุตสาหกรรมได้
ส่งเสริมให้พืชทนแล้ง	- จุลินทรีย์ดินบางชนิดสามารถดำรงชีวิตและเจริญเติบโตอยู่ได้ในที่ซึ่งมีอุณหภูมิสูง

ที่มา: Clive A. Edwards(1)

Copyright by Mahidol University

หากจำแนกกลุ่มจุลินทรีย์ออกตามชนิดของสารอาหารคาร์บอนแล้ว สามารถแบ่งได้เป็น 2 พวกคือ พวก Heterotroph เป็นพวกที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารคาร์บอน ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดในดินและมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรียวัตถุหรือกิจกรรมอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้อินทรียวัตถุเป็นอาหาร และ พวก Autotroph เป็นพวกที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งอาหารคาร์บอนเพื่อสังเคราะห์สารอินทรีย์มาสร้างเป็นองค์ประกอบของเซลจึงเป็นพวกที่มีบทบาทในการเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดินและเกี่ยวข้องในการ oxidation ของสารอนินทรีย์ สำหรับจุลินทรีย์ดินนั้นโดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 5 กลุ่มหลัก คือ แบคทีเรีย รา แอคติโนมัยสีท สาหร่าย และ โปรโตซัว (30) ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะมีชนิดและจำนวนแตกต่างกันไปตามแหล่งที่อยู่อาศัยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพ เช่น ชนิดของดิน โครงสร้างและความพรุนของดิน อุณหภูมิดิน การหมุนเวียนของอากาศในดิน แสงสว่าง และฤดูกาล ปัจจัยทางเคมี เช่น ความชื้น pHของดิน อินทรียสารในดิน และปัจจัยทางชีวภาพ เช่น ความใกล้-ไกลบริเวณรากพืช ชนิดของพืช

ในการกล่าวถึงการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินโดยทั่วไปมักพิจารณาจุลินทรีย์ดิน 3 กลุ่ม คือ แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยสีท ซึ่งจุลินทรีย์ดินแต่ละกลุ่มเหล่านี้จะมีบทบาทในการย่อยสลายแตกต่างกันไป กล่าวคือ

1) Bacteria ประชากรส่วนใหญ่ของจุลินทรีย์ในดินจะเป็นแบคทีเรียซึ่งมักพบแบคทีเรียในช่วง 10^8-10^9 เซลล์ต่อดินแห้ง 1 กรัม โดยทั่วไปจะแบ่งแบคทีเรียที่พบในดินออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

- Indigenous (Autochthonous) เป็นพวกที่พบอยู่ในดินโดยทั่วไปซึ่งแบ่งได้เป็น 2 พวก คือ พวกที่ในสภาพธรรมชาติจะไม่แสดงกิจกรรมเด่นชัดมีปริมาณค่อนข้างคงที่ เนื่องจากได้รับอาหารจากอินทรียวัตถุและแร่ธาตุในดินอย่างเพียงพอไม่ต้องการจากภายนอกอีกและพวกที่ในสภาพธรรมชาติจะพบในปริมาณน้อยมาก แต่เมื่อมีการเติมอินทรียวัตถุลงไปในดินปริมาณจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนเมื่ออินทรียวัตถุที่เติมลงในดินหมดไป ปริมาณของแบคทีเรียพวกนี้จะลดลงอย่างรวดเร็ว

- Invaders (Allochthonous) เป็นพวกที่ไม่พบอยู่ในดินโดยทั่วไป จะพบในกรณีที่ดินมีการปนเปื้อนจากสิ่งต่างๆ เช่น ขยะ มูลสัตว์ พวกนี้อาจดำรงชีวิตอยู่ในดินได้ระยะหนึ่ง แต่จะไม่พบว่ามีการเพิ่มจำนวนหรือไปแสดงบทบาทในกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน

นอกจากนี้ยังแบ่งแบคทีเรียในดินตามความสำคัญในระบบนิเวศ ตัวอย่างเช่นกลุ่มแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ (31) แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. แบคทีเรียที่ต้องอาศัยร่วมอยู่กับพืชจึงสามารถตรึงไนโตรเจนได้ (Symbiotic Nitrogen Fixing Bacteria) ได้แก่ Rhizobium เป็นแบคทีเรียที่สามารถเข้าสร้างปมในพืชตระกูลถั่วและสร้างเอมไซม์ nitrogenase ซึ่งเป็นประโยชน์แก่พืช

Copyright by Mahidol University

2. แบคทีเรียอิสระที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้เอง (Free - living Bacteria) ซึ่งแบ่งย่อยได้เป็น 3 กลุ่ม คือ Aerobic bacteria ได้แก่ Family Azotobacteraceae (Genus Azotobacter, Genus Azomonas, Genus Beijerinckia, Genus Derxia), Facultative bacteria ได้แก่ Family Bacillaceae (Genus Bacillus), Family Spirillaceae (Genus Azospirillum), Family Enterobacteriaceae(Genus Klebsiella, Genus Enterobacter, Genus Citrobacter, Genus Ewinia, Genus Escherichia) และ Anaerobic bacteria ได้แก่ Family Bacillaceae (Genus Clostridium), Family Spirillaceae(Genus Desulfovibrio, Genus Desulfotomaculum)

ส่วนปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อชนิดและปริมาณของแบคทีเรียในดิน ได้แก่ ความชื้นในดิน การถ่ายเทอากาศในดิน อุณหภูมิ อินทรียวัตถุในดิน pHของดิน การเขตกรรม ฤดูกาล และ ความลึกของดิน นอกจากนี้กระบวนการทางชีววิทยาของแบคทีเรียในดินยังมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายของซากพืช/สัตว์/จุลินทรีย์ในดิน ตลอดจนมีส่วนในการเปลี่ยนแปลงของวัฏจักรสารอาหารต่างๆในดินและมีส่วนในกระบวนการสร้างตัวของดิน(32)

2) **Fungi** รามีโครงสร้างของเซลเป็นแบบ eukaryote คือ มีนิวเคลียสชัดเจนและมีเยื่อหุ้มนิวเคลียส มีรูปร่างเป็นเส้นใยเจริญเติบโตโดยการยืดยาวและแตกแขนงของเส้นใยเป็นหลัก สามารถสร้างสปอร์ได้ โดยทั่วไปสามารถแบ่งราได้เป็น 2 พวกคือ พวกที่เป็นเซลเดียว คือ yeast มีรูปร่างกลมหรือรี ส่วนใหญ่เพิ่มจำนวนโดยการแตกหน่อ (budding) แต่บางชนิดก็เพิ่มจำนวนโดยการแบ่งตัวจากหนึ่งเป็นสอง (binary fission) และพวกที่เป็นเส้นใย คือ Mold มีหลายเซลต่อกันเป็นสายยาว (hypha) บางชนิดมีผนังกั้นระหว่างเซลภายในเส้นใย เรียก Septate hypha บางชนิดไม่มีผนังกั้นระหว่างเซลจึงเห็นนิวเคลียสหลายนิวเคลียสในเส้นใยเรียก Nonseptate hypha กลุ่มของ hypha เรียกว่า Mycelium ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ Vegetative mycelium เป็นเส้นใยที่โครงสร้างเจริญแทรกไปในแหล่งอาหาร สร้างเอมไซม์ย่อยสลายอาหารแล้วดูดซึมเข้าไปในเซลไปเลี้ยงส่วนต่างๆ และ Reproductive mycelium มีหน้าที่สร้างสปอร์เพื่อแพร่พันธุ์มีทั้งแบบมีเพศและไม่มีเพศ แต่จะพบแบบไม่มีเพศมากกว่า

ราเป็นพวก aerobic heterotroph คือใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารและต้องการออกซิเจนในการหายใจ ส่วนใหญ่กินเศษซากอินทรียวัตถุในดินเป็นอาหาร แต่ก็มีจำนวนไม่น้อยที่สามารถก่อให้เกิดโรคกับพืช เช่น *Fusarium sp., Alternaria sp.* และบางชนิดเป็น symbiosis กับสิ่งมีชีวิตอื่น เช่น Mycorrhizae เป็นราที่อาศัยอยู่ในรากพืชชั้นสูงแบบพึ่งพา เมื่ออาศัยอยู่ที่รากพืชเส้นใยส่วนหนึ่งจะอยู่ในรากพืชและอีกส่วนหนึ่งจะชอนไชไปในอนุภาคของดิน ซึ่งเส้นใยนี้สามารถดูดธาตุอาหารในดินให้แก่พืชได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัส และไลเคน เป็นต้น รามีบทบาทในการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินที่มีโมเลกุลซับซ้อน เช่น ลิกนิน แป้ง เพกติน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

Copyright by Mahidol University

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยมหิดล

ซึ่งการย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อมีการเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดินและผลจากการย่อยสลายนี้ทำให้สารประกอบพวกคาร์บอนและไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีขึ้น นอกจากนี้เส้นใยของราย่างช่วยยึดอนุภาคดินขนาดเล็กๆให้จับตัวกันเป็นก้อน ราบางชนิดได้อาหารจากการทำลายจุลินทรีย์อื่นในดินโดยเข้าจู่โจม parasitize ของสัตว์ในดิน เช่น ไส้เดือนฝอย จึงช่วยควบคุมสัดส่วนของจุลินทรีย์ดินให้อยู่ในภาวะที่สมดุลกับสิ่งมีชีวิตอื่นในระบบนิเวศดิน(33) ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อชนิดและปริมาณของราในดิน ได้แก่ อินทรียวัตถุในดิน pH ของดิน ความชื้นในดิน การถ่ายเทอากาศในดิน อุณหภูมิ พืชพรรณและความลึกของดิน

3) Actinomycetes พบในช่วงประมาณ 10^7-10^8 เซลต่อดินแห้ง 1 กรัม มีลักษณะที่คล้ายทั้งแบคทีเรียและรา เช่น มีโครงสร้างและขนาดของเซลคล้ายแบคทีเรีย แต่มีเส้นใยที่แตกแขนงคล้ายเส้นใยของราตรงปลายจะมีการสร้างสปอร์แบบ Asexual spore เรียกว่า Conidia มีการเพิ่มจำนวนคล้ายราโดยเพิ่มความยาวและจำนวน mycelium แอคติโนมัยสีทเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการหายใจจึงไม่ทนต่อภาวะน้ำขังหรืออับอากาศของดิน ส่วนใหญ่เจริญอย่างอิสระในดินแบบ saprophyte โดยใช้อินทรียวัตถุเป็นอาหาร สามารถย่อยสลาย carbonaceous substrates ได้มาก ทำให้สารประกอบที่ย่อยยาก เช่น ไคติน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ย่อยสลายได้ภายใต้สภาพดินที่มี pHสูงๆ (34) บทบาทของแอคติโนมัยสีทในดินนอกจากจะช่วยในการย่อยสลายสารประกอบที่ซับซ้อนในเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ เช่น กรดอินทรีย์ โปรตีน ไขมัน อินซูลิน โพลีแซคคาไรด์ และไคติน แอคติโนมัยสีทยังสามารถสร้างสารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ เช่น สารปฏิชีวนะ stretomycin, chloramphenicol, chlortetracycline, oxytetracycline และcycloheximide ซึ่งในแง่นี้จะมีส่วนช่วยควบคุมสมดุลของจุลินทรีย์ในดิน นอกจากนี้แอคติโนมัยสีทยังช่วยสร้างฮิวมัสในดินโดยการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ในเศษซากพืชให้เป็นสารอินทรีย์ชนิดที่พบทั่วไปในดิน ส่วนปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อชนิดและปริมาณของแอคติโนมัยสีทในดิน ได้แก่ อินทรียวัตถุในดิน pHของดิน ความชื้นในดิน อุณหภูมิ ฤดูกาลและความลึกของดิน ตัวอย่างของแอคติโนมัยสีทที่พบมากในดิน ได้แก่ Frankia เป็นแอคติโนมัยสีทที่ต้องอาศัยร่วมอยู่กับพืชจึงสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้โดยการเข้าสร้างปมในรากพืชหลายชนิดที่ไม่ใช่พืชตระกูลถั่ว เช่น Alnus, Casuarina และMyrica และ Streptomyces เป็นแอคติโนมัยสีทที่เป็นเชื้อสาเหตุโรคพืช

สำหรับประเทศไทยได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการดินและพืชในรูปแบบต่างๆที่มีผลต่อจุลินทรีย์ดินอยู่บ้างแต่ยังไม่กว้างขวางนัก และจากการรวบรวมงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับบทบาทของจุลินทรีย์ดินที่มีต่อดินพบว่า จุลินทรีย์ดินมีความสำคัญต่อระบบนิเวศดินกล่าวคือ จุลินทรีย์ดินช่วยในการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินให้กลายเป็นอินทรียสารขนาดเล็กในรูปที่ง่ายต่อการนำเข้าสู่เซลและมีบทบาทสำคัญต่อการหมุนเวียนธาตุอาหารเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน ขณะเดียวกัน

Copyright by Mahidol University

i ว๘๕๓๗๐๒๒ ค.๒

จุลินทรีย์ดินบางชนิดสามารถสร้างสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและมีบทบาทสำคัญยิ่งในการช่วยย่อยสลายหรือแปรสภาพสารเคมีชนิดต่างๆที่ปนเปื้อนลงไปในดิน(13) จากการศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างต่อเนื่องต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน โดยการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกิจกรรมการหายใจ ปฏิกิริยารีดักชั่นของFe^{2+} และปริมาณไนเตรทที่เกิดจากขบวนการไนตริฟิเคชั่นจากดินที่เก็บหลังการพ่นสารกำจัดศัตรูพืชว่าแตกต่างจากดินที่เก็บก่อนการใช้สารอย่างไร พบว่า ในแปลงที่มีการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างต่อเนื่องจุลินทรีย์ในดินที่ระดับความลึก 0-15 ซม. จากผิวดินจะมีกิจกรรมการหายใจและปฏิกิริยารีดักชั่นของFe^{2+}ลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งแต่กิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในขบวนการไนตริฟิเคชั่นไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนในดินที่ระดับความลึก15-30 ซม. กิจกรรมทั้งสามในดินที่เก็บก่อนและหลังการใช้สารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (35)

นอกจากนี้ชวลิต (36) ศึกษาผลกระทบของการจัดการสวนผักและสวนผลไม้ของเกษตรกรที่มีต่อจุลินทรีย์ดินในเขตอ. ดำเนินสะดวก จ. ราชบุรี พบว่าเมื่อไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีอื่นใดเลยดินชุดดำเนินสะดวกจะมีแบคทีเรียทั้งหมด ราทั้งหมด และแอคติโนมัยสีททั้งหมด รวมทั้งจำนวนจุลินทรีย์ทุกกลุ่ม ในดินบน $570x10^6$, $905x10^5$, $815x10^3$ และ $661x10^6$ เซล/กรัมและในดินล่าง $28x10^6$, $32x10^5$, $84x10^3$ และ $31x10^6$ เซล/กรัม ตามลำดับและมีปริมาณสัมพัทธ์ของจุลินทรีย์ทั้ง 3 กลุ่มในดินบนร้อยละ 80.08, 19.82 และ 0.098 และในดินล่างร้อยละ72.92, 26.60 และ 0.490 ตามลำดับ ปริมาณรวมของจุลินทรีย์ 3 กลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติแต่ของจุลินทรีย์ในแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน ความแปรปรวนของจำนวนที่นับได้จริงภายในแต่ละสวนนั้นสูงมากจนทำให้จำนวนของแบคทีเรียทั้งหมด แอคติโนมัยสีททั้งหมด และจำนวนจุลินทรีย์รวมทั้งในดินบนและดินล่างไม่แตกต่างกันทางสถิติทั้งๆที่ปริมาณเฉลี่ยที่นับได้ในดินบนสูงถึง 20, 10 และ21 เท่าตามลำดับ และปริมาณรวมของจุลินทรีย์ทั้ง 3 กลุ่มในสวนไม้ผลสูงกว่าในสวนผัก

สำหรับการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ในดินโดยทั่วไปจะใช้ 2 วิธีใหญ่ๆ (37) คือ Total cell count หรือ Direct microscopic count เป็นการนับจำนวนเซลทั้งที่มีชีวิตและที่ตายแล้ว โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ หรือการใช้ counting chamber เช่น Haemacytometer แต่ต้องมีจำนวนเซลจุลินทรีย์ที่มากพอ คือ ไม่ต่ำกว่า 10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และ Viable count หรือ plate count เป็นการนับเฉพาะเซลที่มีชีวิต ซึ่งการทำ Viable count อาจใช้วิธี Drop count method เป็นการหยด suspension ของเชื้อที่ความเจือจางต่างๆ 1 หยดเล็กลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อหรือการทำ Dilution plate count method เป็นการเจือจางเชื้อในน้ำกลั่นหรือ 0.85%Nacl (Normal saline) หรือ 0.1% peptone water เพื่อให้มีจำนวนโคโลนีที่เหมาะสมต่อการนับบนจานเพาะเชื้อ โดยส่วนใหญ่จะทำการเจือจางเพิ่มขึ้นครั้งละ

Copyright by Mahidol University

10 เท่า (ten fold) เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจำนวนโคโลนี แล้วจึงนำแต่ละความเจือจางมา Pour plate หรือ Spread plate ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ

2.2 ระบบเกษตรยั่งยืน

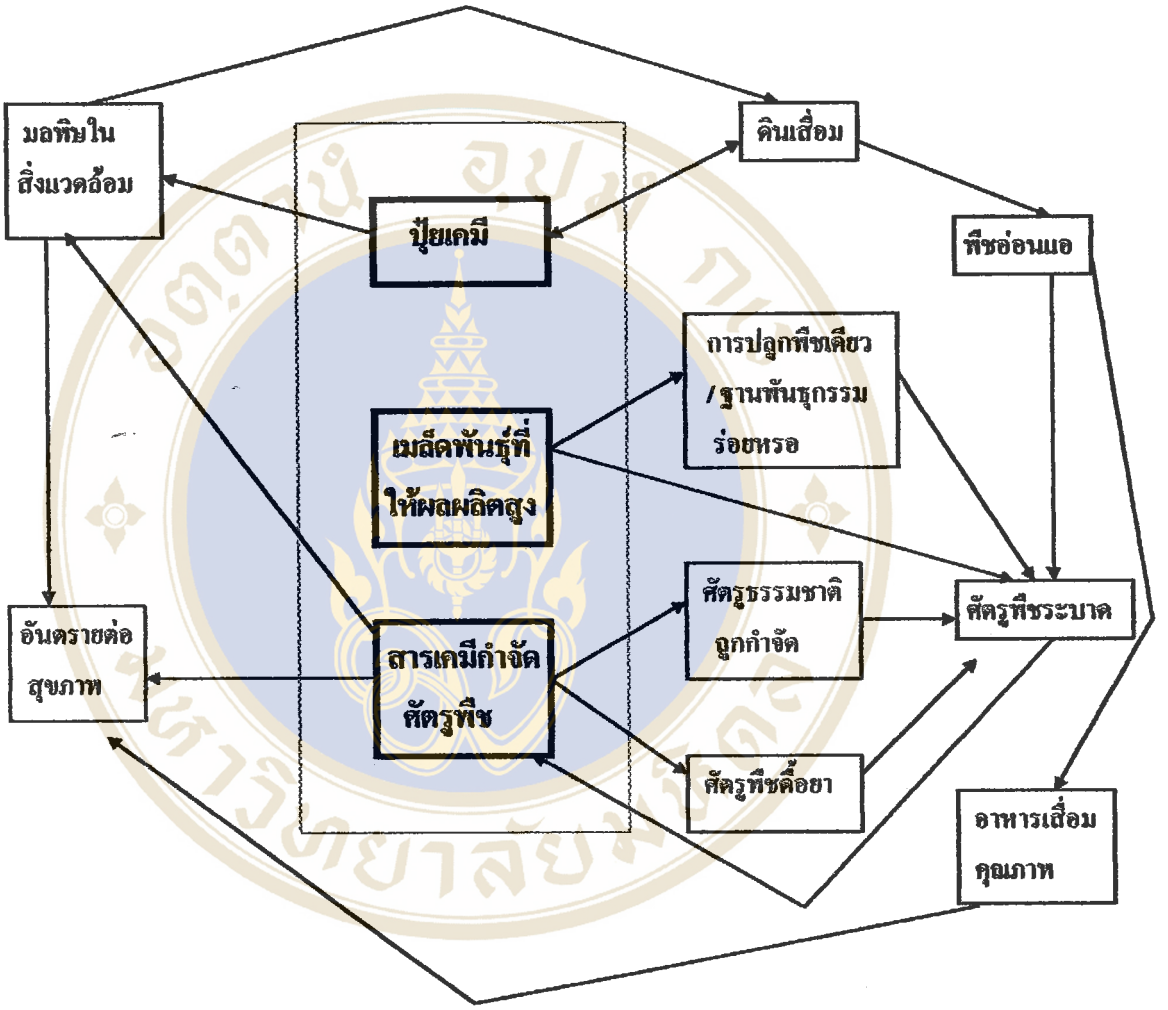
นับตั้งแต่ประเทศไทยได้ประกาศใช้แผนพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติฉบับที่ 1 ในปีพ.ศ. 2504 ภายใต้อิทธิพลของการปฏิวัติเขียว ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในภาคการเกษตร คือ การเปลี่ยนจากวิถีการผลิตเพื่อยังชีพมาสู่วิถีการผลิตเพื่อการค้าและการส่งออก หรือที่เรียกว่า เกษตรกรรมสมัยใหม่ ที่เน้นการผลิตเพื่อตอบสนองนโยบายการขยายตัวทางเศรษฐกิจ โดยเน้น 3 กลยุทธ คือ เน้นการส่งออกพืชเศรษฐกิจ ได้แก่ ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพด และข้าวฟ่าง ซึ่งต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ เน้นประสิทธิภาพการผลิตและผลผลิตต่อไร่ ซึ่งต้องลงทุนใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ อาทิ เครื่องจักรกล ปุ๋ยและสารเคมีทางการเกษตร ซึ่งเมื่อใช้เป็นระยะเวลานานจะส่งผลให้ดินเสื่อมโทรม ประการสุดท้ายเน้นการเกษตรแบบครบวงจร (Contract Farming) อันเป็นธุรกิจการเกษตรรายใหญ่ ซึ่งมีผลกระทบต่อการสูญเสียที่ดินของเกษตรกรรายย่อย (38)

กลยุทธ์ดังกล่าวแม้จะส่งผลกระทบด้านบวกต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจ แต่ขณะเดียวกันก็ทำให้เกษตรกรต้องลงทุนเพื่อการผลิตสูงขึ้น โดยเฉพาะการใช้ปัจจัยการผลิตจากภายนอกอาทิ ปุ๋ยเคมีและสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุดส่งผลให้เกษตรกรต้องเผชิญกับปัญหาหนี้สินและความยากจน และผลจากการปฏิวัติเขียวยังทำให้เกิดปัญหาต่างๆตามมามากมาย โดยเฉพาะผลกระทบจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรที่มีต่อสุขภาพของผู้ผลิตและผู้บริโภค ทั้งในขั้นตอนการใช้สารเคมีและการบริโภคผลผลิตที่มีสารพิษตกค้าง ขณะเดียวกันการเกษตรสมัยใหม่ยังถูกมองว่าเป็นตัวการหลักที่ก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา เช่น ปัญหาดินเสื่อมโทรมอันเนื่องมาจากการชะล้างพังทลายของหน้าดิน,ปัญหาการสะสมสารพิษในดินและน้ำซึ่งเป็นผลมาจากการใช้วัตถุมีพิษทางการเกษตร เป็นต้น ซึ่งปัญหาดังกล่าวสรุปเป็นภาพได้ดังภาพที่ 6 (อ้างใน 39)

จากปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบเกษตรกรรมสมัยใหม่ ส่งผลให้เกิดการแสวงหาระบบเกษตรกรรมมาทดแทนระบบเกษตรกรรมสมัยใหม่ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเรียกกันทั่วไปว่า "ระบบเกษตรยั่งยืน" ที่เน้นให้เกษตรกรสามารถดำรงชีวิตได้อย่างยั่งยืนภายใต้ความอุดมสมบูรณ์ของฐานทรัพยากรธรรมชาติในชุมชน และยังเป็นระบบเกษตรกรรมที่ช่วยฟื้นฟูสภาพแวดล้อมและสร้างความสมดุลให้กับระบบนิเวศ โดยเน้นการปรับปรุงคุณภาพดินให้ดีขึ้นทั้งทางด้านโครงสร้างทาง

Copyright by Mahidol University

กายภาพและคุณสมบัติทางเคมี ตลอดจนส่งเสริมให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดิน อันเป็นปัจจัยสำคัญในเรื่องของความสมดุลของวงจรธาตุอาหารและระบบนิเวศเกษตร



ภาพที่ 6 : วงจรปัญหาของเกษตรกรรมเคมี (39)

Copyright by Mahidol University

2.2.1 แนวคิดและความหมายของเกษตรยั่งยืน

แนวคิดที่จะป้องกันมิให้เกิดความเสื่อมโทรมทั้งคุณภาพและปริมาณของทรัพยากรการเกษตรที่มาจากการเกษตรแผนใหม่ถูกเรียกกันทั่วไปว่าแนวความคิดเรื่องเกษตรยั่งยืน ที่มองว่าการพัฒนาการเกษตรจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆหลายๆด้านพร้อมๆกัน พร้อมทั้งต้องเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่าง การเขตกรรม สภาพแวดล้อม ตลอดจนปัจจัยทางเศรษฐกิจสังคม ไปพร้อมๆกัน เนื่องจากการทำความเข้าใจเกี่ยวกับองค์ประกอบของระบบนิเวศเกษตรจะมีส่วนช่วยให้เกิดการวางแผนจัดการที่เหมาะสม เพื่อให้การผลิตอยู่ในระบบเกษตรยั่งยืนอย่างแท้จริง จากการศึกษารวบรวมแนวความคิดเรื่องเกษตรยั่งยืน สามารถสรุปความหมายของคำว่าเกษตรยั่งยืนได้ดังนี้

โฆษิต (40) ได้สรุปความหมายของคำว่า "เกษตรยั่งยืน" ไว้ว่าเป็นหลักการที่ทำให้เกษตรกรเป็นผู้มีวิจารณญาณกว้างไกลโดยมีเป้าหมายคือปรับปรุงทัศนคติ วิจารณญาณ และความรู้ทางวิชาการให้กว้างไกล ทั้งนี้เพื่อผลักดันให้เกษตรกรเป็นกลุ่มที่ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการพัฒนาการเกษตรให้สอดคล้องกับสภาพทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็วและสามารถจะอาศัยการประกอบอาชีพในภาคการเกษตรโดยพึ่งตนเองได้

คณะกรรมการวิชาการในกลุ่มที่ปรึกษาเกษตรกรรมนานาชาติ (Technical advisory committee in consultative group on international agriculture research , CGIAR 1988 อ้างใน 41) ได้ให้ความหมายของเกษตรยั่งยืนว่า หมายถึง การจัดการทรัพยากรต่างๆเพื่อการเกษตรอย่างมีระบบและสัมฤทธิ์ผลสามารถที่จะเอื้ออำนวยความต้องการในผลิตภัณฑ์อาหารและการเกษตรต่างๆของประชากรได้ขณะเดียวกันก็สามารถที่จะรักษาสมรรถนะในการผลิตของทรัพยากรธรรมชาติพื้นฐานให้คงอยู่หรือเพิ่มขึ้นทั้งนี้ไม่ควรเป็นระบบที่จะส่งผลทำให้สภาพแวดล้อมเสื่อมโทรมลง

คณะกรรมการว่าด้วยบทบาทของเกษตรกรรมทางเลือกในระบบการผลิตสมัยใหม่สภาวิจัยแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกา (Committee on the Role of Alternative Farming Methods in Modern Production Agriculture ของ Board on Agriculture National Research Council, 1987 (42)) ได้ให้ความหมายของเกษตรยั่งยืนว่า หมายถึง ระบบการผลิตอาหารและเส้นใยที่มีเป้าหมายเพื่อการผสมผสานกระบวนการทางธรรมชาติ เช่น วงจรธาตุอาหาร การตรึงไนโตรเจน และความสัมพันธ์ระหว่างแมลงและสัตว์ที่เป็นศัตรูกันตามธรรมชาติ เข้าเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตทางการเกษตร โดยวิธีลดการใช้ปัจจัยการผลิตจากภายนอกที่ไม่สามารถผลิตขึ้นได้เองในท้องถิ่น,ใช้ประโยชน์จากศักยภาพทางชีววิทยาและพันธุกรรมของพันธุ์พืชและสัตว์ต่างๆ ปรับปรุงความสัมพันธ์ระหว่างแบบแผนการเพาะปลูกและศักยภาพในการผลิตกับข้อจำกัดทางกายภาพของที่ดิน

Copyright by Mahidol University

การเกษตร เพื่อรักษาระดับของการผลิตให้มีความยั่งยืน เน้นการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพและมีกำไร โดยปรับปรุงการบริหารจัดการไร่นา ด้วยวิธีอนุรักษ์ดิน น้ำ พลังงาน และทรัพยากรชีวภาพ

ปรัชญา (43) ได้ระบุหลักการและแนวทางในการทำเกษตรยั่งยืนไว้ว่าต้องเป็นการเกษตรที่ให้ผลผลิตเป็นที่น่าพอใจอย่างต่อเนื่อง คือ เพียงพอต่อการบริโภคและเหลือไปจำหน่ายจ่ายแจกยังสถานที่ต่างๆที่ขาดแคลนได้ อีกทั้งผลผลิตที่ได้ต้องมีคุณภาพเป็นผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค คือ ปลอดสารพิษตกค้าง ขณะเดียวกันก็เป็นการดำเนินการทางการเกษตรที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม โดยหลีกเลี่ยงการใช้เครื่องจักรกลในการเกษตร โดยมีแนวทางในการดำเนินการทำเกษตรยั่งยืนดังนี้ คือ การคัดเลือกพันธุ์พืชพื้นเมืองที่มีความต้านทานต่อโรคและแมลง การป้องกันและกำจัดศัตรูพืชโดยชีววิธี การปรับปรุงดินโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพในอัตราที่เหมาะสม การเขตกรรมไม่ควรมีระบบการไถพรวนดินและระบบการปลูกพืชควรมีการปลูกพืชหมุนเวียนและควรปลูกพืชแบบผสมผสานเพื่อให้เกิดการเกื้อกูลกันในระบบ เป็นต้น

ประทีป (44) กล่าวว่า "เกษตรยั่งยืน" คือ ระบบการเกษตรที่เกื้อกูลทั้งเศรษฐกิจและสังคม มีกระบวนการผลิตเชิงอนุรักษ์สามารถรักษาหรือปรับปรุงสภาพแวดล้อมและใช้ทรัพยากรอย่างประหยัด

นันทกร (อ้างใน 45) กล่าวว่า "เกษตรยั่งยืน" หมายถึง การดำเนินการปลูกพืชอย่างต่อเนื่องในพื้นที่เดียวกันโดยไม่ใช้ปัจจัยจากภายนอกในการเพิ่มผลผลิตโดยเฉพาะสารเคมีแต่สามารถทำให้ผลผลิตพืชนั้นๆได้ผลอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอระยะยาวโดยเกษตรกรจะต้องมีความรู้หรือประสบการณ์ในการใช้เทคโนโลยีแบบผสมผสานภายใต้การจัดการอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ โดยต้องเริ่มจากดินที่มีความสมบูรณ์ของธาตุอาหารพืชที่สำคัญ

อำพล (อ้างใน 45) กล่าวว่า "เกษตรยั่งยืน" คือ การเกษตรที่ทำให้ประชากรอยู่ดีกินดีมีสุขตลอดไป โดยไม่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมและเกิดมลภาวะ

สถาบันวิจัยการทำฟาร์ม (อ้างใน 46) กล่าวว่า "เกษตรยั่งยืน" คือ ความสามารถของระบบนิเวศเกษตรในการรักษาระดับของผลิตภาพ(ผลผลิต)ได้ภายใต้สภาพแวดล้อมที่แปรปรวน

วิฑูรย์ (47) กล่าวว่า "เกษตรยั่งยืน" หมายถึง การผลิตทางการเกษตร และวิธีการดำเนินชีวิตของเกษตรกรที่เอื้ออำนวยต่อการฟื้นฟูและการดำรงรักษาไว้ซึ่งความสมดุลของระบบนิเวศและสภาพแวดล้อม โดยมีผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสังคมที่เป็นธรรม ส่งเสริมการพัฒนาคุณภาพชีวิตของเกษตรกรและผู้บริโภค รวมทั้งพัฒนาสถาบันทางสังคมของชุมชนท้องถิ่น ทั้งนี้เพื่อความผาสุก และความอยู่รอดของมวลมนุษย์ชาติโดยรวม

Copyright by Mahidol University

วิฑูรย์ (48) กล่าวว่า "เกษตรยั่งยืน" คือ แนวทางการเกษตรแนวใหม่ที่ให้ความรู้ทางด้านนิเวศวิทยาแก่เกษตรกร โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจการเกื้อหนุนให้เกิดความยุติธรรมทางสังคมรวมทั้งการเพิ่มคุณธรรมและคุณค่าของมนุษย์

วีระพันธ์ (43) กล่าวว่า "เกษตรยั่งยืน คือ การทำการเกษตรโดยผลผลิตที่ได้จะต้องมีความปลอดภัยและมีคุณภาพโดยอาศัยพลังของธรรมชาติและของดิน,เป็นการเกษตรที่พัฒนาสิ่งแวดล้อมในท้องที่ที่ทำการเกษตรและจะต้องปรับปรุงและรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินให้คงที่อย่างสม่ำเสมอโดยวิธีการใดๆก็ได้อาทิเช่นการปลูกพืชหมุนเวียน การใช้ปุ๋ยพืชสด/ปุ๋ยหมัก ฯลฯ และเป็นการเกษตรที่หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี/ สารเร่ง และสารกระตุ้นต่างๆ

จรัญ (44) กล่าวว่า "เกษตรยั่งยืนหรือวัฒนเกษตร" เป็นหลักการผลิตที่เหมาะสมกับระบบเกษตรนิเวศ โดยใช้ทรัพยากรการผลิตอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพไม่ก่อให้เกิดผลเสียทั้งระยะสั้นและระยะยาวต่อสภาวะแวดล้อม และดำรงอยู่ได้ยาวนานจนถึงคนในรุ่นต่อไปโดยคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ด้วยอาทิ การกระจายการผลิต และผลผลิต, การขจัดความยากจน และความมั่นคงของแหล่งอาหาร ขณะเดียวกันก็เน้นการผลิตที่พอดี เพื่อความอยู่ดีกินดีของมนุษย์

เดชา (49) กล่าวว่า "เกษตรยั่งยืน" คือ การผลิตที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ระบบการผลิต การบริโภค การใช้ทรัพยากรในท้องถิ่นมีความสมดุลสามารถดำเนินต่อไปอย่างต่อเนื่อง

ชนวน(50) กล่าวว่า "เกษตรยั่งยืน" เป็นการเกษตรที่ให้ผลผลิตที่ดีไปพร้อมๆกับการอนุรักษ์และปรับปรุงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่องในระยะยาว ผลผลิตที่เกิดขึ้นจะต้องปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์ และเป็นปัจจัยพื้นฐานของการดำรงชีพของประชาชนในท้องถิ่นเป็นลำดับแรกและเพื่อขายเป็นลำดับรอง

Conway (51) กล่าวว่า "เกษตรยั่งยืน" เป็นความสามารถของระบบเกษตรที่จะรักษาอัตราการผลิตให้อยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายในระยะยาวติดต่อกันภายใต้สภาพแวดล้อมที่เลวร้ายหรือไม่เหมาะสม

T. Gips(52) กล่าวว่า "เกษตรยั่งยืน" คือ การเกษตรที่มีความเหมาะสมแง่นิเวศวิทยา, มีความเป็นไปได้ในแง่เศรษฐศาสตร์, มีความยุติธรรมทางสังคมและส่งเสริมความเป็นมนุษย์

Poincelot (53) กล่าวว่า องค์ประกอบพื้นฐานของการเกษตรแบบยืนยง คือ การอนุรักษ์พลังงาน ดิน และน้ำ แนวปฏิบัติทางด้านการเกษตรจะต้องมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เกิดความสามารถในการนำทรัพยากรกลับมาใช้ใหม่และไม่ทำให้เกิดมลภาวะต่อสภาพแวดล้อม โดยวิธีการลดการใช้สารเคมีทางการเกษตร และเพิ่มการใช้แรงงานมนุษย์แทนเครื่องจักรกลทางการเกษตร

Rerkasem (54) กล่าวว่า การพัฒนาเพื่อไปสู่เป้าหมายของความยืนยงในระบบเกษตร คือ สภาวะที่ระบบสามารถรักษาระดับการผลิตได้ตลอดระยะเวลา ภายใต้ความเปลี่ยนแปลงทางด้าน

Copyright by Mahidol University

นิเวศวิทยาและแรงกดดันทางเศรษฐกิจ ขณะเดียวกันก็สามารถรักษาความสมบูรณ์ของทรัพยากรการผลิตต่างๆไว้ได้ยาวนาน

Crosson (อ้างใน 55)ให้ความหมายว่า"ระบบเกษตรยั่งยืน" คือระบบที่สามารถสนองความต้องการอาหารและเครื่องนุ่งห่มได้ตลอดไป โดยที่มีต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์และทางสิ่งแวดล้อมอันเป็นที่ยอมรับได้ของสังคม

Harrington (อ้างใน 56) ได้ให้คำจำกัดความของเกษตรยั่งยืน โดยประมวลได้เป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มแรกมองเกษตรยั่งยืนในแง่นิเวศเกษตร(Agro-ecology)ส่วนใหญ่เน้นความยั่งยืนในแง่ความสามารถของระบบในการฟื้นตัวหรือการรักษาระดับของการผลิตเมื่อเผชิญกับสภาวะที่ไม่เอื้ออำนวยหรือภัยพิบัติ ความยั่งยืนหรือถาวรภาพในเชิงนิเวศเกษตรจะเพิ่มขึ้นได้จากความหลากหลายในระบบการมีพืชและ/หรือสัตว์หลายชนิด จะช่วยให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ความชื้น ธาตุอาหารและแสงแดด และลดการระบาดของโรค แมลงและวัชพืชกลุ่มที่สองมองเกษตรยั่งยืนในแง่จรรยาบรรณหรือความเป็นธรรมในสังคม ส่วนใหญ่เน้นที่ความเท่าเทียมกัน(equity)ในสิทธิที่จะใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งรวมทั้งสิทธิของคนรุ่นหลังด้วยและบางท่านก็รวมไปถึงสิทธิของสิ่งมีชีวิตอื่นๆที่ไม่ใช่มนุษย์ในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติด้วย จุดเน้นของคนกลุ่มนี้อยู่ที่การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม แนวคิดนี้มาจากทัศนคติที่ว่า คนรุ่นหลังๆก็มีสิทธิในทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเท่าเทียมกับคนในรุ่นปัจจุบัน ดังนั้นคนที่มีความคิดในแนวนี้จะไม่ยอมสูญเสียทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อแลกกับการผลิตในการสนองความต้องการของประชากรที่เพิ่มขึ้น

และกลุ่มที่สามมองเกษตรยั่งยืนในแง่การรักษาอัตราการเจริญเติบโต เน้นที่ความจำเป็นที่ต้องเพิ่มผลผลิตเพื่อสนองความต้องการของประชากรที่เพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันก็รักษาคุณภาพของทรัพยากรที่เป็นพื้นฐานในการผลิตทางการเกษตรแนวคิดนี้เห็นว่าทรัพยากรที่สร้างใหม่ได้ไม่ควรใช้ให้หมดเปลืองไปในอัตราที่สูงกว่าอัตราที่สามารถจะสร้างให้กลับคืนมาใหม่ได้ และทรัพยากรที่ไม่สามารถสร้างใหม่ได้ควรจะใช้อย่างมีประสิทธิภาพ แนวคิดนี้แม้ให้ความสำคัญกับคุณภาพของทรัพยากรแต่ก็ถือว่าความมั่นคงของแหล่งอาหารเป็นเรื่องสำคัญกว่าแต่อย่างไรก็ตามความมั่นคงของแหล่งอาหารมองว่าเป็นเรื่องระดับโลกและอาจทำให้เกิดขึ้นได้โดยการกระจายความเจริญทางเศรษฐกิจให้กว้างขวางและเท่าเทียมกับการขยายตัวทางการค้า

จากคำจำกัดความดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความหมายของคำว่า"เกษตรยั่งยืน" ในหลายๆแง่มุม แล้วแต่ว่าผู้ให้ความหมายจะเน้นที่จุดใด จะจำกัดขอบเขตของปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากน้อยแค่ไหนและจะเป็นการมองการเกษตรในระดับใดและมิติเวลาใด แต่เมื่อนำแนวคิดและความหมายของเกษตรยั่งยืนมาพิจารณาแล้วสามารถสรุปลักษณะเด่นของเกษตรยั่งยืน ได้ดังนี้

Copyright by Mahidol University

1. เป็นระบบการผลิตทางการเกษตรที่เน้นการใช้ปัจจัยการผลิตในท้องถิ่นมากกว่าการนำเข้าปัจจัยการผลิตจากภายนอก ซึ่งทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ด้วยวิธีการหมุนเวียนการใช้ทรัพยากรอย่างต่อเนื่อง

2. เน้นการผลิตที่หลากหลายชนิดของพืชและสัตว์ ซึ่งผสมผสานกันอย่างเหมาะสมตามหลักการทางธรรมชาติด้วยวิธีเกื้อกูลกันอย่างเป็นระบบ จึงก่อให้เกิดเสถียรภาพในด้านผลผลิตและนำมาซึ่งรายได้ตลอดทั้งปี

3. เป็นระบบการผลิตทางการเกษตรที่ช่วยอนุรักษ์และฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมหรือระบบนิเวศด้วยการลดและหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี เนื่องจากคำนึงถึงภัยอันตรายของสารเคมีที่มีต่อเกษตรกรผู้ผลิต ผู้บริโภค และสภาพแวดล้อมทั่วไป

4. เป็นระบบเกษตรที่ช่วยพัฒนาคุณภาพชีวิตของเกษตรกรโดยเน้นให้เกษตรกรสามารถพึ่งตนเองได้ในระยะยาวซึ่งจะก่อให้เกิดพัฒนาการของภูมิปัญญาท้องถิ่นในสังคมไทย

จะเห็นได้ว่าเกษตรยั่งยืนเป็นเพียงหลักการเกี่ยวกับการเกษตรที่ยึดหลักการผลิตที่เหมาะสมกับระบบนิเวศเกษตร โดยใช้ทรัพยากรการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ และคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขณะเดียวกันก็เป็นระบบการผลิตที่ดำรงอยู่ได้ในระยะเวลายาวนานจนถึงคนรุ่นต่อๆไป แนวคิดเกี่ยวกับเกษตรยั่งยืน มีอยู่ด้วยกันหลายแนวคิด ขึ้นอยู่กับผู้ให้แนวคิดจะเน้นที่จุดใด จากการศึกษารวบรวมแนวความคิดเรื่องเกษตรยั่งยืน สามารถกล่าวโดยสังเขปได้ดังนี้

1) <u>แนวคิดเรื่องทฤษฎีใหม่</u> พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ฯ ทรงมีพระราชดำริเกี่ยวกับการเกษตรที่สำคัญอีกอย่างก็คือ"ทฤษฎีใหม่" ซึ่งเป็นพระราชดำริแนวคิดใหม่ที่จะแก้ปัญหาระบบการผลิตทั้งอย่างผสมผสานระหว่างธรรมชาติ (ดิน-น้ำ-ต้นไม้) คน(เกษตรกร) และสัตว์ให้เกื้อกูลซึ่งกันและกันเกิดความสมดุล (พอดี) ให้เกษตรกรมีอยู่มีกินมีใช้พึ่งตนเองได้และช่วยเหลือกันและกันในชุมชน พื้นที่เกษตรกรไทยส่วนใหญ่จะมีเฉลี่ยประมาณ 10-15 ไร่ต่อครอบครัว พระองค์พระราชทานแนวปฏิบัติในการแบ่งพื้นที่เป็นส่วนต่างๆ ในการทำเกษตรและเลี้ยงชีพเป็น 3 ส่วนดังนี้ <u>ส่วนที่ 1</u> : พื้นที่ร้อยละ 30 ประมาณ 3 ไร่ ให้ทำการขุดสระกักเก็บน้ำที่มีความลึกประมาณ 4 เมตร จะมีความสามารถกักน้ำได้มากถึง 19,000 ลูกบาศก์เมตร <u>ส่วนที่ 2</u> :พื้นที่ร้อยละ60 ทำการเพาะปลูกพืชต่างๆ โดยแบ่งที่ดินนี้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกร้อยละ 30 ทำนาข้าว และพืชหลังทำนาประมาณ 5 ไร่อีกส่วนหนึ่ง ร้อยละ 30 ทำสวนไม้ผล 3 ไร่ และสวนวนเกษตร 2 ไร่รวม 5 ไร่ พื้นที่ทางการเกษตรทั้งสองแบบนี้ใช้น้ำประมาณ 10,000 ลูกบาศก์เมตร <u>ส่วนที่ 3</u> : พื้นที่ที่เหลือร้อยละ 10 เนื้อที่ประมาณ 2 ไร่จัดเป็นที่อยู่อาศัย ถนน สิ่งก่อสร้างต่างๆ

หลักการของทฤษฎีใหม่ : เป็นวิธีการที่สามารถใช้ปฏิบัติได้กับเกษตรกรที่เป็นเจ้าของที่ดินจำนวนน้อยประมาณ 15 ไร่ ซึ่งเป็นอัตราถือครองโดยเฉลี่ยของเกษตรกรไทย มุ่งให้เกษตรกร

Copyright by Mahidol University

มีความพอเพียงในการเลี้ยงตัวเองได้ในระดับที่ประหยัดก่อนโดยเน้นให้เห็นความสำคัญของความสามัคคีในท้องถิ่น สามารถผลิตข้าวบริโภคได้เพียงพอทั้งปีและต้องมีน้ำไว้ใช้ตลอดช่วงฤดูแล้ง เฉลี่ยประมาณ 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ เพื่อใช้ในการทำนาปลูกพืชสวนพืชไร่และเลี้ยงปลา (57)

2) แนวคิดเกษตรธรรมชาติ (Natural Farming) ของ มาซาโนบุ ฟูกูโอกะ เป็นระบบเกษตรกรรมแบบไม่กระทำ ลดการแทรกแซงของมนุษย์ แสวงหาและกระทำเพียงสิ่งที่จำเป็นต่อการเกษตรเท่านั้น ปรับรูปแบบการเกษตรให้สอดคล้องกับระบบนิเวศและธรรมชาติ ไม่พึ่งพาปัจจัยการผลิตจากภายนอก โดยมิได้มีจุดมุ่งหมายเพื่อบำรุงรักษาผืนดินให้ยังคงความอุดมสมบูรณ์แต่เพียงอย่างเดียวแต่รวมไปถึงการชำระล้างจิตใจของมนุษย์ให้บริสุทธิ์เป็นกระบวนการเดียวกันไปด้วย(58)

หลักการของเกษตรธรรมชาติมี 4 ประการคือ การไม่ไถพรวนดิน เพราะพื้นดินมีการไถพรวนโดยธรรมชาติอยู่แล้วโดยการชอนไชของรากพืชและการกระทำของพวกจุลินทรีย์และไส้เดือน การไม่ใส่ปุ๋ยทุกชนิด เพราะในธรรมชาติมีปุ๋ยธรรมชาติอยู่แล้ว การใช้ปุ๋ยเคมีทำให้ดินจืด ถ้าปล่อยให้ดินอยู่ในสภาพของมันเอง ดินจะรักษาความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติเอาไว้ได้ ซึ่งเป็นไปตามวงจรชีวิตของพืชและสัตว์อย่างมีระเบียบแห่งธรรมชาติ การไม่กำจัดวัชพืช เพราะวัชพืชมีบทบาทสำคัญในการสร้างความอุดมสมบูรณ์แก่ดินและช่วยให้เกิดความสมดุลทางชีววิทยาโดยการควบคุมวัชพืชด้วยวิธีใช้ฟางคลุมและการปลูกพืชคลุมดิน และการไม่ใช้สารเคมี เพราะในธรรมชาตินั้นหากปล่อยไว้ตามลำพังจะอยู่ในสภาพสมดุล แมลงที่เป็นอันตรายและโรคพืชมักจะมีอยู่เสมอแต่ไม่เคยเกิดขึ้นในธรรมชาติจนถึงระดับที่ต้องใช้สารเคมีที่มีพิษเลย วิธีควบคุมโรคและแมลงที่ดีคือ การปลูกพืชที่แข็งแรงปลูกผสมผสานหลายๆอย่างจะทำให้เกิดความสมดุลของธรรมชาติ

3) แนวคิดเกษตรธรรมชาติของ (MOA Nature Farming) มีรากฐานมาจากแนวคิดของ Mokichi Okada ที่มีหลักการ คือ ทำให้เกิดความสมดุลระหว่างวิวัฒนาการของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตด้วยการอนุรักษ์ระบบนิเวศที่สอดคล้องกับธรรมชาติและให้ความสำคัญต่อดิน โดยใช้เทคนิคการปรับปรุงดินในวิธีต่างๆ เช่น การปลูกพืชคลุมดิน การใช้ปุ๋ยพืชสด การควบคุมแมลงศัตรูพืชด้วยวิธีการปลูกพืชตามฤดูกาล ปลูกพืชต่างชนิดร่วมกัน ใช้เมล็ดพันธุ์ที่ไม่เป็นโรคหรือใช้วิธีทางกายภาพ เช่น ใช้สีเป็นตัวล่อ ใช้ตาข่ายป้องกันแมลง เป็นต้น (59)

4) แนวคิดเกษตรธรรมชาติของคิวเซ (Kyusei Natural Farming) เป็นระบบการผลิตที่ให้ความสำคัญกับการใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการทำการเกษตร (Effective Micro - organisms: EM) เป็นตัวเร่งการปรับปรุงดิน แก้ไขโรคระบาดที่เกิดจากการปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลานาน เป็นต้น โดยมีหลักการ คือ ต้องเป็นเกษตรกรรมที่สามารถผลิตพืชผลที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ ให้ผลประโยชน์ทั้งทางด้านเศรษฐกิจและความสุขในจิตใจของผู้ผลิตและผู้บริโภค รวมทั้งสามารถรักษาสภาพแวดล้อมและสร้างผลผลิตที่เพียงพอต่อความต้องการของประชากรโลกใน

Copyright by Mahidol University

อนาคต(60) ตัวอย่างของวิธีการในด้านการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้เพื่อการพัฒนาการเกษตรตามหลักเกษตรธรรมชาติ ได้แก่ ทำดินให้อุดมสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์และซีโอไลท์หรือถ่านไม้ การเพาะปลูกโดยไม่พรวนดินแต่จะสร้างสภาพดินโดยจุลินทรีย์หมักและสังเคราะห์ร่วมกับการใช้ประโยชน์จากวัสดุอนินทรีย์ เช่น ถ่านซีโอไลต์ และมอนโมริลโลไนท์ ในการปรับปรุงพลังเพื่อทำให้น้ำในดินสะอาด การกำจัดวัชพืชโดยการใช้จุลินทรีย์ และการใช้ปุ๋ยพืชสดเพื่อปรับปรุงดินและผลผลิตของพืช

5) <u>แนวคิดเกษตรกรรมถาวร</u> (Permaculture) เป็นระบบเกษตรกรรมที่พัฒนาโดย Bill Mollison (61) มีพื้นฐานการพัฒนามาจากระบบเกษตรกรรมธรรมชาติในแนวมาซาโนบุ ฟูกูโอกะ โดยเน้นไปที่รูปแบบการเกษตรที่ผสมผสานของพืชและสัตว์ตามธรรมชาติในลักษณะการเกื้อกูลกัน และการจัดการองค์ประกอบเหล่านั้นให้เอื้ออำนวยต่อการผลิตอย่างยั่งยืน ทั้งในแง่การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และความคุ้มทุนในการผลิต มีการวางแผนในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ตอบสนองต่อความต้องการพื้นฐานของมนุษย์ทั้งด้านร่างกายและจิตใจ ในขณะเดียวกันก็มีการนำเอาภูมิปัญญาท้องถิ่นเข้ามาผสมผสานกับความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อให้เกิดความสมดุลในทุกระบบ คือ ระบบนิเวศ (Ecological System) ที่เอื้ออำนวยต่อความสัมพันธ์ซึ่งเกื้อกูลกันของคน พืช สัตว์ ดิน น้ำ ป่า ระบบนิเวศเกษตร(Agro-ecosystem) ที่พอเพียงและสมดุลต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ และระบบนิเวศป่าไม้ และการผลิตอาหาร (Agro-forestry ecosystem) มีวิธีการส่งเสริมการสร้างป่า การอนุรักษ์ดินและน้ำ รวมทั้งการอนุรักษ์พลังงานซึ่งคน สัตว์และพืชที่อยู่ร่วมกัน ต้องมีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรทุกประเภทดังกล่าวอย่างคุ้มค่า

6) <u>แนวคิดเกษตรกรรมอินทรีย์</u> (Organic Farming) เป็นระบบการผลิตทางการเกษตรที่หลีกเลี่ยงการใช้ปุ๋ยเคมีสังเคราะห์ สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและฮอร์โมนที่กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์แต่อาศัยการปลูกพืชหมุนเวียนเศษซากพืช มูลสัตว์ พืชตระกูลถั่ว ปุ๋ยพืชสด เศษซากเหลือทิ้งต่างๆ การใช้ธาตุอาหารจากการผุพังของหินแร่ รวมทั้งใช้หลักการควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธีเพื่อรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินให้เป็นแหล่งอาหารของพืช รวมทั้งเป็นการควบคุมศัตรูพืชต่างๆ เช่น แมลง โรค และวัชพืช เป็นต้น (อ้างใน 48) หลักการพื้นฐานของระบบเกษตรอินทรีย์ก็คือ การปรับปรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติด้วยอินทรีย์วัตถุและสิ่งมีชีวิตในดิน เพื่อเป็นพื้นฐานรองรับสิ่งมีชีวิตชั้นสูง เช่น พืช สัตว์ และมนุษย์ หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีซึ่งสังเคราะห์ขึ้นโดยมนุษย์ เช่น ปุ๋ยเคมีและสารเคมีกำจัดศัตรูพืชชนิดต่างๆ โดยการใช้ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสดมาทดแทน ส่วนการควบคุมศัตรูพืชนิยมใช้ชีววิธี เช่น ตัวห้ำ และตัวเบียนต่างๆร่วมกับการใช้สารธรรมชาติ เช่น สะเดา โล่ติ้นหรือยาสูบ เป็นต้น

Copyright by Mahidol University

7) แนวคิดเกษตรกรรมผสมผสาน (Integrated Farming) เป็นระบบการเกษตรที่มีการจัดระบบของกิจกรรมการผลิตในไร่นาได้แก่ พืช สัตว์ และประมง ให้มีการผสมผสานอย่างต่อเนื่องและเกื้อกูลในการผลิตซึ่งกันและกัน โดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ในไร่นา เช่น ดิน/น้ำ/ แสงแดด ให้เกิดประโยชน์สูงสุด มีความสมดุลของสภาพแวดล้อมอย่างต่อเนื่องและช่วยเพิ่มพูนความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติ (62) โดยมีหลักการที่สำคัญคือ เป็นการทำการเกษตรที่มีกิจกรรมการผลิตตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยกิจกรรมการผลิตหนึ่งต้องเกื้อกูลต่อกิจกรรมการผลิตอีกอย่างหนึ่งเป็นวงจรการเกื้อกูลประโยชน์ ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับวงจรของอาหารแร่ธาตุ พลังงานหรืออย่างใดอย่างหนึ่งและต้องก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อเกษตรกร

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า แนวความคิดเกี่ยวกับเกษตรยั่งยืนนั้นไม่ใช่แบบแผนของการเกษตรแบบใดแบบหนึ่ง ที่จะมีคุณสมบัติดีพร้อมครบถ้วนในทุกๆด้านหากแต่เป็นเพียงหลักการและแนวคิดเกี่ยวกับการเกษตรที่ยึดหลักการผลิตที่เหมาะสมกับระบบนิเวศเกษตร โดยใช้ทรัพยากรการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และดำรงอยู่ได้ยาวนานจนถึงคนรุ่นต่อไป ดังนั้นการนำแนวคิดเกี่ยวกับเกษตรยั่งยืนมาปรับใช้ในแต่ละท้องที่จึงแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ สภาพเศรษฐกิจและสังคมของแต่ละพื้นที่ เป็นต้น

2.2.2 ตัวชี้วัดความเป็นเกษตรยั่งยืน

Hansen (อ้างใน 63) ได้เสนอวิธีการประเมินความยั่งยืนทางการเกษตรไว้ 3 แนวทาง คือ

1. การประเมินความยั่งยืนทางการเกษตรในแง่ของระบบเกษตรกรรม อันเป็นทางเลือกของการใช้เทคนิคการผลิตทางการเกษตร เช่น การลดการใช้สารเคมี การจัดการดินเพื่อรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน เช่น การปลูกพืชคลุมดิน การปลูกพืชตระกูลถั่วหมุนเวียน การปลูกพืชแบบขั้นบันได ฯลฯ การควบคุมการชะล้างพังทลายของดินและการจัดการศัตรูพืช

2. การประเมินความยั่งยืนทางการเกษตรในแง่ของความสามารถทางการเกษตรในอันที่จะดำเนินต่อไป ในลักษณะการคาดการณ์ในอนาคต ซึ่งพิจารณาจากทิศทางและความรุนแรงของโอกาสความยั่งยืนและการวิเคราะห์จากค่าของความยืดหยุ่นและความอ่อนไหว

3. การประเมินความยั่งยืนทางการเกษตรในแง่ของความสามารถทางการเกษตรในอันที่จะบรรลุถึงวัตถุประสงค์ที่ได้วางเอาไว้ โดยใช้กลุ่มของตัวแปรทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพช่วยในการประเมิน และมีสมการเชิงปริมาณเพื่อวัดความยั่งยืนดังนี้

Copyright by Mahidol University

$$S = f(P,E,D,C,Q...)_t$$

โดยที่ S คือ ความยั่งยืน D คือ การสูญเสียดิน

P คือ ผลผลิตทางการเกษตร C คือ ปริมาณคาร์บอนจากดินและอินทรีย์วัตถุในอากาศ

E คือพลังงานที่ใส่เข้าไปทั้งหมด Q คือ คุณภาพน้ำ

และ $_t$ คือ เวลา

นอกจากนี้ International Institute for Environment and Development (IIED) ได้นำเสนอดัชนีชี้วัดความเป็นเกษตรยั่งยืนสำหรับพื้นที่เกษตรของเกษตรกรรายย่อย (อ้างใน 64) ซึ่งตัวชี้วัดนี้สามารถแบ่งออกได้ดังนี้ คือ

1. *ตัวชี้วัดทางนิเวศวิทยา (Ecological Indicators)*

1.1 สารอาหารในดินที่สูญเสียไปเนื่องจากการเก็บเกี่ยวพืชผล จะต้องได้รับการทดแทน

1.2 การคงอยู่ของโครงสร้างทางกายภาพของดิน (ไม่ถูกทำลาย)

1.3 ระดับของอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นหรือคงที่

1.4 ความเป็นกรดหรือความเป็นพิษในดินจะต้องไม่เพิ่มขึ้น

1.5 ความลึกของดินควรเพิ่มขึ้นหรือคงที่

1.6 การปนเปื้อนทางสภาพแวดล้อมออกไปนอกอาณาเขตของฟาร์มมีน้อย

1.7 การคงอยู่ของสิ่งมีชีวิตที่หลากหลายมีหน่วยต่างๆหรือสิ่งมีชีวิตที่สามารถควบคุมแมลงด้วยวิธีการทางชีววิทยาหรือการควบคุมแมลงตามธรรมชาติ และมีสัตว์ป่านานาชนิด

1.8 มีการอนุรักษ์ทรัพยากรทางพันธุกรรมของพันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์ รวมทั้งเกษตรกรจะต้องสามารถเข้าถึงพันธุกรรมเหล่านั้นได้อย่างเสมอภาคกันด้วย

1.9 มีความหลากหลายของพันธุ์พืช พันธุ์สัตว์ที่ใช้ปลูก และเลี้ยงดูในพื้นที่หนึ่งๆ และพันธุ์พืชต่างๆเหล่านั้น มีการแลกเปลี่ยนพลังงานและสารอินทรีย์ที่มีประโยชน์ระหว่างกัน

1.10 มีพืชคลุมหน้าดินอยู่ตลอดเวลา หรือ อย่างต่อเนื่อง

1.11 การใช้น้ำต้องเป็นไปอย่างคุ้มค่าหรือมีประสิทธิผลสูง

1.12 มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ทรัพยากรต่างๆมาเป็นการแปรรูปจากของที่ใช้แล้ว และมีการเพิ่มประสิทธิผลของการใช้ทรัพยากรท้องถิ่นให้มากขึ้น โดยใช้อย่างคุ้มค่ามากขึ้น

2. *ตัวชี้วัดทางสังคม-วัฒนธรรม (Social-Cultural Indicators)*

2.1เกษตรกรมีบทบาทสำคัญในการกำหนดแบบแผนและรูปแบบการผลิตตลอดจนการเลือกใช้เทคโนโลยีต่างๆด้วยตนเอง โดยแบบแผนและรูปแบบการผลิตรวมทั้งเทคโนโลยีเหล่านี้จะ

Copyright by Mahidol University

ต้องถูกสร้างขึ้นโดยคำนึงถึงคุณลักษณะของแต่ละพื้นที่ รวมทั้งคำนึงถึงเทคนิคต่างๆในการทำการเกษตรแบบดั้งเดิมหรือแบบธรรมชาติด้วย

2.2 ชุมชนแบบเกษตรยั่งยืนจะอยู่บนพื้นฐานการผลิตที่เลี้ยงตนเองได้โดยกระบวนการผลิตนั้นต้องไม่ไปดูดซับทรัพยากรของชุมชนอื่นหรือไปมีผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากรของชุมชนอื่น

2.3 ในพื้นที่ที่ทำการเกษตรกรรมควรจะมีการจ้างงานนอกภาคเกษตร

3. *ตัวชี้วัดในด้านผลผลิต (Output Indicators)*

3.1 ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นหรือคงที่

3.2 การเกษตรที่ทำอยู่มีผลกำไรเพียงพอที่จะเป็น"รายได้" ของครอบครัวและทำให้ความเป็นอยู่ของครอบครัวมั่นคงในระดับหนึ่ง

3.3 เป้าหมายของเกษตรกร คือ "ผลผลิตที่พอดีหรือพอเพียงในระยะยาว"

4. *ตัวชี้วัดทางด้านเศรษฐกิจ นโยบาย และสถาบัน*

(Economic, Policy and Institutional Indicators)

4.1 มีการกำหนดหรือคำนึงเรื่องราคาต่างๆของผลผลิต ตลอดจนเงินได้เปล่าหรือเงินช่วยเหลือ(grants) หรือเงินสนับสนุนจากรัฐบาล เพื่อที่จะกระตุ้นให้เกษตรกรสร้างผลผลิตให้ได้มากที่สุดในระยะยาวรวมทั้งกระตุ้นให้มีการอนุรักษ์ทรัพยากร

4.2 การขยายขนาดของฟาร์ม การวิจัย นโยบาย และหลักการต่างๆ ที่สร้างขึ้นจะต้องเน้นถึงความสำคัญของระบบทั้งระบบและเกษตรกรจะต้องได้รับคำแนะนำต่างๆที่สามารถบูรณาการหรือผสมผสานได้กับทั้งระบบ

4.3 นโยบาย แผนงาน และเป้าหมายต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นจะเน้นถึงผลประโยชน์เชิงเศรษฐกิจสุทธิของเกษตรกร และความยั่งยืนของระบบนิเวศ

4.4 การปฏิบัติตามกฎระเบียบข้อบังคับต่างๆ เป็นสิ่งที่จะต้องกระทำอย่างเร่งด่วนเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าการทำการเกษตรก่อให้เกิดการปนเปื้อนทางสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด

4.5 จะต้องมีการจัดสรรที่ดินที่มีศักยภาพในการผลิตสูงที่สุดให้กับการเกษตรกรรม

4.6 พื้นที่ใดที่การเกษตรกรรมสามารถสร้างผลผลิตส่วนเกินได้อย่างสม่ำเสมอที่ดินผืนนั้นสามารถนำมาใช้ในเชิงการผลิตอื่นๆได้ต่อไปและที่ดินอีกส่วนหนึ่งจะถูกใช้เพื่อการอนุรักษ์ทางสภาพแวดล้อม

4.7 การช่วยเหลือทางการเงินแก่เกษตรกรจะต้องไม่ทำให้เกิดผลประโยชน์แก่พื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง แล้วไปมีผลกระทบต่อความเหมาะสมของระบบนิเวศของภูมิภาคนั้นๆ

4.8 ไม่ควรให้รัฐบาลหรือสังคมโดยส่วนรวมเป็นผู้สนับสนุนหรือแบกรับภาระด้านราคาหรือด้านพิษภัยจากเคมีภัณฑ์ต่างๆที่ส่งเข้ามาในประเทศแต่สิ่งที่ควรทำ คือ ราคาของเคมีภัณฑ์ต่างๆ

Copyright by Mahidol University

ควรจะผนวกเอาต้นทุนทางสภาพแวดล้อมเข้าไว้ด้วยโดยมีการประยุกต์หลักการ"ผู้ที่ทำให้สภาพแวดล้อมเป็นพิษจะต้องเป็นผู้แบกรับค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อม"เข้ามาใช้นั่นเอง

จะเห็นได้ว่าดัชนีชี้วัดความเป็นเกษตรยั่งยืนของ IIED นั้น แม้จะเป็นเพียงข้อเสนอแนะแต่ก็ได้ครอบคลุมถึงมิติในด้านต่างๆ ซึ่งได้แก่ มิติทางด้านนิเวศวิทยา มิติทางด้านสังคม-วัฒนธรรม มิติทางด้านผลผลิต และมิติทางด้านเศรษฐกิจ นโยบาย และสถาบัน ด้วยความเชื่อมโยงกันอย่างสอดคล้องในทุกมิติ

นอกจากนี้ปัจจุบันในประเทศออสเตรเลียได้นำรูปแบบการประเมินความยั่งยืนทางการเกษตรโดยการใช้ตัวชี้วัดซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

1) <u>ตัวชี้วัดทางกายภาพ-ชีวภาพ</u> (Biophysical indicators) ซึ่งประกอบด้วยตัวชี้วัดในพื้นที่อันเป็นการพิจารณาปัจจัยแต่ละส่วนที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันในลักษณะของ

การนำเข้า <---------- ความสามารถในการผลิต <---------- การส่งออก

และตัวชี้วัดนอกพื้นที่อันแสดงถึงผลกระทบวงนอกที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม เช่น การปนเปื้อนของสารเคมีในลำน้ำ เป็นต้น

2) <u>ตัวชี้วัดทางเศรษฐกิจ</u> (Economic indicators) ซึ่งได้จากการวัดความเปลี่ยนแปลงของกำไรสุทธิจากการทำการเกษตรในระยะยาวหักลบด้วยต้นทุนทางการเกษตรทั้งหมด

3) <u>ตัวชี้วัดทางสังคม</u> (Social indicators) ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงทักษะทางการจัดการของเกษตรกร เช่น การตัดสินใจในการเลือกผลิต การจัดการทางกายภาพของฟาร์ม สิทธิการเป็นเจ้าของ การจัดการทางการเงินและการเกษตร การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมรวมถึงความสามารถที่จะทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ได้วางเอาไว้

ขณะเดียวกัน International Soil Research and Management, (IBSRAM) ได้เสนอดัชนีชี้วัดความยั่งยืนของระบบเกษตร โดยพิจารณาจาก 5 องค์ประกอบหลัก ซึ่งการพิจารณานี้ใช้กรอบแนวคิดของ FESLM (framwork for evaluation of sustainable land management) โดย FAO ในการให้คุณค่าการจัดการทรัพยากรที่ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ดินเพื่อการเกษตรอย่างยั่งยืน (65) ไว้ดังนี้

1) <u>ความยั่งยืนด้านการผลิต</u> (Productivity) แสดงถึงความสามารถในการรักษาระดับการผลิตหรือเพิ่มผลผลิต โดยใช้ Agronomic indicators ได้แก่ ผลผลิตที่ได้ ความหลากหลายของพันธุ์พืช ความอุดมสมบูรณ์ของดิน การสะสมอินทรียวัตถุในดิน ปริมาณน้ำฝนรายปี การชะล้างพังทลายของดิน โรคพืช แมลงศัตรูพืชและวัชพืช เป็นตัวชี้วัดความยั่งยืน

2) <u>ความยั่งยืนทางด้านความมั่นคงหรือเสถียรภาพ</u> (Security or Stability) แสดงถึงการลดความเสี่ยงของผลผลิต โดยใช้ crops and market เป็นตัวชี้วัด ได้แก่ สิทธิทำกิน ขนาดพื้นที่เกษตร

Copyright by Mahidol University

ความหลากหลายของพันธุ์พืช ความมั่นคงทางอาหาร รายได้ภาคเกษตร ความเพียงพอของแรงงาน การตลาด การสาธารณูปโภคและนโยบายรัฐ

3) ความยั่งยืนทางด้านการป้องกันหรือการอนุรักษ์ (Conservation or Protection) เป็นการรักษาสภาพของทรัพยากรธรรมชาติ โดยใช้ตัวชี้วัดทางนิเวศวิทยาได้แก่ การอนุรักษ์ดิน ปริมาณน้ำฝนรายปี ระบบการปลูกพืช ความลาดชันและคุณภาพน้ำ

4) ความยั่งยืนในแง่ของความสามารถในการดำรงอยู่ต่อไป (Viability) เป็นการรักษาสภาพทางเศรษฐกิจ โดยมีตัวชี้วัดทางเศรษฐกิจ ได้แก่ การตลาด รายได้ภาคเกษตร เงินทุนช่วยเหลือและนโยบายรัฐ

5) ความยั่งยืนในแง่ของการยอมรับ (Acceptability)เป็นการยอมรับทางสังคมถึงความยั่งยืนโดยใช้ตัวชี้วัดทางสังคม ได้แก่ สิทธิทำกิน ขนาดพื้นที่เกษตร เงินทุนอุดหนุนและการช่วยเหลือความเพียงพอของแรงงาน เงินทุนและสินเชื่อรวมทั้งรายได้

ซึ่งดัชนีชี้วัดความยั่งยืนของIBSRAMนี้ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางและเป็นที่เข้าใจกันว่าความยืนยงของแต่ละปัจจัยในองค์ประกอบหลักนั้นจะถูกกำหนดค่าคะแนนตามเหตุผลในการปรับใช้ให้เข้ากับสภาพความเป็นจริงในพื้นที่ศึกษา ด้วยการพิจารณาข้อมูลด้านต่างๆ เช่น ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ ข้อมูลจากการใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลทางวิชาการร่วมกัน

นอกจากนี้ทางศูนย์จัดการทรัพยากรทางน้ำนานาชาติ (International Center for Living Aquatic Resources Management , ICLARM) ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป ชื่อ Restore (Research tool for Natural Resource Management ,Monitoring and Evaluation) เพื่อเป็นเครื่องมือของงานวิจัยระบบเกษตรผสมผสาน(พืช-สัตว์-ประมง)แบบมีส่วนร่วมซึ่งกรมวิชาการเกษตรได้นำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยระบบเกษตรผสมผสาน รวมทั้งโครงการเกษตรทฤษฎีใหม่ตามแนวพระราชดำริ(66) โดยเครื่องมือนี้ประกอบด้วยส่วนของการวิจัยแบบมีส่วนร่วมการติดตามและประเมินผลโดยคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีตัวชี้วัดความยั่งยืน 4 ด้าน คือ ความสามารถของทรัพยากรธรรมชาติ การหมุนเวียนทรัพยากรชีวภาพ ความหลากหลายทางชีวภาพและประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์

2.2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรแบบยั่งยืน

สำหรับผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาครั้งนี้ที่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการทำเกษตรยั่งยืนในรูปแบบต่างๆทั้งในด้านต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ตลอดจนผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

Copyright by Mahidol University

ธวัชชัย (67) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการปลูกข้าวโพดโดยไม่ไถพรวนดินกับการปลูกโดยไถพรวนดินในดินชุดปากช่อง เมื่อใช้อัตราปุ๋ยต่างๆ 7 อัตรา พบว่า การปลูกข้าวโพดโดยไม่ไถพรวนดินสามารถอนุรักษ์น้ำในดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระดับความลึก 0-30 ซม.ได้ดีกว่าการปลูกโดยไถพรวนดิน ซึ่งช่วยลดความเสียหายของพืชเมื่อกระทบแล้งระยะสั้นๆได้เป็นอย่างดี ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุของดินบนและค่าความเสถียรของเม็ดดินเพิ่มขึ้น ตลอดจนช่วยลดแรงงานและเวลาในการเตรียมดินสำหรับปลูกพืช ส่วนการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพดมีแนวโน้มดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกโดยไถพรวนดินทั่วๆไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการใช้ปุ๋ย สอดคล้องกับงานของสำราญ (อ้างใน 67) ซึ่งพบว่า การปลูกพืชโดยไม่ไถพรวนดินแม้ทำให้ผลผลิตลดลงบ้าง แต่ก็ยังคุ้มกับการไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเตรียมพื้นที่และช่วยลดการสูญเสียดินได้ในตัว แต่ต้องพิจารณาถึง ชนิดพืชที่เหมาะสมสำหรับปลูกในดินชนิดต่างๆ และการหาทางลดค่าใช้จ่ายในการปราบวัชพืช

นอกจากนี้ พีรพัฒน์ (16) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดินในนาข้าว ตามช่วงเวลาที่เปลี่ยนจากระบบเกษตรเคมีมาเป็นระบบเกษตรธรรมชาติ ผลการศึกษา พบว่า นาธรรมชาติ 3 ปี และนาธรรมชาติ 5 ปี เกิดชั้นดินอินทรียวัตถุในระดับผิวดินมีความลึก 2 และ 4 ซม.ตามลำดับ และมีปริมาณน้ำในดินและความพรุนของดิน ทั้งระดับความลึก 15 ซม. และ 30 ซม. สูงกว่านาเกษตรเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านสมบัติทางเคมีของดินในชั้นดินไถพรวนและชั้นสะสม ไม่พบความแตกต่างอย่างเด่นชัดระหว่าง นาเกษตรเคมีและนาธรรมชาติทั้ง 2 แปลง และในด้านสมบัติทางชีวภาพ พบว่า นาธรรมชาติ 5 ปี มีจำนวนความหนาแน่นและชนิดของแมลงในดินมากที่สุด รองลงมาคือ นาธรรมชาติ 3 ปี และน้อยที่สุดคือนาเกษตรเคมี นอกจากนี้ยังพบว่าจำนวนความหนาแน่นและชนิดของแมลงในดินแปรผันเชิงบวกกับปริมาณอินทรียสารที่คลุมดินอยู่ แต่อย่างไรก็ดี ในด้านความหลากหลายของสัตว์ในดินยังไม่แตกต่างกันมากนักส่วนในด้านผลผลิตและต้นทุนการเกษตร ในปีเพาะปลูกที่มีปริมาณน้ำฝนดี พบว่าผลผลิตที่ได้จากนาทั้ง 3 แปลง อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน แต่ในนาเกษตรเคมีมีต้นทุนการเกษตรที่มากกว่านาธรรมชาติทั้ง 2 แปลงถึงกว่า 2 เท่า

ส่วนงานวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจของการทำเกษตรทางเลือก เช่น งานวิจัยของวรรณา (68) ที่ศึกษาประสิทธิภาพการเกื้อกูลกันของผลผลิตและปัจจัยการผลิตระหว่างกิจกรรมการผลิตต่างๆในระบบเกษตรทางเลือก และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคงอยู่ในระบบเกษตรทางเลือกของเกษตรกรรวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าว ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตและผลผลิต พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของผลผลิตที่หาได้จากสัดส่วนระหว่างมูลค่าของการใช้ผลพลอยได้กับรายรับจากผลผลิตทั้งหมดนั้นมีค่าค่อนข้างต่ำเนื่องจากจำนวนกิจกรรมการ

Copyright by Mahidol University

ผลิตในระบบมีจำนวนน้อย ความจำกัดของเทคนิควิธีการนำผลพลอยได้หรือของเสียกลับมาใช้เพราะเกษตรกรยังอยู่ในระหว่างการเรียนรู้

นอกจากนี้ถ้าพิจารณาในแง่การใช้ทรัพยากรจะเห็นว่าเกษตรทางเลือกสามารถใช้ประโยชน์จากทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าเกษตรเชิงเดี่ยวนอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อรายได้สุทธิจากแปลงเกษตรทางเลือกที่มากกว่าระดับพอยังชีพ คือปัจจัยด้านทรัพยากรมนุษย์หรือปัจจัยภายในของเกษตรกร อันได้แก่ความมุ่งมั่นในการทำงานและความสามารถและสติปัญญาของเกษตรกรและผลจากการศึกษาดังกล่าวได้ชี้ให้เห็นว่าการทำเกษตรทางเลือกเป็นระบบการเกษตรที่ยั่งยืนเพราะเมื่อเกษตรกรอยู่ในระบบเกษตรทางเลือกเป็นเวลามากขึ้นจะมีรายได้สุทธิจากการทำเกษตรมากขึ้นและจำนวนสมาชิกในครอบครัวที่เข้ามาสู่ภาคการเกษตรก็มากขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้การทำเกษตรทางเลือกยังทำให้การใช้ทรัพยากรการเกษตรมีประสิทธิภาพในแง่การลดปริมาณของเสียจากระบบการผลิตและต้นทุนของการบำบัดของเสียรวม ทั้งมีผลต่อการบำรุงรักษาดินให้มีคุณภาพที่ดีนับเป็นการสะสมความมั่งคั่งในทรัพยากรในระยะยาว

ขณะเดียวกันกำราบ(69)ได้ศึกษาเปรียบเทียบมูลค่าทางเศรษฐกิจระหว่างการทำสวนยางพาราแบบใหม่ที่เป็นสวนยางเชิงเดี่ยวไม่มีพืชอื่นมาปะปนเลยกับการทำสวนยางแบบผสมผสานที่มีการปลูกผลไม้ 3 ชนิด อยู่ในหลุมเดียวกัน โดยอาศัยหลักการเกื้อกูลกันตามธรรมชาติของต้นไม้ให้กระจายปะปนอยู่กับต้นยาง พบว่า การทำสวนยางแบบผสมผสานให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงกว่าการทำสวนยางสมัยใหม่ทั่วไปกว่า 5 เท่า ทั้งนี้เป็นผลมาจากต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าและรายได้จากผลผลิตที่มีชนิดและจำนวนมากกว่า สอดคล้องกับสะอาด (70) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการทำนาแบบธรรมชาติกับการทำนาแผนใหม่ที่ใช้ปุ๋ยเคมีของชาวนา จ. สุรินทร์ พบว่า การทำนาธรรมชาติมีต้นทุนเพียง 150-270 บาท/ไร่ ขณะที่การทำนาแผนใหม่ที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีบำรุงดินและสารเคมีกำจัดวัชพืช มีต้นทุนสูงถึง 540-850 บาท/ไร่ ซึ่งสูงกว่าการทำนาแบบธรรมชาติ 2.5-3 เท่า ขณะที่ผลผลิตข้าวที่ได้ใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้ จตุรงค์ (71) ได้ศึกษาเปรียบเทียบเกษตรกรรมทางเลือกกับเกษตรกรรมเชิงเดี่ยว พบว่า ภูมิหลังของเกษตรกรที่ทำเกษตรทางเลือกกับเกษตรกรที่ทำเกษตรเชิงเดี่ยวไม่แตกต่างกันแต่เมื่อเปรียบเทียบสถานภาพทางเศรษฐกิจความรู้และทัศนคติที่มีต่อเกษตรทางเลือกและการสนับสนุนจากรัฐและองค์กรพัฒนาเอกชน ในการทำเกษตรทางเลือกพบว่าเกษตรกรที่ทำเกษตรทางเลือกมีสถานภาพดีกว่า และในการศึกษาเปรียบเทียบรายกรณีจากเกษตรกรทั้ง 2 กลุ่มๆละ 10 ครัวเรือน พบว่า ต้นทุนเฉลี่ยต่อไร่ในการทำเกษตรทางเลือกเท่ากับต้นทุนเฉลี่ยต่อไร่ในการทำเกษตรเชิงเดี่ยวแต่การทำเกษตรทางเลือกให้รายได้เฉลี่ยต่อไร่สูงกว่าการทำเกษตรเชิงเดี่ยวและยังช่วยลดความเสี่ยงในการขาดทุนช่วยให้เกษตรกรพึ่งตนเองได้ช่วยรักษาสถาบันครอบครัวของเกษตรกรให้

Copyright by Mahidol University

มั่นคงช่วยให้เกษตรกรมีสุขภาพจิตที่ดีช่วยสร้างเสริมสิ่งแวดล้อมที่ดีช่วยสร้างความหลากหลายทางชีวภาพได้ดีกว่าใช้เวลาและแรงงานน้อยกว่าการทำเกษตรเชิงเดี่ยว ในขณะที่ Watanabe (72) ได้วิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของการทำเกษตรเชิงเดี่ยวและการทำเกษตรทางเลือกแบบผสมผสานพบว่า เกษตรผสมผสานจะมีความเป็นไปได้ทั้งทางเศรษฐกิจการเงินและผลประโยชน์มากกว่าเกษตรเชิงเดี่ยว ขณะเดียวกันยิ่งเกษตรกรต้องพึ่งพาเงินลงทุนจากการกู้ยืม (โดยเฉพาะอย่างยิ่งเงินกู้นอกระบบซึ่งมีอัตราดอกเบี้ยที่สูง)มากเท่าใดจะมีผลต่อความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจของเกษตรผสมผสานมากขึ้นเท่านั้นและการทำเกษตรผสมผสานต้องการการลงทุนต่อสัดส่วนของพื้นที่ที่สูงในตอนต้นรวมถึงการใช้แรงงานที่สูงกว่าการทำเกษตรเชิงเดี่ยว

ส่วนในด้านความอยู่รอดทางเศรษฐกิจของเกษตรกรที่ทำเกษตรทางเลือกนั้นมีการศึกษาของ Arunee (73) ซึ่งศึกษาถึงความอยู่รอดทางเศรษฐกิจของการทำนาแบบทางเลือกโดยเปรียบเทียบระหว่างการทำนาแบบเดิม (นาดำ) และ การทำนาแบบทางเลือก (นาหว่านและมีการปลูกพืชสลับระหว่างการทำนาคือปลูกถั่วและลดการใช้สารเคมีและปุ๋ยเคมีลง) พบว่า การทำนาแบบทางเลือกจะให้ผลตอบแทนในรูปรายได้สุทธิในระยะสั้นที่สูงกว่าการทำนาแบบเดิมในทุกพื้นที่ แต่เมื่อให้ค่าแรงของภายในครอบครัวเท่ากับวันละ 60 บาท แล้วผลตอบแทนต่อแรงงานและผลตอบแทนต่อการลงทุนของการทำนาแบบเดิมกลับให้ค่าที่มากกว่าทั้งนี้เป็นเพราะ การทำนาแบบทางเลือกประสบปัญหาวัชพืชที่มากกว่าทำให้เกษตรกรมีแนวโน้มจะใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชหรือมิเช่นนั้นก็ต้องใช้แรงงานในการกำจัดวัชพืชมากกว่า

ในขณะที่Current(74) ได้ทำการศึกษาต้นทุน-ผลได้ของการทำวนเกษตร(ไม้ยืนต้น+พืชเดิม+เลี้ยงสัตว์ในพื้นที่และเวลาเดียวกันหรือเวลาที่ต่อเนื่องกันไป) ของเกษตรกรในโครงการการส่งเสริมการปลูกวนเกษตรในพื้นที่แถบอเมริกากลางและคาริบเบี่ยน พบว่า การทำวนเกษตร 6 วิธีใน 7 วิธีที่ศึกษาให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิทางการเงินอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเกษตรกรสามารถนำรูปแบบวิธีการต่างๆของวนเกษตรไปปรับใช้ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และเงื่อนไขของตนเองจนก่อให้เกิดรายได้ค่อนข้างสูง อัตราส่วนของผลประโยชน์ต่อต้นทุนที่ได้มีค่าถึง1.6 ระยะเวลาของผลตอบแทนอยู่ระหว่าง 2-5 ปี ผลตอบแทนทางการเงินนี้มีความอ่อนไหวค่อนข้างสูงต่อการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตและราคาของผลผลิต และผลสำเร็จของโครงการฯนี้ คือทัศนคติที่ดีของเกษตรกรต่อผลตอบแทนที่ดี

เบญจมาศ (75) ได้ทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจของการผลิตผักโดยการใช้สารธรรมชาติและสารเคมี พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงผลผลิตผักแต่ละชนิดที่ทำการศึกษาที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ แรงงานที่ใช้ในการผลิตและดูแลรักษา มูลค่าปุ๋ย และสารกำจัดศัตรูพืช โดยปัจจัยที่มีผลกระทบจะมีความแตกต่างกันตามชนิดของผักและประเภทของการใช้สารกำจัดศัตรูพืช

Copyright by Mahidol University

ส่วนทางด้านการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนจากการผลิตผักพบว่าเกษตรกรที่ใช้สารธรรมชาติจะได้รับกำไรสุทธิมากที่สุดทั้งนี้เนื่องจากได้รับราคาผลผลิตที่สูงกว่า ส่วนเกษตรกรที่ใช้สารเคมีน้อยได้รับกำไรสุทธิสูงกว่าเกษตรกรที่ใช้สารเคมีมากเพราะมีต้นทุนที่ต่ำกว่าสำหรับผลของการวัดประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจในการผลิตผักโดยทั่วไปแล้ว พบว่า เกษตรกรทุกกลุ่มควรลดการใช้แรงงานในการผลิตลง เกษตรกรใช้สารธรรมชาติควรลดการใช้ปัจจัยปุ๋ย ขณะที่เกษตรกรที่ใช้สารเคมีควรลดการใช้สารเคมีทั้งนี้เพื่อที่จะให้ได้รับผลกำไรสูงสุด

จิระศักดิ์(76) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์กับพืชตระกูลถั่วที่เป็นพืชผัก โดยใช้วิธีการต่างๆ 7 วิธี พบว่า ผลผลิตน้ำหนักฝักสดถั่วลันเตาจากการใช้กรรมวิธีที่ 7 ให้ผลผลิตสูงสุดทั้ง 2 จังหวัด และมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญไปจากการไม่ใช้อะไรเลย (Control) ด้านน้ำหนักเมล็ดแห้งก็ให้ผลทำนองเดียวกันทั้ง 2 แห่ง แต่วิธีการดังกล่าวก็ไม่ได้มีผลผลิตสูงแตกต่างกันในทางสถิติไปจากกรรมวิธีอื่นๆที่มีการใช้เชื้อไรโซเบียมร่วมด้วย การใช้เชื้อไรโซเบียมอย่างเดียวสามารถให้ผลผลิตสูงไปจากไม่ใช้เชื้อด้านน้ำหนักเมล็ดแห้ง 34.6% และ 28.4% ของการทดลองที่ จ. เชียงราย และ จ.อุดรธานี ตามลำดับ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กทม.อัตรา 1,000 กก./ไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตได้แต่อาจมีปัญหาในการขนส่งและการใส่ปุ๋ยได้

นอกจากงานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบการทำเกษตรยั่งยืนในรูปแบบต่างๆ เช่นในด้านต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่เกษตรกรได้รับนั้น งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับสภาวะทางเศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกรผู้เป็นสมาชิกของระบบเกษตรยั่งยืนแต่ละรูปแบบก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน เนื่องจากสภาวะทางเศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกรเป็นพื้นฐานของการพัฒนาการเกษตรซึ่งมีความสัมพันธ์กับการยอมรับเทคโนโลยี,การตัดสินใจของเกษตรกรในการกำหนดรูปแบบการผลิตและการใช้สารเคมีของเกษตรกร เป็นต้น ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลสามารถสรุปได้ดังนี้

วิชิต (77) ศึกษาเกษตรกรรมทางเลือกในพื้นที่ราบรูปแบบต่างๆ พบว่า จากปัญหาทางด้านกายภาพของระบบนิเวศและสภาพทางเศรษฐกิจ ทำให้เกษตรกรที่มีการเปลี่ยนแปลงจากระบบเกษตรแบบเดิมสู่การจัดการเกษตรทางเลือกแบบต่างๆ มีกระบวนการเรียนรู้จากประสบการณ์เดิม การแลกเปลี่ยนประสบการณ์ระหว่างกัน การศึกษาดูงานและการส่งเสริมจากหน่วยงานภายนอกในการให้การศึกษาอบรมในรูปแบบต่างๆ ซึ่งผลที่ได้รับจากการเปลี่ยนแปลงการผลิตนั้น เป็นบทเรียนจากกิจกรรมที่สามารถพัฒนาศักยภาพและคุณค่าความเป็นมนุษย์ได้ยิ่งขึ้น เกิดความภาคภูมิใจในตนเอง รวมทั้งได้รับการยอมรับจากเพื่อนเกษตรกรคนอื่นๆ สามารถเป็นแบบอย่างในการเรียนรู้ได้

ส่วนในเรื่องทัศนคติของเกษตรกรที่มีต่อเกษตรกรรมทางเลือกนั้น พนมพร (78) ได้ทำการศึกษาสภาพปัญหาและแนวความคิดเกี่ยวกับเกษตรกรรมธรรมชาติของเกษตรกรที่อยู่ในและนอก

Copyright by Mahidol University

เขตชลประทานน้ำอูน จ.สกลนคร ซึ่งเกษตรกรในพื้นที่ดังกล่าว จะปลูกพืชแบบพันธสัญญา (Contract Farming) กับเอกชน ผลการศึกษา พบว่า ไม่มีความแตกต่างของการรับข่าวสารและการให้ความสนใจเกี่ยวกับการทำเกษตรธรรมชาติแนวฟูกูโอกะในกลุ่มเกษตรกรที่มีฐานะทางเศรษฐกิจแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ปัญหาในการผลิตของเกษตรกรส่วนใหญ่ ได้แก่ ความจำเป็นต้องพึ่งพาปัจจัยการผลิต ปัญหาด้านแรงงานและการลงทุน ปัญหาราคาผลผลิตขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูก ปัญหาที่เกษตรกรลองทำตามคำแนะนำของเจ้าหน้าที่แต่ล้มเหลวทำให้เกิดแนวคิดเกี่ยวกับการให้ความสำคัญของการไถพรวน การใช้ปุ๋ย และการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช ส่วนแนวคิดของเกษตรกร คือ ถ้ามีการทดลองเพาะปลูกโดยวิธีเกษตรธรรมชาติแล้วได้ผลเกษตรกรทุกกลุ่มมีความต้องการที่จะกลับสู่วิถีเกษตรธรรมชาติ เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ต้องการเป็นผู้ตามมากกว่าผู้นำ แต่ทั้งนี้งานวิจัยดังกล่าวไม่ได้วิเคราะห์ถึงความเสี่ยงจากการทำเกษตรธรรมชาติในสถานการณ์นั้นว่ามีผลอย่างไรต่อการดำรงชีวิตของเกษตรกร ซึ่งอาจมีผลให้เกษตรกรต้องการเป็นผู้ตามมากกว่า

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการยอมรับหรือความสำเร็จในการทำเกษตรทางเลือก ได้แก่ งานวิจัยของวีรบูรณ์ (41) ซึ่งศึกษากระบวนการยอมรับการทำเกษตรกรรมทางเลือก(เกษตรผสมผสาน)ของหมู่บ้านหนองใหญ่ อ.ลำปลายมาศ จ.บุรีรัมย์ พบว่า เงื่อนไขของการทำเกษตรผสมผสานในหมู่บ้าน สามารถแบ่งออกเป็น 1) เงื่อนไขร่วม คือ เงื่อนไขที่เกิดขึ้นกับทุกๆคนในพื้นที่ ได้แก่ เงื่อนไขทางด้านนิเวศวิทยา คือ น้ำฝนและทรัพยากรดิน เงื่อนไขทางด้านวัฒนธรรมคือทัศนะต่อธรรมชาติและคุณลักษณะของเกษตรผสมผสาน เงื่อนไขด้านสังคม เศรษฐกิจ และประชากร คือ กรรมสิทธิ์ในที่ดิน ขนาดที่ดินและลักษณะของพื้นที่ เงินทุนและแรงงาน ข่าวสารและสื่อ บรรทัดฐานทางสังคม ตลาดและผลผลิต และเงื่อนไขด้านนโยบายของรัฐ 2) เงื่อนไขเฉพาะ คือเงื่อนไขที่เกิดขึ้นเฉพาะบางคนหรือบางท้องถิ่น ได้แก่ เงื่อนไขด้านวัฒนธรรม คือ ความเชื่อมั่นต่อความคิดของตนเอง เงื่อนไขด้านสังคม เศรษฐกิจ และประชากร คือ องค์กรท้องถิ่น ผู้นำ และองค์กรภายนอก จากงานศึกษานี้ทำได้แต่เพียงชี้ให้เห็นถึงผลกระทบ (ในเชิงบวก/ลบ/ไม่กระทบ) ต่อการขยายตัวของการทำเกษตรผสมผสานแต่ไม่ได้สรุปออกมาอย่างชัดเจนว่าเงื่อนไขใดเป็นเงื่อนไขที่สำคัญต่อกระบวนการยอมรับการทำเกษตรทางเลือกในภาคอีสาน

สอดคล้องกับเกียรติพิบูล(79) ซึ่งพบว่า เกษตรกรที่ยอมรับเกษตรผสมผสานจะมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการทำเกษตรผสมผสานมากกว่าเกษตรกรที่ไม่ยอมรับ ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับการทำเกษตรผสมผสาน ได้แก่ การเป็นสมาชิกของกลุ่มอาชีพ การเคยได้รับการฝึกอบรมและเคยได้รับคำแนะนำจากเจ้าหน้าที่ด้านการเกษตร การได้รับการสนับสนุนด้านเมล็ดพันธุ์พืชและวัสดุการเกษตรจากเจ้าหน้าที่และการมีพื้นที่เกษตรกรรมเป็นของตนเอง นอกจากนี้ยังพบว่าครัว

Copyright by Mahidol University

เรือนที่ทำเกษตรผสมผสานจะมีฐานะทางเศรษฐกิจหรือรายได้ของครัวเรือนต่อปีสูงกว่าครัวเรือนที่ไม่ได้ทำเกษตรผสมผสานอีกทั้งมีภาระหนี้สินน้อยกว่าและมีการออมมากกว่าอีกด้วย

สุชิน (80) พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจทำเกษตรผสมผสานของเกษตรกรในเขตชลประทาน จ.มหาสารคาม คือ ปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพ ได้แก่ ความสะดวกในการใช้น้ำของเกษตรกร การมีที่พักอยู่กับพื้นที่ประกอบเกษตรกรรมหรืออยู่ไม่ไกลเกินไป การปลูกไม้ผลเป็นพืชรอง การมีโอกาสเลี้ยงสัตว์และสัตว์น้ำ และปัจจัยทางเศรษฐกิจ ได้แก่ จำนวนพื้นที่ถือครองของเกษตรกรมีมาก การไม่ประกอบอุตสาหกรรมในครัวเรือน ตลอดจนปัจจัยทางการส่งเสริมและสื่อสาร ได้แก่ การมีโอกาสได้รับการเยี่ยมจากเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร การได้ติดต่อสัมพันธ์กับหน่วยงานและการมีโอกาสได้ไปทัศนศึกษาดูงานเรื่องการเกษตรแบบผสมผสาน ขณะที่อัจฉรีย์ (81) พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการทำการเกษตรยั่งยืนในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่เลาะ ต.สะลวง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ ได้แก่ ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อม เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะภูมิอากาศและสภาพนิเวศ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความถนัดของเกษตรกรในพื้นที่อันเกิดจากภูมิปัญญาท้องถิ่นที่แตกต่างกันออกไป รวมทั้งการช่วยเหลือของหน่วยงานรัฐและเอกชน

ลีศึก (82) พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับระบบเกษตรผสมผสานบนที่สูงของชาวเขาเผ่าม้งบ้านช่างเคี่ยน ดอยปุย จ.เชียงใหม่ ที่สำคัญมีอยู่ 12 ปัจจัย (ซึ่ง 12 ปัจจัยนี้มีผลทำให้เกษตรกรชาวเขามีความสามารถพึ่งพาตนเองได้) ได้แก่ อายุ การไม่ติดยาเสพติด จำนวนสมาชิกในครัวเรือน ลักษณะแหล่งน้ำเพื่อการเกษตร จำนวนครั้งในการติดต่อกับเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร จำนวนครั้งในการเข้ารับการฝึกอบรมการเกษตรที่สูง จำนวนแรงงานในครัวเรือน ระดับรายได้ของครัวเรือน พื้นที่ทำการเกษตรกรรม และปัจจัยทางด้านจิตวิทยา ได้แก่ ความตระหนักถึงประโยชน์ของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ความมุ่งหวังในชีวิตของตนเองและของลูกหลานในอนาคต

ธวัช (56) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจยอมรับนวัตกรรมเกษตรยั่งยืน (เทคนิคการปลูกผักปลอดสารพิษ) พบความแตกต่างระหว่างเกษตรกรที่ปลูกผักปลอดสารพิษกับเกษตรกรที่ปลูกผักโดยใช้สารพิษ ในประเด็นต่อไปนี้ คือ ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจยอมรับเทคนิคการปลูกผักปลอดสารพิษเรียงลำดับตามขนาดความสัมพันธ์จากสูงไปหาต่ำ ได้แก่ ความเชื่อมั่นในประสิทธิผลของนวัตกรรม ความรู้พื้นฐานทางด้านนิเวศวิทยาการเกษตร ระดับความรู้เกี่ยวกับนวัตกรรม ลักษณะการถือครองที่ดิน ลักษณะการได้รับการสนับสนุนปลูกผักปลอดสารพิษ ช่องทางการสื่อสาร(เจ้าหน้าที่การเกษตรของรัฐและองค์กรเอกชน) ลักษณะการประกอบอาชีพ อายุ ทัศนคติเกี่ยวกับความเสี่ยง เงินทุน ประสบการณ์ในการปลูกผักขายและรายได้

นอกจากนี้ยังชี้ให้เห็นว่าในการเผยแพร่นวัตกรรมเกษตรยั่งยืนผู้เผยแพร่ต้องทำให้เกษตรกรเห็นถึงประสิทธิผลของนวัตกรรมใน 3 ประเด็นด้วยกัน ดังตัวอย่างจากเทคนิคดังกล่าว คือ ต้อง

Copyright by Mahidol University

แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการปลูกผักปลอดสารพิษเช่นการปลูกผักกางมุ้ง/การใช้พืชสมุนไพร/การใช้วิธีชีวภาพ สามารถเข้ามาทำหน้าที่แทนเทคนิคของเกษตรสมัยใหม่ได้จริง ต้องแสดงให้เห็นว่าเทคนิคดังกล่าวสามารถให้ผลผลิตที่มีคุณภาพไม่มีอันตรายต่อผู้บริโภคจริง,ต้องแสดงให้เห็นว่าเทคนิคดังกล่าวเป็นเทคนิคที่ปลอดภัยต่อผู้ใช้ ผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม ซึ่งถ้าเกษตรกรเห็นว่าทั้ง 3 ประเด็นนี้ สามารถเป็นจริงได้ในเชิงปฏิบัติแล้วก็น่าจะมีแนวโน้มในการยอมรับเทคนิคการปลูกผักปลอดสารพิษหรือนวัตกรรมเกษตรยั่งยืนรูปแบบอื่นๆ ด้วย อย่างไรก็ตามเกษตรกรต้องมีความรู้พื้นฐานทางด้านนิเวศวิทยาการเกษตรและความรู้เกี่ยวกับนวัตกรรมเทคนิคการปลูกผักปลอดสารพิษ ทั้งความรู้ที่เกี่ยวกับวิธีการจัดหา วิธีการใช้และผลประโยชน์ของนวัตกรรมที่ถูกต้องควบคู่ไปด้วย จึงจะทำให้เห็นประสิทธิผลอย่างแท้จริง

ขณะเดียวกันเพ็ญสุดา (83) พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ระบบการผลิตแบบเกษตรทางเลือกมีอยู่ 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยภายในชุมชนได้แก่ ลักษณะทางนิเวศของชุมชน คือ พื้นที่เพาะปลูกที่ลาดชันที่ถูกน้ำฝนชะล้างหน้าดิน ทำให้ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ และระบบสังคมในชุมชนที่มีความสัมพันธ์แบบเครือญาติ ทำให้แนวคิดเกษตรทางเลือกแพร่ไปตามสายความสัมพันธ์นี้ด้วย ตลอดจนองค์กรหรือกลุ่มชาวบ้านที่ได้สนับสนุนเกษตรทางเลือก เพื่อมุ่งไปสู่การพัฒนาหมู่บ้านที่ยั่งยืน และ ปัจจัยภายนอกชุมชน ได้แก่ กระแสการพัฒนาหลักของประเทศที่ทำให้เกิดปัญหาและแรงผลักดันให้เกษตรกรหาทางเลือกใหม่ๆระบบการตลาดของเกษตรกรที่เน้นการซื้อขายในชุมชน ตลอดจนสื่อสารมวลชนที่มีการรณรงค์เผยแพร่แนวคิด หลักการ และการนำเสนอแนวปฏิบัติที่มีเกษตรกรเคยประสบผลสำเร็จ ควรได้รับการสนับสนุนจากภายนอกโดยการเข้ามาส่งเสริมในชุมชน และให้การศึกษานอกระบบโดยเฉพาะกระบวนการฝึกอบรม การแลกเปลี่ยนและเชื่อมความรู้กับภายนอกชุมชนโดยการเข้าร่วมอบรม สัมมนา ศึกษาดูงาน ประชุมแลกเปลี่ยนประสบการณ์ของเกษตรกร ซึ่งปัจจัยทั้งสองด้านนี้ต่างมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวิถีการผลิตขึ้นในชุมชน

นอกจากนี้ สัมพันธ์ (84) ได้ศึกษารูปแบบของการทำเกษตรผสมผสานของเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและกระบวนการส่งเสริมขององค์กรพัฒนาเอกชนรวมทั้งวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความสำเร็จและความล้มเหลวของเกษตรกรที่ทำเกษตรผสมผสานผลการศึกษาพบว่ากระบวนการทำเกษตรผสมผสานนั้นได้ความรู้จากองค์กรพัฒนาเอกชนมากที่สุดและเกษตรกรจำนวนร้อยละ 50.8 ใช้แหล่งเงินทุนของตนเองในการทำเกษตรผสมผสาน ส่วนตัวแปรที่สำคัญในการกำหนดความสำเร็จอยู่ที่ทัศนคติของเกษตรกรต่อระดับการพอยังชีพเป็นหลักพื้นฐานในการผลิตและถึงแม้ว่าเกษตรกรส่วนใหญ่จะมุ่งไปที่การผลิตเพื่อขายก็ตามแต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติ

Copyright by Mahidol University

พบว่า ตัวแปรทางด้านอายุและสภาพของที่ดินในพื้นที่ไม่มีความสัมพันธ์ต่อความสำเร็จของการทำเกษตรผสมผสาน ยกเว้นขนาดของที่ดิน และทัศนคติดังที่กล่าวมาแล้ว

2.3 สภาพพื้นที่ศึกษา

2.3.1 สภาพทางกายภาพทั่วไปของศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนฯ ซึ่งได้แก่

1. ที่ตั้งและรายละเอียดของพื้นที่ศึกษา พื้นที่ศึกษาในการศึกษาครั้งนี้เป็นพื้นที่ของศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ต. เขาหินซ้อน อ. พนมสารคาม จ. ฉะเชิงเทรา ซึ่งมีเนื้อที่ประมาณ 1,895 ไร่ มีอาณาเขตระหว่างเส้นรุ้งที่ 13° 40′ ถึง 13° 47′เหนือ และเส้นแวงที่ 101° 23′ ถึง 101°34′ ตะวันออก โดยมีขอบเขตติดต่อดังนี้ คือ ทิศเหนือมีแนวขนานกับถนนสายพนมสารคาม-กบินทร์บุรีไปทางเหนือโดยลึกเข้าไปประมาณ 2 กม. ทิศใต้มีแนวขนานกับถนนสายพนมสารคาม- กบินทร์บุรีไปทางใต้โดย ลึกเข้าไปประมาณ 4 กม. ทิศตะวันออกจรดถนนเส้นตลาดเขาหินซ้อน-บ้านช่องโดยจรดกับบ้านเขาหน้ามอด และบ้านเขาหินซ้อน และทิศตะวันตกจรดคลองท่าลาดและตำบลเกาะขนุน

2. ลักษณะภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศในพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ดอน (Upland) มีลักษณะเป็นลูกคลื่นลอนลาด (Undulating) มีความลาดชันประมาณ 2-5% เป็นส่วนใหญ่ ส่วนสภาพภูมิอากาศเป็นแบบทุ่งหญ้าเขตร้อนหรือฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดู (Tropical savannah) คือ มีฤดูฝนและฤดูแล้งที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยฤดูแล้งเริ่มตั้งแต่เดือน พ.ย.- มี.ค. มีฝนตกเฉลี่ย 18.67 มิลลิเมตร/เดือน และฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือน เม.ย.- ต.ค. มีฝนตกเฉลี่ย 191.89มิลลิเมตร/เดือน โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนบริเวณนี้ประมาณปีละ 1302.74 มิลลิเมตร/ปี ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงฤดูแล้งมีค่าอยู่ระหว่าง 60-68% และในช่วงฤดูฝนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 77-83 % สำหรับอุณหภูมิของอากาศเฉลี่ยทั้งปีประมาณ 28°C (85)

3. แหล่งน้ำ แหล่งน้ำที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและด้านอื่นๆ ประกอบด้วยอ่างเก็บน้ำ 9 แห่ง บ่อน้ำ สระเก็บน้ำ คลองส่งน้ำ และลำน้ำที่สำคัญ 4 แห่ง ได้แก่ ห้วยเจ็ก ห้วยสำโรงเหนือ ห้วยสำโรงใต้ และห้วยน้ำโจน ห้วยเหล่านี้จะมีน้ำไหลในช่วงฤดูฝนเท่านั้นส่วนใหญ่ในฤดูแล้งไม่มีน้ำ สำหรับแหล่งน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่ของศูนย์ฯตามแผนที่อุทกธรณีของกรมทรัพยากรธรณี พบว่า มีแหล่งน้ำใต้ดินอยู่ 2 ชนิด คือ แหล่งน้ำใต้ดินอันเนื่องมาจากหินแกรนิต:Gnเป็นบริเวณของน้ำใต้ดินที่แทรกอยู่ในหินพวกแกรนิต แกรโนไดโอไรต์ ไดโอไรต์ น้ำนี้จะพบตามรอยต่อหรือบริเวณที่หินสลายตัว โดยจะให้ปริมาณน้ำประมาณ 30-50 แกลลอนต่อนาที

Copyright by Mahidol University

แหล่งน้ำใต้ดินชนิดนี้ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของศูนย์ฯ และแหล่งน้ำใต้ดินชนิดพนัสนิคม: Qcl แหล่งน้ำใต้ดินชนิดนี้จะพบบริเวณเชิงเขาและมักจะพบพวกเศษหิน ทราย กรวด โดยมีดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแทรกอยู่ แหล่งน้ำนี้จะพบที่ความลึกประมาณ 5-30 เมตร และให้ปริมาณน้ำประมาณ 20 แกลลอนต่อนาที น้ำนี้สามารถดื่มได้ แต่มักเป็นน้ำกระด้างและมีเหล็กปะปนอยู่ (86)

4. <u>ลักษณะธรณีสัณฐาน</u> ลักษณะทางธรณีสัณฐานของบริเวณศูนย์ฯมีกำเนิดมาจากต้นกำเนิดทางธรณีวิทยาอยู่ 2 ชนิด คือ เกิดจากหินอัคนีที่มีแหล่งกำเนิดทางธรณีวิทยามาจากพวกหินแกรนิตและหินแกรโนไดโอไรท์ในยุค Triassic มีอายุระหว่าง 195 – 225 ล้านปี ซึ่งเป็นบริเวณส่วนใหญ่ของพื้นที่โครงการ และพวกหินชั้นและหินแปรกลุ่มหินตะนาวศรีเกิดขึ้นในยุคไซลูเรียน ดิโวเนียนและตอนล่างของยุคคาร์โบนิเฟอรัส มีอายุระหว่าง 280 – 435 ล้านปี เกิดจากหน่วยธรณีวิทยาแบบหินชุดกาญจนบุรี ซึ่งเป็นกลุ่มของหินดินดาน หินทราย หินดินดานชนิดทราย ในบางบริเวณจะแปรสภาพไปเป็นหินฟิลไลท์ หินอาคิลไลท์ หินควอทไซต์และหินชนวน บางแห่งอาจพบหินปูนเป็นหินพื้น และเนื่องจากสภาพพื้นที่ที่เป็นลูกคลื่นลอนลาด ที่เกิดจากหินวัตถุต้นกำเนิดพวกหินอัคนี พวกหินGraniteและหินแปรจากหินกลุ่มนี้เช่น Gniess(87) ซึ่งลักษณะของการเกิดดินพอสรุปได้จากการสังเกตจากวัตถุต้นกำเนิดดิน ได้ดังนี้ คือ

1) ดินที่เกิดจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่ของหินแกรนิต ส่วนใหญ่จะอยู่บนที่สูงของเนิน ลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินเหนียวปนทราย ดินส่วนใหญ่จะเป็นดินลึกบางแห่งเป็นดินค่อนข้างลึก โดยจะพบชั้นของหินแกรนิตที่กำลังสลายตัวที่ระดับความลึก 80 ซม.

2) ดินที่เกิดจากการสลายตัวของหินแกรนิต แล้วถูกพัดพามาทับถมกันจะพบบริเวณส่วนต่ำของเนิน หรือบริเวณที่ราบต่ำระหว่างเนิน เนื้อดินส่วนใหญ่เป็นทรายตลอดชั้นความลึกของดิน บางแห่งในระดับความลึก 100-180 ซม. จะพบดินเหนียวมากขึ้น โดยมีเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวปนทราย

3) ดินที่เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำของอนุภาคทรายที่ได้จากการสลายตัวของหินแกรนิต พบบริเวณที่ลุ่มต่ำใกล้ห้วยน้ำโจน เนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย เป็นดินลึกและมีการระบายน้ำเลว

4) ดินที่เกิดจากการพัดพามาทับถมของตะกอนลำน้ำ พบบริเวณริมห้วยน้ำโจน เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทราย สภาพพื้นที่เป็นที่ลุ่มมีน้ำขังเกือบตลอดปี

5. <u>ลักษณะดิน</u> ดินในพื้นที่บริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนฯ เป็นพวกดินร่วนปนทราย และดินร่วนเหนียวปนทราย ชุดดินที่พบส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 35 ซึ่งได้จำแนกไว้เป็น ชุดดินจันทึก ชุดดินมาบบอน ชุดดินสตึก และชุดดินบางคล้า เป็นต้น แต่ในการศึกษาครั้งนี้จะศึกษาชุดดินมาบบอน(Map Bon Series : Mb) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (88)

Copyright© by Mahidol University

การจำแนก : จัดอยู่ในFine-loamy, mixed , isohyperthermic Oxic Paleustults

วัตถุต้นกำเนิด : เป็นดินที่เกิดจากการสลายตัวผุพังของหินแกรนิตและหินดวอร์ตไซต์ที่เกิดอยู่กับที่

สภาพพื้นที่ : มีลักษณะลูกคลื่นลอนลาด(Undulating) มีความลาดชัน 2-8%

การจัดเรียงชั้น : Ap-B1-B21t-B22

สัณฐานดิน : ดินบนลึกไม่เกิน 25 ซม. มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย สีน้ำตาล น้ำตาลซีด หรือสีน้ำตาลปนเหลือง ดินบนตอนล่างลึกไม่เกิน 100 ซม. มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายจนถึงดินร่วนเหนียวปนทรายสีพื้นเป็นสีน้ำตาลเข้มหรือสีเหลืองปนแดง ส่วนดินล่าง มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายและจะเปลี่ยนเป็นดินร่วนเหนียวปนกรวดหรือดินเหนียวปนกรวดในดินชั้นล่างลึกๆสีพื้นเป็นสีน้ำตาลแก่หรือสีแดงปนเหลือง เป็นดินลึกการระบายน้ำดี ความสามารถในการซึมน้ำผ่านได้เร็ว การไหลของน้ำบนผิวดินเร็ว

สมบัติทางเคมีที่สำคัญของดิน : ดินตอนบนหนาประมาณ 30 ซม. มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ < 1.5% มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินประมาณ 5.5 - 6.5 มีความอิ่มตัวด้วยด่างปานกลางประมาณ35-75% มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำ<10meq/100gsoil มีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำ(<10ppm) และมีปริมาณธาตุโปตัสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำ ส่วนดินตอนล่างลึกตั้งแต่ 30 ซม.ลงไปมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินประมาณ4.5-6.0 มีความอิ่มตัวด้วยด่างต่ำมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำ มีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำและมีปริมาณธาตุโปตัสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำกล่าวโดยสรุปแล้วดินชุดนี้มีปริมาณแร่ธาตุอาหารตามธรรมชาติต่ำทั้งดินบนและดินล่างและมีสมบัติทางกายภาพดีพอสมควร

การใช้ประโยชน์ที่ดิน : ดินชุดนี้ส่วนใหญ่ใช้ในการปลูกมันสำปะหลังแต่สามารถใช้ปลูกพืชไร่อื่นๆได้ เช่น ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อ้อย ข้าวฟ่าง และถั่วต่างๆ

ข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ที่ดิน : เนื่องจากดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย มีความสามารถในการอุ้มน้ำและดูดซับธาตุอาหารได้น้อยอีกทั้งระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกมากทำให้เกิดปัญหาดินขาดอินทรียวัตถุและปัญหาดินถูกชะล้างพังทลายได้ง่าย อีกทั้งอาจมีปัญหาเรื่องดินแน่นทึบหากมีการไถพรวนซ้ำซาก และทำอย่างไม่ถูกวิธี

ข้อแนะนำในการใช้ประโยชน์ : ในการทำการเกษตรกรรมควรนำระบบชลประทานเข้ามาใช้ด้วย และควรปลูกพืชคลุมดิน หรือปลูกพืชขวางตามแนวลาดชันของพื้นที่เพื่อรักษาระดับความชื้นและลดการพังทลายของหน้าดินอีกทั้งยังเป็นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินอีกด้วย นอกจากนี้ควรมีการปรับปรุงดินด้วยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีควบคู่กันไปในอัตราและเวลาที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยทำให้ดินมีคุณสมบัติทางกายภาพดีขึ้นและลดอัตราเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำในดิน

Copyright by Mahidol University

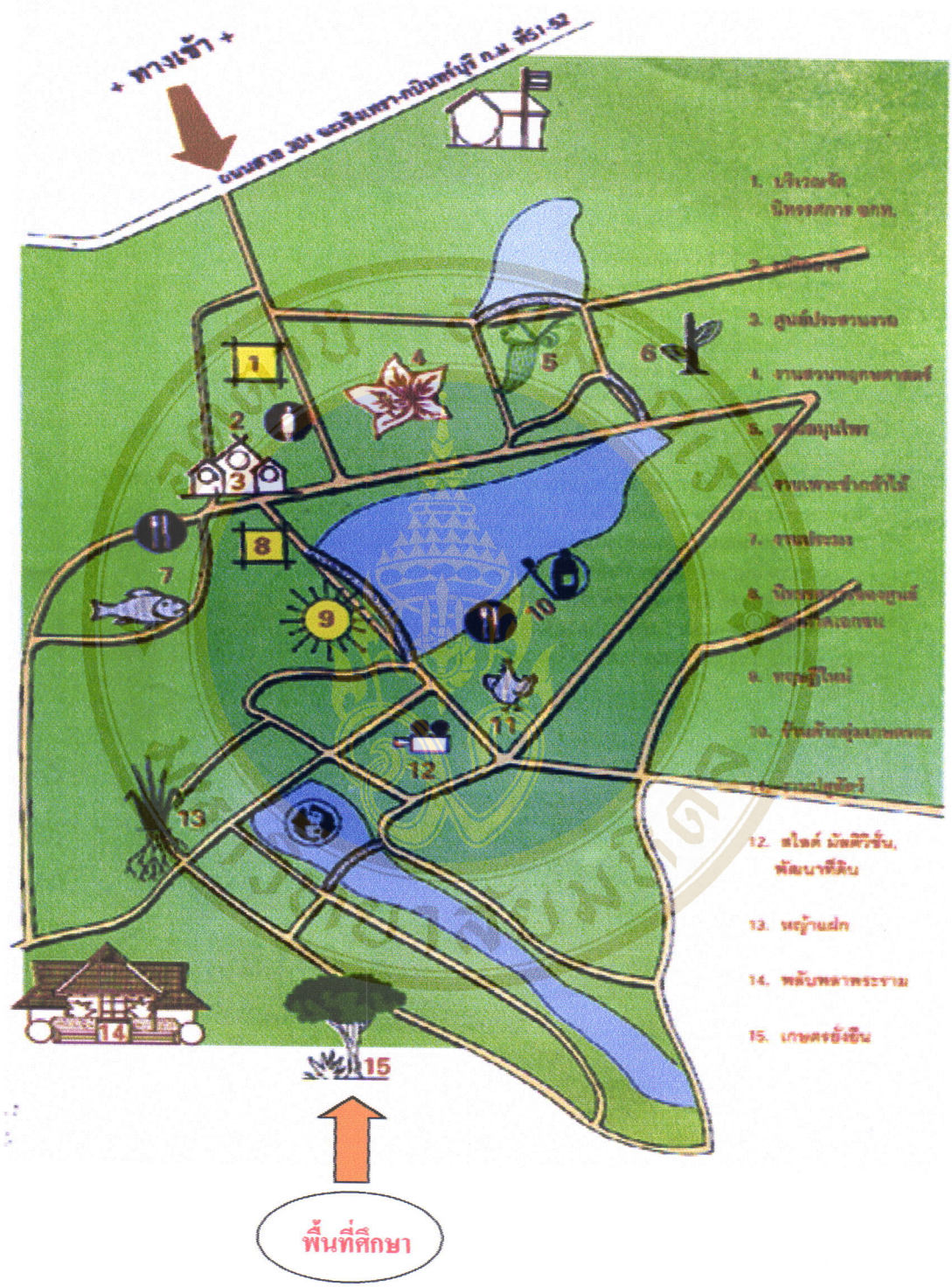
6. <u>การใช้ประโยชน์ที่ดิน</u> เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีสภาพดินเป็นดินร่วนปนทราย ดังนั้นการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่จึงเหมาะสมแก่การปลูกพืชไร่ เช่น มันสำปะหลัง อ้อย ถั่วเหลือง และข้าวโพดและบางพื้นที่เป็นที่ลุ่มเนื้อดินเป็นดินเหนียวเหมาะแก่การทำนา บางพื้นที่ทำการปลูกไม้ผล เช่น มะม่วง มะพร้าว ขนุน นอกนั้นเป็นพื้นที่ปลูกป่าได้แก่ สวนป่ายูคาลิปตัส ไม้สัก และไผ่ ดังนั้นสภาพทางเศรษฐกิจของประชากรในพื้นที่ส่วนใหญ่จึงขึ้นอยู่กับการกสิกรรมเป็นหลัก

2.3.2 ข้อมูลพื้นฐานของแปลงสาธิตการศึกษาทดลองโครงการศึกษาการปรับปรุงดินตามแนวทางเกษตรยั่งยืนในพื้นที่ของศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนฯ

การทดลองครั้งนี้ทำการศึกษาในแปลงสาธิตการศึกษาทดลองโครงการศึกษาการปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักเปรียบเทียบปุ๋ยหมักธรรมชาติในพืชผัก (โครงการนำร่องการพัฒนาการเกษตรยั่งยืน)ในพื้นที่ของศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (ดังภาพที่7) บนดินชุดมาบบอน(Mb) กลุ่มชุดดินที่ 35 ซึ่งการศึกษาทดลองดังกล่าว ได้เริ่มดำเนินการมาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2537 จนกระทั่งถึงปัจจุบัน สภาพพื้นที่เดิมก่อนทำเป็นดินร่วนปนทราย มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ มีความสามารถในการอุ้มน้ำและดูดซับแร่ธาตุอาหารได้น้อย แต่ภายหลังจากที่ได้นำเทคนิคการปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักธรรมชาติ โดยระบบการปลูกพืชอายุสั้นแบบดำเนินการต่อเนื่องตามแนวทางเกษตรยั่งยืนเข้ามาใช้ ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินดีขึ้น ขณะเดียวกันก็มีแนวโน้มทำให้ประชากรของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งการทดลองดังกล่าวได้มีการเก็บข้อมูลผลการวิเคราะห์ดินเมื่อสิ้นสุดผลการทดลองแต่ละครั้ง เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของชุดดินเปรียบเทียบกับก่อนการทดลองรวมทั้งหากรรมวิธีที่เหมาะสมในการลดการใช้สารเคมีเพื่อปลูกพืช ตลอดจนศึกษาผลตอบสนองต่อลักษณะคุณภาพและผลผลิตของพืช(89)

และจากผลการทดลองดังกล่าว สามารถนำมาขยายผลดำเนินการทดลองและปรับปรุงตำรับการทดลองใหม่ โดยเปรียบเทียบจำเพาะกับชนิดพืชที่มีแนวโน้มตอบสนองดีที่สุด รวมทั้งศึกษาเปรียบเทียบผลอันมีความเหมาะสมกับดินชุดมาบบอนและเป็นไปได้ในทางปฏิบัติสำหรับเกษตรกรส่วนหนึ่ง อีกส่วนหนึ่งเป็นผลทางด้านวิชาการเพื่อให้ได้ความรู้เพิ่มเติมถึงศักยภาพในการเพิ่มอินทรียวัตถุลงไปในดินชุดนี้ให้มากที่สุด เมื่อมีการใช้ระบบการปลูกพืชแบบต่อเนื่อง การทดลองดังกล่าวดำเนินการทดลองกับพืชผัก 4 ชนิด คือ มะระจีน ข้าวโพดหวาน แตงร้าน และกระเจี๊ยบเขียว โดยแต่ละชนิดพืชทำการทดลองแบบปลูกต่อเนื่องติดต่อกันและมีการหมุนเวียนพืชเมื่อสิ้นสุดการปลูกแต่ละครั้งโดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized complete blockประกอบด้วย 5 ตำรับการทดลอง(Treatment) จำนวน 4 ซ้ำ(Replicate)ซึ่งแต่ละตำรับการทดลองประกอบด้วย

©Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 7 แผนที่ เส้นทาง และที่ตั้งของแปลงศึกษาทดลองภายในศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนฯ

Copyright by Mahidol University

T_1 (ใส่ปุ๋ยหมัก 15 ตัน/ไร่)

T_2 (ใส่ปุ๋ยหมัก 30 ตัน/ไร่)

T_3 (ใส่ปุ๋ยหมัก8ตัน/ไร่+ปุ๋ยเคมี1/2ของอัตราแนะนำของพืช)

T_4 (ใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติ(โดยใช้เศษพืช3,200กก./ไร่โรยปุ๋ยขี้ไก่ทับเศษพืชและคลุมด้วยเศษพืชอีก3,200 กก./ไร่ ทิ้งไว้10-20วันก่อนปลูกพืช))

T_5 (ใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติ+ปุ๋ยเคมี1/2ของอัตราแนะนำของพืช)

(หมายเหตุ: คำว่า " ปุ๋ยหมัก(Composed) " หมายถึง ปุ๋ยธรรมชาติซึ่งเกิดจากการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอันได้แก่ ฟางข้าว ต้นถั่ว ซังข้าวโพด และแกลบ นำมากองรวมกันกับมูลสัตว์(มูลโค)ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม (มีความชื้น) เพื่อให้เกิดการย่อยสลาย หลังจากนั้นจึงนำไปใส่ในแปลงทดลองแล้วจึงกลบด้วยดิน ส่วนคำว่า " ปุ๋ยหมักธรรมชาติ (Natural soil mulching composed) " หมายถึง การนำเศษพืช อันได้แก่ ฟางข้าว ต้นถั่ว ซังข้าวโพดและขี้เถ้าแกลบ 3,200 กก./ไร่ ใส่ลงในแปลงทดลองจากนั้นโรยปุ๋ยขี้ไก่ทับเศษพืชและคลุมด้วยเศษพืชอีก 3,200 กก./ไร่ ทิ้งไว้ 10 – 20 วัน ก่อนปลูกพืช ปล่อยให้วัสดุเศษพืชเกิดการย่อยสลายเองตามธรรมชาติในดิน)

สำหรับขนาดแปลงทดลองกว้าง 1.2 เมตร ยาว 6.5 เมตร รวมทั้งสิ้นจำนวน 80 แปลง มีการให้น้ำด้วยระบบการให้น้ำแบบพ่นฝอย (sprinkle)ในช่วงเช้าเป็นเวลา 10 นาทีทุกๆวัน ส่วนการป้องกันกำจัดศัตรูพืชใช้สารสกัดจากเมล็ดสะเดาฉีดพ่นสัปดาห์ละ 2 ครั้งร่วมกับการใช้กับดักกาวเหนียว (sticky traps) ตลอดจนให้คนดูแลแปลงอย่างสม่ำเสมอโดยวิธีการจับทำลาย นอกจากนี้ยังมีการหมุนเวียนชนิดพืชในแต่ละครั้งของการปลูกพืช สำหรับรายละเอียดในการดำเนินการของแต่ละชนิดพืช ประกอบด้วย

1) มะระจีน เตรียมแปลงย่อยขนาด 1.2X6.5 ม. ระยะหลุมปลูก 60X50 ซม. ปลูกหลุมละ 1 ต้น โดยตำรับการทดลองที่ 3 และ 5 ใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำของพืช คือ ในช่วงเร่งการเจริญเติบโต(อายุ10วัน) ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 20 กก./ไร่ ส่วนปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 อัตรา 80 กก./ไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง โดยครั้งแรกใส่รองพื้นหลุมก่อนปลูกอัตรา 40 กก./ไร่ และใส่ครั้งที่สองอัตรา 40 กก./ไร่ เมื่อมะระจีนอายุ30 วัน

2) ข้าวโพดหวาน เตรียมแปลงย่อยขนาด 1.2X6.5 ม. ระยะหลุมปลูก 30X25 ซม.ปลูกหลุมละ 1 ต้น โดยตำรับการทดลองที่ 3 และ 5 ใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำของพืช คือ ใส่ปุ๋ย 21-0-0 อัตรา 25 กก./ไร่เมื่อข้าวโพดอายุ 15 วัน ใส่ปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 20 กก./ไร่เมื่อข้าวโพดอายุ 30 วัน และเมื่อติดดอกใส่ปุ๋ย 13-13-21 อัตรา 25 กก./ไร่ โดยทำการกำจัดวัชพืชพร้อมกับการใส่ปุ๋ยเคมี

Copyright by Mahidol University

3) แตงร้าน เตรียมแปลงย่อยขนาด 1.2X6.5ม. ระยะหลุมปลูก30X50 ซม. ปลูกหลุมละ 1 ต้น โดยตำรับการทดลองที่ 3 และ 5 ใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำของพืช คือ ครั้งแรกรองก้นหลุมด้วยปุ๋ยเคมี 15-15-15 อัตรา 25 กก./ไร่ และใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กก./ไร่ เมื่อแตงร้านอายุได้ 7 วัน โดยโรยรอบหลุมและใส่ปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 50 กก./ไร่อีกครั้ง เมื่อแตงร้านเริ่มออกดอกโดยโรยระหว่างแถว

4) กระเจี๊ยบเขียว เตรียมแปลงย่อยขนาด 1.2X6.5 ม. ระยะหลุมปลูก 30X50ซม. ปลูกหลุมละ 1 ต้น โดยตำรับการทดลองที่ 3 และ 5 ใส่ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำของพืช คือ เมื่อกระเจี๊ยบเขียวอายุได้ 7 วัน ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 50 กก./ไร่ โดยโรยรอบๆต้นและเมื่อกระเจี๊ยบเขียวอายุ 30 วัน ใส่ปุ๋ย 15-15-15 อัตรา 50 กก./ไร่

ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้ ผลการเปลี่ยนแปลงค่าปฏิกิริยาของดิน (pH) เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นไปจากก่อนการทดลองเล็กน้อย ส่วนค่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินนั้นถึงแม้ว่าก่อนการทดลองสภาพพื้นที่ได้มีการใช้ประโยชน์และปรับปรุงดินตามปกติของการปลูกพืชจนค่าปริมาณอินทรียวัตถุมีถึง1.06% แล้วก็ตาม ผลการทดลองของทุกตำรับการทดลองทำให้ค่าปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มปลูกครั้งแรกจนถึงสิ้นสุดการทดลองโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการปลูกถั่วฝักยาวแสดงการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินอย่างชัดเจน

อย่างไรก็ตามผลการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินของตำรับการทดลองต่างๆมีความแตกต่างกัน โดยการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 15 ตัน/ไร่ และ 30 ตัน/ไร่ ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นถึง 2.40 และ 2.80% ในการปลูกมะระจีน 2.28 และ 2.55 ในการปลูกข้าวโพดหวาน 1.40 และ 2.88 ในการปลูกถั่วฝักยาว และ 2.41 และ 2.84 ในการปลูกกระเจี๊ยบเขียว กล่าวได้ว่า การทดลองใส่ปุ๋ยหมักในดินชุดมาบบอนอัตรา 30ตัน/ไร่ ต่อเนื่องกัน ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นมากกว่า 2.5% และเมื่อใช้ปุ๋ยหมักลดลงมาเหลือ 8 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี (T_3) ได้ปริมาณอินทรียวัตถุประมาณ 1.4-2.4% ซึ่งค่อนข้างใกล้เคียงหรือต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยหมักแบบธรรมชาติ (T_4) ซึ่งได้ปริมาณอินทรียวัตถุประมาณ 1.6-2.5% ขณะเดียวกันการใส่ปุ๋ยหมักแบบธรรมชาติร่วมกับปุ๋ยเคมี (T_5) ค่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินได้ประมาณ 1.6-2.5%

จะเห็นได้ว่า T_4 และ T_5 สามารถทดแทนหรือได้ผลใกล้เคียงกับ T_2 แต่สำหรับเกษตรกรแล้วในทางปฏิบัติไม่สามารถเป็นไปได้ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมักแบบธรรมชาติ (T_4) จึงมีความเหมาะสมมากกว่า อีกทั้งวิธีการดังกล่าวสามารถรักษาความชื้นในดินได้นานกว่าแปลงทดลองมีวัชพืชน้อยกว่าการใส่ปุ๋ยหมักอัตราสูงสำหรับปริมาณธาตุอาหารในดินเมื่อเปรียบเทียบผลของตำรับการทดลองต่างๆ พบว่า ปริมาณไนโตรเจนเมื่อสิ้นสุดการปลูกแต่ละครั้งของทุกพืชผัก มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งของ T_2 และมากกว่าในบางพืช เช่น ข้าวโพดหวาน, ถั่ว

Copyright by Mahidol University

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยมหิดล

ฝักยาว ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ พบว่า เพิ่มขึ้นจากก่อนการทดลองทุกตำรับการทดลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งของตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 15-30 ตัน/ไร่ และมากกว่าในบางพืช เช่น ถั่วฝักยาวและกระเจี๊ยบเขียว สำหรับปริมาณโพแทสเซียมพบว่า ตำรับการทดลองที่ 4 และ 5 จะเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมได้มากกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ

นอกจากนี้ยังพบว่า ความชื้นในดินเป็นปัจจัยที่สัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหารพืช ไม่ว่าจะเป็นการให้น้ำด้วยระบบการให้น้ำแบบพ่นฝอยหรือจากน้ำฝน หลังจากการให้น้ำหรือหลังจากฝนหยุดตก แปลงที่มีวัสดุคลุมดินอยู่จะสามารถรักษาความชื้นไว้ได้ดีกว่า เนื่องจากในช่วงบ่ายความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะลดลงเหลือเพียง 18-20% เท่านั้น อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ดินขาดการวิเคราะห์ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกและปริมาณธาตุที่เป็นด่างจึงไม่สามารถประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินได้แน่ชัด

ส่วนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในดินทั้งก่อนและหลังการดำเนินการทดลองเมื่อสิ้นสุดการปลูกครั้งที่ 10 ในทุกชนิดพืช โดยเก็บตัวอย่างดินช่วงความลึก 0-15 ซม. พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักมีผลทำให้ประชากรของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน (แบคทีเรีย รา แอคติโนมัยสีท) เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด โดยมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นจาก 10^8 เป็น 10^{11} เซลต่อกรัมของดิน เนื่องจากปุ๋ยหมักเป็นแหล่งอาหารและพลังงานที่สำคัญต่อการเพิ่มจำนวนเซลและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินให้มีประสิทธิภาพในการแปรสภาพธาตุอาหารให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นในดินหลังจากมีการใส่ปุ๋ยหมักลงในดิน สำหรับการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยหมักไม่แสดงผลแตกต่างต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ในดินเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยหมักอย่างเดียว

จะเห็นได้ว่าการปรับปรุงดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ด้วยปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักธรรมชาติส่งผลให้สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น ขณะเดียวกันก็มีแนวโน้มทำให้ประชากรของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยจึงใช้แปลงสาธิตการศึกษาทดลองดังกล่าวมาเป็นแปลงศึกษา เพื่อให้เห็นผลของการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินอย่างชัดเจน ขณะเดียวกันก็สามารถชี้ให้เห็นถึงความหลากหลายของชนิด และปริมาณของสิ่งมีชีวิตในดิน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน

Copyright by Mahidol University

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินภายหลังที่มีการจัดการดินและพืชด้วยระบบเกษตรยั่งยืน โดยศึกษาชนิดและปริมาณของสิ่งมีชีวิตในดิน อันได้แก่ สัตว์ในดินและจุลินทรีย์ดิน รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในดินที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน โดยทำการศึกษาในแปลงสาธิตการศึกษาทดลองโครงการวิจัยระบบเกษตรยั่งยืนสำหรับพืชผักตามแนวพระราชดำริในพื้นที่ของศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริบนดินชุดมาบบอน(Mb) กลุ่มชุดดินที่35 ซึ่งแปลงสาธิตดังกล่าวเริ่มดำเนินการมาตั้งแต่ปีพ.ศ.2537 จนกระทั่งถึงปัจจุบัน โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานสรุปได้ดังภาพที่ 8

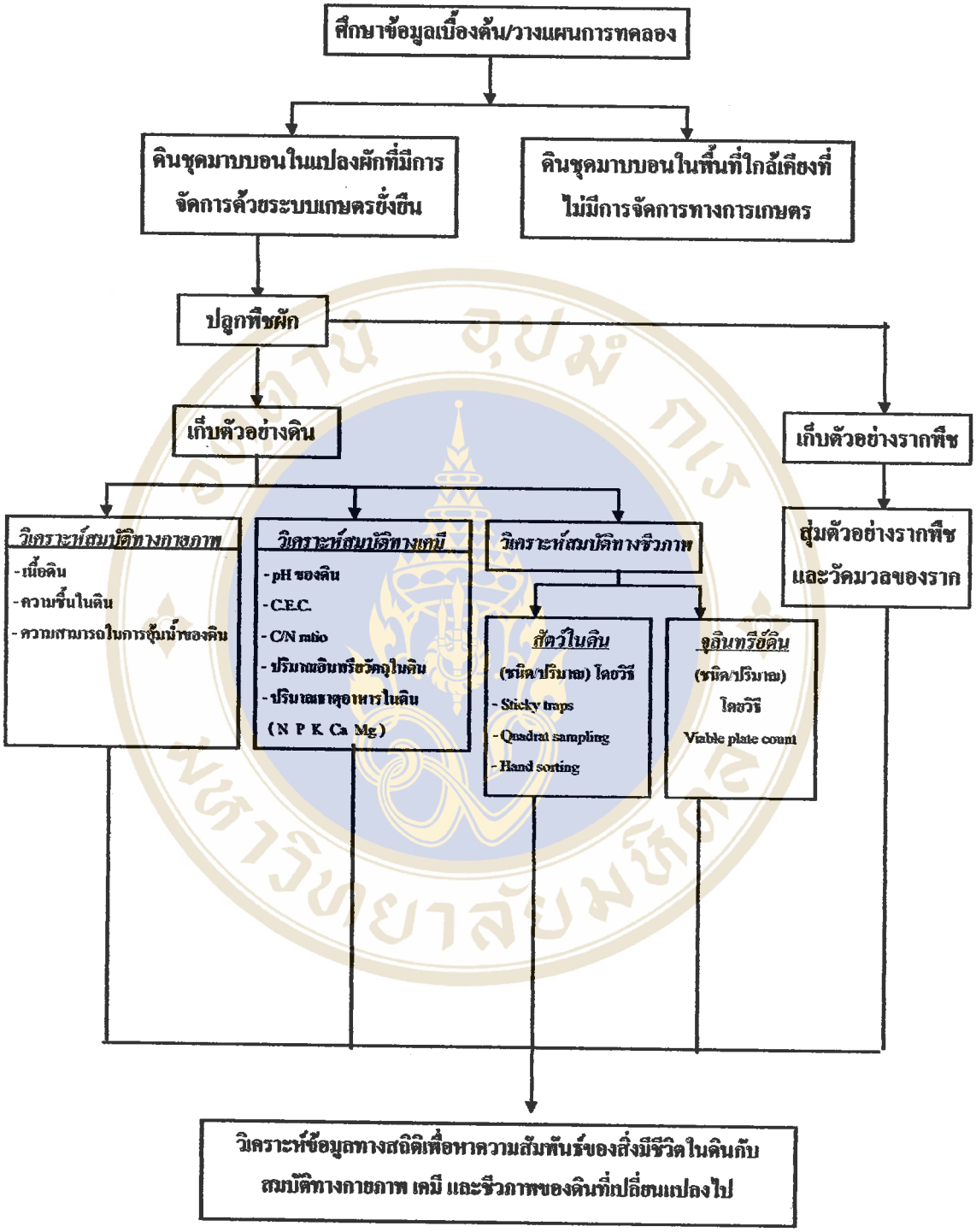
3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของพื้นที่ศึกษาและการวางแผนการทดลอง

โดยทำการรวบรวมข้อมูลต่างๆจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งทำการสำรวจพื้นที่เบื้องต้น เพื่อให้ทราบถึงสภาพทางกายภาพทั่วไปของศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนฯ อันได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศ แหล่งน้ำ ลักษณะธรณีสัณฐาน ลักษณะดิน และลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตลอดจนศึกษาข้อมูลพื้นฐานของแปลงสาธิตการศึกษาทดลองโครงการศึกษาการปรับปรุงดินตามแนวทางเกษตรยั่งยืนในพื้นที่ภายในศูนย์ฯ (ดังรายละเอียดในบทที่ 2 ข้อ 2.3) เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนการทดลอง การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดินซึ่งสามารถแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 2 พื้นที่ คือ

1. พื้นที่ซึ่งมีการจัดการทางการเกษตรด้วยระบบเกษตรยั่งยืน ในแปลงสาธิตการศึกษาทดลองโครงการศึกษาการปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักเปรียบเทียบปุ๋ยหมักธรรมชาติในพืชผัก บนดินชุดมาบบอน (Mb) ในพื้นที่ภายในศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนฯ ซึ่งแปลงทดลองดังกล่าวได้เริ่มดำเนินการทดลองมาแล้ว 7 ปี โดยวางแผนการทดลองแบบ RCB ประกอบด้วย 5 ตำรับการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ
2. พื้นที่ใกล้เคียงบนดินชุดมาบบอน ซึ่งไม่มีการจัดการทางการเกษตร

โดยผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับสมบัติของดินและสิ่งมีชีวิตในดินจากทั้ง 2 พื้นที่ จะนำไปเปรียบเทียบกัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงคุณภาพดินในพื้นที่อื่นๆต่อไป

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 8 ขั้นตอนในการศึกษา

Copyright by Mahidol University

3.2 การปลูกพืช

การทดลองครั้งนี้ดำเนินการทดลองกับพืชผัก 4 ชนิด คือ ข้าวโพดหวาน ถั่วฝักยาว มะระจีน และแตงร้าน โดยแต่ละชนิดพืชทำการทดลองแบบปลูกต่อเนื่องติดต่อกัน และมีการหมุนเวียนพืชเมื่อสิ้นสุดการปลูกแต่ละครั้ง (รายละเอียดผลการดำเนินการของแต่ละชนิดพืชตลอดเวลา 7 ปี แสดงไว้ในบทที่ 2 ข้อ 2.3.2) มีการวางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) ประกอบด้วย 5 ตำรับการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ ซึ่งแต่ละตำรับการทดลอง ประกอบด้วย

T_1 - ใส่ปุ๋ยหมัก 15 ตัน/ไร่

T_2 - ใส่ปุ๋ยหมัก 30 ตัน/ไร่

T_3 - ใส่ปุ๋ยหมัก 8 ตัน/ไร่ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำของพืช

T_4 -ใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติ (โดยใช้เศษพืช3,200 กก./ไร่ โรยปุ๋ยขี้ไก่ 1,600 กก./ไร่ ทับเศษพืชและคลุมด้วยเศษพืชอีก 3,200 กก./ไร่ ทิ้งไว้10-20วัน ก่อนปลูกพืช)

T_5 - ใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติ + ปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำของพืช

ซึ่งแผนผังแสดงแปลงศึกษาทดลอง ดังภาพที่ 9

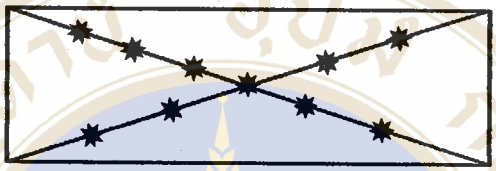
Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 9 แผนผังแสดงแปลงศึกษาทดลองซึ่งมีการจัดการทางการเกษตรด้วยระบบเกษตรยั่งยืน

Copyright by Mahidol University

3.3 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของดิน

ใช้วิธีเก็บตามเส้นทะแยงมุมโดยเว้นระยะเท่าๆกัน(Equal interval on diagonal lines)โดยเจาะดินด้วยสว่านเจาะดิน (Soil Auger) ที่ระดับความลึก 15 ซม.จากผิวดิน (ดังภาพที่10)โดยเก็บแปลงละ10 จุด จากนั้นรวมดินทั้งหมดจากทุกจุดที่ขุดเป็นตัวอย่างเดียว(Composite sample)ใส่ในถุงพลาสติกรัดปากถุงให้แน่น ทำซ้ำจนครบ 80 แปลง



ภาพที่ 10 แสดงจุดเก็บตัวอย่างดิน 1 แปลงผัก (ขนาด 1.2 X 6.5 เมตร)

หมายเหตุ : ✸ แสดงจุดเก็บตัวอย่างดิน 1 จุด

โดยการเก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์ จะเก็บทั้งก่อนปลูกพืชและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต จากนั้นนำตัวอย่างดินที่เก็บได้มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดินดังต่อไปนี้ คือ

1) เนื้อดิน (Soil Texture) ใช้วิธี Hydrometer method โดยใช้ H_2O_2 กำจัดอินทรีย์วัตถุออกไปจากดินพร้อมทั้งล้างเกลือที่ละลายได้ออกไปจากดิน แล้วทำให้แห้ง ใช้ Calgon solution 5% ส่งเสริมการกระจายของอนุภาคดินเหนียวของดิน เพื่อให้เป็นสารแขวนลอยในน้ำ หลังจากนั้นเขย่าสารแขวนลอยดิน แล้วใช้ Hydrometer อ่านค่า คำนวณร้อยละของอนุภาคในกลุ่มขนาดต่างๆของดิน และอ่านชื่อประเภทเนื้อดินจากไดอะแกรม 3 เหลี่ยม

2) ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (Water holding capacity) ใช้วิธีอัดดินลงใน box ซึ่งทราบปริมาตรและน้ำหนักแล้ว นำ box ไปวางบนเครื่องอัดดิน ใช้ spatula ปาดดินให้เสมอกับผิวหน้าของ box นำ box ซึ่งมีดินนี้ไปทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำแล้วนำไปชั่ง หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 108°C ประมาณ 16-24 ชั่วโมง แล้วนำไปทำให้เย็นใน Desiccator ชั่งน้ำหนักจากปริมาณของน้ำกับน้ำหนักแห้งของดิน แล้วคำนวณหาค่าสมรรถนะในการอุ้มน้ำของดิน

3) ระดับความชื้นของดิน วิเคราะห์โดยวัด % ความชื้นของดิน โดยการอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Copyright by Mahidol University

3.4 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน

ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างดินและช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดินเหมือนข้อ 3.4 จากนั้นนำตัวอย่างดินที่เก็บได้มาผึ่งลมในที่ร่มให้แห้งสนิท บดดินให้ละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร และ 0.5 มิลลิเมตร นำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน โดยใช้วิธีวิเคราะห์ดินของกองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน (90) ดังนี้

1) การวัดค่าปฏิกิริยาของดิน (pH) ใช้วิธี Glass Electrode โดยใช้ตัวอย่างดินผสมน้ำกลั่นในอัตราส่วน1:1 เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายดินไปวัดค่า pH โดยใช้ pH meter

2) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน(Organic Matter) วิเคราะห์โดยวิธี Walkley and Blackในรูป organic carbon ในดิน โดยการเติมน้ำยา dichromate 1N โดยใช้ปิเปต เติมกรดซัลฟุริกเข้มข้นเขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เติมน้ำกลั่นแล้วหยด indicator ไตเตรทสารละลายด้วยน้ำยา ferrous sulfate จนกระทั่งสีของสารละลายดินเปลี่ยนจากสีน้ำตาลแดงเป็นสีเขียวจดปริมาณน้ำยาdichromateและ ferrous sulfate ที่ใช้แล้วคำนวณหาปริมาณอินทรียคาร์บอนและอินทรียวัตถุ

3) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen) ใช้วิธี Micro Kjeldahl รวมทั้งหาปริมาณไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยการวิเคราะห์แอมโมเนียมและไนเตรทด้วยการกลั่น Steam Distillation

4) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) ใช้น้ำยาBrayΠ เป็นตัวสกัดดิน เขย่าแล้วกรองผ่านกระดาษกรอง เพื่อนำสารละลายที่สกัดได้นั้นไปผ่านกระบวนการเกิดสีด้วยวิธี Vanadomollypdophospholic Yellow แล้วนำมาวัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง spectrophotometer

5) ปริมาณโปแตสเซียมที่สกัดได้ (Extractable Potassium) ใช้วิธีAmmonium Saturation แล้วนำมาหาปริมาณโปแตสเซียมด้วยเครื่อง flame photometer

6) ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมในดิน ใช้สารละลายAmmonium acetate Saturation แล้วนำมาหาปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer

7) C/N ratio ใช้วิธีหา %โดยน้ำหนักของ organic carbon และ%โดยน้ำหนักของไนโตรเจน

8) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity: CEC) ใช้วิธี Ammonium Saturationแล้วนำมาหาความเข้มข้นด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer

Copyright by Mahidol University

9) ร้อยละของความอิ่มตัวด้วยประจุบวกด่าง (% Base saturation; %BS) นำค่าของผลรวมของประจุธาตุจำพวกด่าง (Exch.Ca^{2+}, Exch.Mg^{2+}, Exch.Na^{2+}, Exch.K^{+}) ที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณโดยใช้สูตร

$$\% \text{ Base saturation} = \frac{\sum \text{Exch. Cation}}{\text{CEC}} \times 100$$

10) ปริมาณประจุบวกของ Ca, Mg, Na และK ที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวคอลลอยด์ของดิน (Exchangeable cation) วิเคราะห์โดยนำสารละลายดินที่ได้จากการสกัดเมื่อดินอิ่มตัว นำไปวัดปริมาณ Ca และ Mg โดยใช้เครื่อง atomic absorption spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 422 และ 285 นาโนเมตร และวัดปริมาณ Na และ K โดยใช้เครื่อง flame photometerที่ความยาวคลื่น 383และ 295 นาโนเมตร ค่าที่อ่านได้นำมาเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Ca, Mg, Na และ K ตามลำดับ

3.5 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพของดิน

3.5.1 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์สัตว์ในดิน

ทำได้โดยการเก็บรวบรวมสัตว์ในดินทั้งพวกสัตว์ในดินที่มีขนาดใหญ่/กลาง โดยทำการเก็บตัวอย่าง 2 ช่วงคือ ก่อนปลูกพืชและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย (simple random sampling) โดยวิธีจับฉลากโดยสุ่มตัวอย่างประมาณ 30% เพื่อใช้เป็นตัวแทนของสัตว์ในดินในแต่ละแปลง โดยทำการเก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก 0-15 ซม. นำตัวอย่างดินใส่ถุงพลาสติกปราศจากเชื้อรัดปากถุงให้แน่น จากนั้นนำมาจำแนกชนิด (91,92,93) และนับจำนวนในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ โดยมีวิธีในการเก็บรวบรวมสัตว์ในดินแต่ละขนาดดังนี้

สัตว์ในดินขนาดใหญ่: ได้แก่ ไส้เดือนดิน กิ้งกือ ตะขาบ หอยทาก แมงมุม ด้วง มด แมลงกระชอน ปลวก โดยวิธี quadrat sampling ซึ่งทำได้โดยวาง quadrat ขนาด 60x60 เซนติเมตร ลงในแปลงย่อยที่กำหนด จากนั้น random sampling โดยวิธีจับฉลากโดยสุ่มตัวอย่างประมาณ 30% เพื่อใช้เป็นตัวแทนของสัตว์ในดินในแปลงนั้น ใช้ปากคีบและพลั่วมือคุ้ยหาสัตว์ในดินที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าที่ระดับความลึก 0-15 ซม. จากนั้นนำมาแช่ในแอลกอฮอล์เข้มข้น 70% โดยทำเหมือนกันทุกแปลง แล้วจึงนำตัวอย่างสัตว์ที่เก็บได้มาจำแนกชนิดและนับจำนวนด้วยวิธี Hand sorting

Copyright by Mahidol University

สัตว์ในดินขนาดกลาง: ได้แก่ ไรดิน แมลงหางดีด แมลงสองง่าม แมลงสามง่าม แมลงวัน โดยวิธี quadrat sampling ลงในแปลงย่อยที่กำหนด โดยสุ่มตัวอย่างเหมือนสัตว์ในดินขนาดใหญ่ จากนั้นใช้พลั่วมือเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-15 ซม. นำตัวอย่างดินใส่ถุงพลาสติกรัดปากถุงให้แน่น แล้วนำมาสกัดในห้องปฏิบัติการ โดยนำตัวอย่างดินมาใส่เครื่อง Tullgren funnel ใช้หลอดไฟ 60 วัตต์ เป็นตัวให้ความร้อนผ่านน้ำที่ล้อมรอบกรวยสำหรับแยกสัตว์เป็นตัวกระตุ้นโดยถือว่าสัตว์ในดินที่สามารถลอดผ่านตะแกรงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มม. ของเครื่องมือจัดเป็นสัตว์ในดินขนาดกลาง ใช้เวลาในการสกัดประมาณ 5-7 วัน พอครบกำหนดนำสัตว์ในดินขนาดกลางที่สกัดได้แช่ในแอลกอฮอล์เข้มข้น.70% และนำมากรองโดยใช้ Salt's filter funnel ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วจึงนำมาจำแนกชนิดและนับจำนวนด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อนำข้อมูลมาคำนวณความหลากหลายของชนิดสัตว์ในดิน

นอกจากนี้มีการสุ่มตัวอย่างแมลงเหนือผิวดินและแมลงในอากาศในแปลงย่อย โดยใช้กับดักกาวเหนียว (Sticky traps) ดังภาพที่ 11 เพื่อนำมาจำแนกชนิด (94, 95) นับจำนวน พร้อมทั้งศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงรวมทั้งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแมลงแต่ละชนิดในระบบเกษตรยั่งยืน

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณความหลากหลายของสัตว์ในดิน เพื่อพิจารณาความหนาแน่น (ตัว/ตร.ม), Species richness indices, Species diversity indices และ Species evenness indices (14) ดังนี้คือ

Species richness indices คือ จำนวนชนิดของสัตว์ในดินทั้งหมดในสังคม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของตัวอย่างและระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

1) Hill's diversity number $N_0 = S$

2) Margalaef index $R_1 = \frac{S-1}{\ln(n)}$

3) Menhinick index $R_2 = \frac{S}{\sqrt{n}}$

เมื่อ S = จำนวน species ทั้งหมด

n = จำนวนของสัตว์ในดินแต่ละชนิดรวมกัน

Copyright by Mahidol University

Species diversity indices คือ ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดิน ซึ่งจะบอกถึงความหลากหลายของจำนวนชนิดทั้งหมดที่พบในสังคม รวมทั้งความสำคัญของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดในสังคม ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

1) Shannon-Wiener diversity index $\bar{H} = -\sum P_i(\ln P_i)$

2) Simpson's diversity index $D = 1/\sum(P_i^2)$

3) Simpson's index for dominance $\lambda = \sum(P_i^2)$

4) Hill's diversity number of abundant species $N_1 = e^{\bar{H}}$

5) Hill's diversity number of very abundant species $N_2 = 1/\lambda$

6) Diversity $H_2 = -\log_e \lambda$

เมื่อ $P_i = n_1/N$

n_1 = จำนวนตัวของสัตว์ในดินแต่ละชนิด

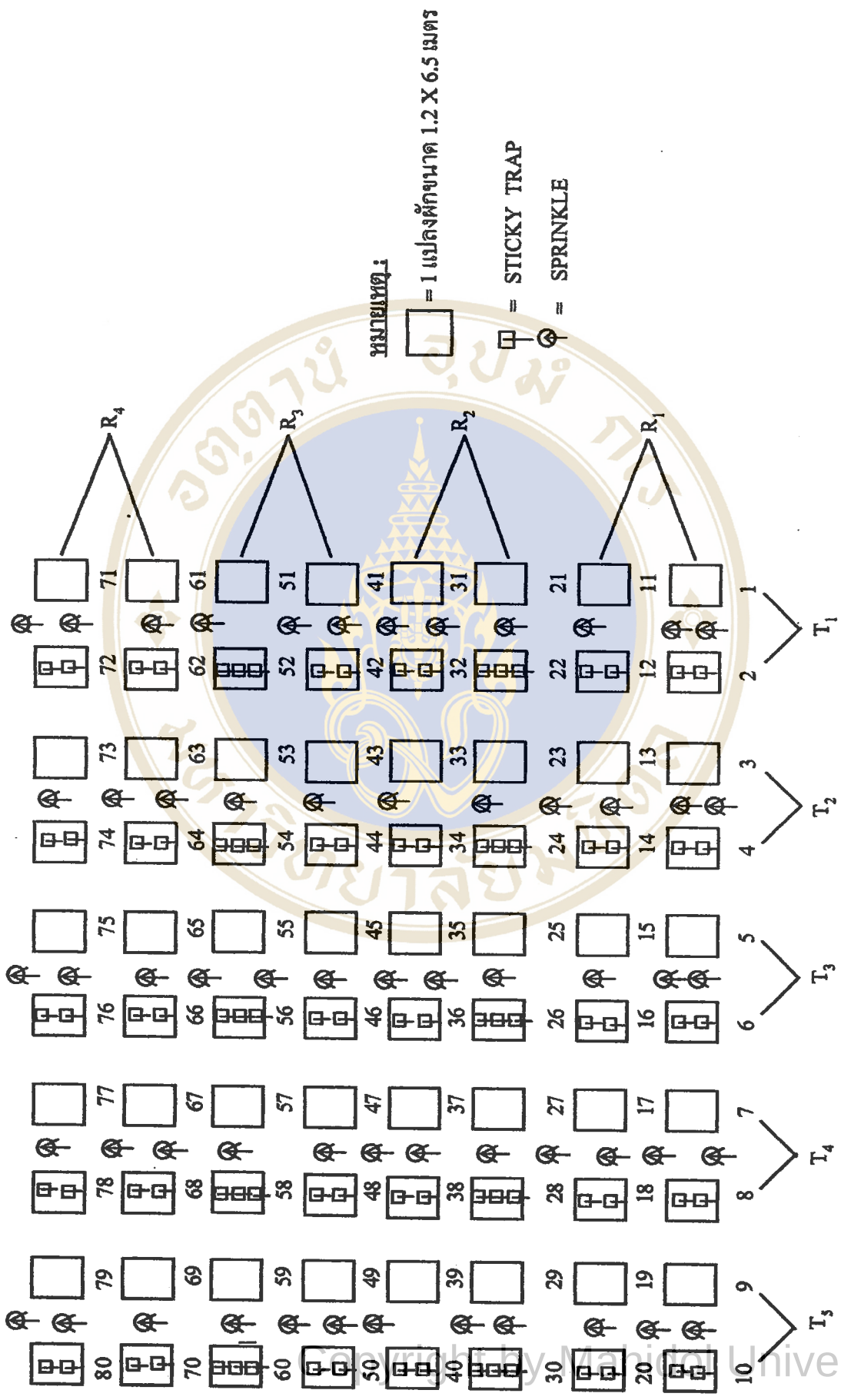
N = จำนวนตัวของสัตว์ในดินทุกชนิดรวมกัน

Species evenness indices คือ ความสม่ำเสมอของ species ทั้งหมดในสังคม ซึ่งจะบอกถึงการกระจายมากน้อยของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

1) Hill's ratio $E_5 = (N_2 - 1)/(N_1 - 1)$

2) Pielou's evenness $\bar{J} = H/\ln(S)$

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 11 แผนผังแสดงแปลงศึกษาทดลองซึ่งมีการจัดการทางการเกษตรด้วยระบบเกษตรยั่งยืน

Copyright by Mahidol University

3.5.2 <u>การเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในดิน</u> อันได้แก่ แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยสีท โดยทำการเก็บตัวอย่าง 2 ช่วงคือ ก่อนปลูกพืช และหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยเจาะดินด้วยสว่านเจาะ (soil auger) ลึกประมาณ 0-15 ซม.จากผิวดิน รวมดินทั้งหมดจากทุกจุดที่ขุดเป็นตัวอย่างเดียวใส่ถุงพลาสติกปราศจากเชื้อรัดปากถุงให้แน่น จากนั้นนำไปเก็บรักษาในที่ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 4-10 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำตัวอย่างดินที่เก็บได้มาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ด้วยวิธีแยกเชื้อจุลินทรีย์จากตัวอย่างดินด้วยวิธี Dilution Poured plate (96) ดังภาพที่ 12 ซึ่งวิธีการ Pour plate สามารถทำได้โดย

1) ชั่งดิน 1 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่นปราศจากเชื้อปริมาตร 9 มล. จะได้ความเจือจาง 10^{-1} เขย่าให้เข้ากันดี

2) นำตัวอย่างดินที่ได้มาทำการเจือจางในน้ำกลั่นปราศจากเชื้อในอัตราส่วน 1 : 9 (serial dilution) ตั้งแต่ 10^{-2} - 10^{-9} ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 12

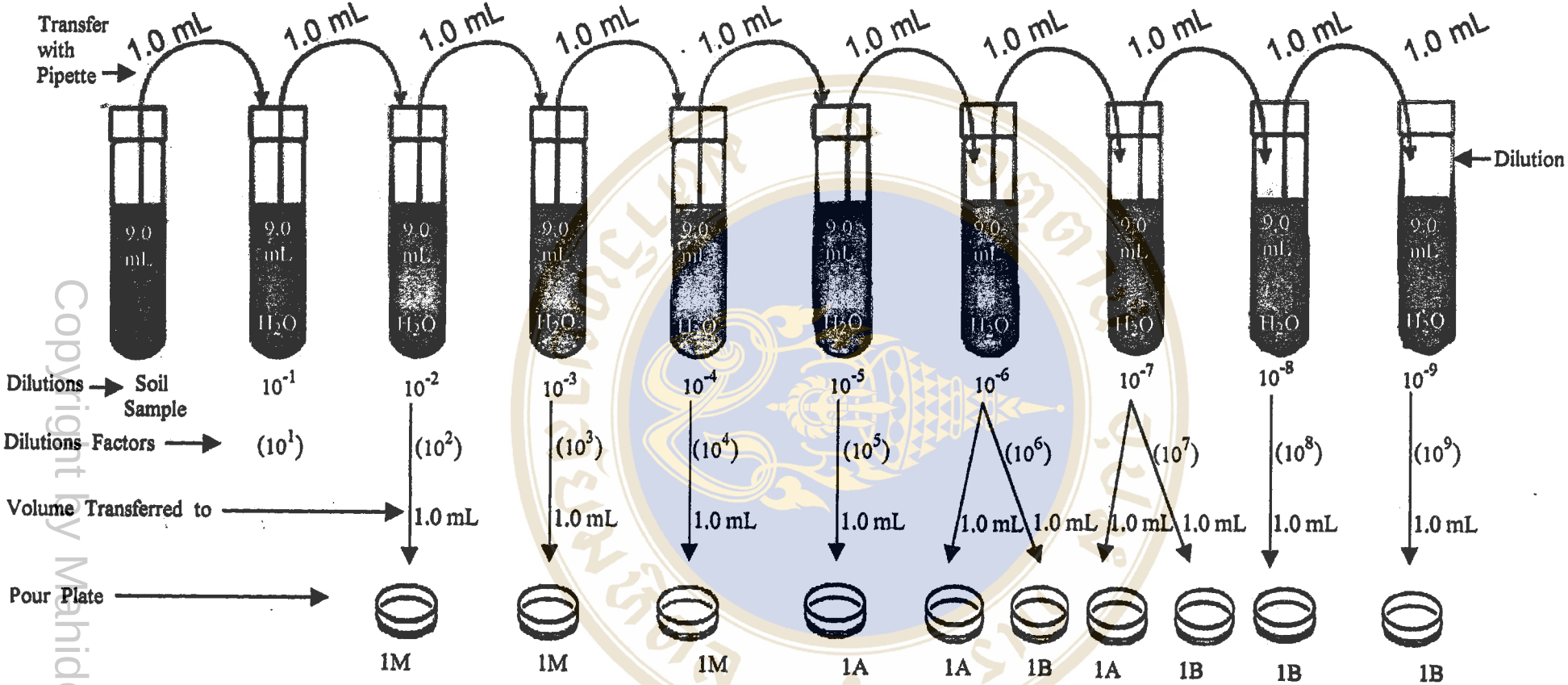
3) ดูด suspension ดินที่ความเจือจาง 10^{-2} 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5} 10^{-6} 10^{-7} 10^{-8} 10^{-9} จากข้อ 2 ปริมาตร 1 มล. ใส่ลงในจานเพาะเชื้อปราศจากเชื้อ

4) ชุดแรกเทอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย ชุดที่2 เทอาหารเลี้ยงเชื้อรา และชุดที่3 เทอาหารเลี้ยงเชื้อแอคติโนมัยสีท(97,98) (อาหารทั้ง 3ชนิดในขวดอุ่นอยู่ใน water bath ซึ่งมีอุณหภูมิ 45-50°C) โดยแง้มฝาจานเพียงเล็กน้อย ค่อยๆหมุนจานตามและทวนเข็มนาฬิกาให้อาหารเข้ากับ suspension ทิ้งไว้สักครู่จนอาหารแข็งตัว

5) คว่ำจานแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30°C หรืออุณหภูมิห้อง บ่มนาน 2 วันแล้วเช็คผล จากนั้นนำมาตรวจนับจำนวนโคโลนีที่เชื้อเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อทั้ง 3 ชนิด

6) จากนั้นเลือกเก็บโคโลนีที่แตกต่างกันมาทำการแยกเชื้อให้บริสุทธิ์ซึ่งการแยกเชื้อบริสุทธิ์สามารถทำได้โดยเลือกเก็บเชื้อแบคทีเรียจากจานเพาะเชื้อที่ใช้นับจำนวนโคโลนีโดยเลือกโคโลนีที่แตกต่างกันโดยสังเกตรูปร่าง ขนาด สี ลักษณะผิวและเนื้อโคโลนี เพื่อให้ได้เชื้อแบคทีเรียที่ต่างชนิดกันมากที่สุด ทำการถ่ายภาพแล้วนำไปแยกเป็นเชื้อบริสุทธิ์โดยวิธี cross streak ลงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย บ่มให้เชื้อเจริญที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเลือกโคโลนีเดี่ยวๆ มา streak ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียซ้ำอีกครั้ง เพื่อให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ ตรวจความบริสุทธิ์ของเชื้อโดยตรวจลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์และการติดสีแกรม (Gram stain) นำเชื้อแบคทีเรียบริสุทธิ์ที่ได้มาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อในหลอดอาหารวุ้นเอียง (slant) เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง แล้วเก็บในที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อเป็น stock culture ไว้ศึกษาต่อไป สำหรับการแยกเชื้อราบริสุทธิ์ ทำได้โดยเลือกเก็บเชื้อราจากจานเพาะเชื้อที่ใช้นับจำนวนโคโลนีโดยเลือกโคโลนีของราที่มีลักษณะเป็นเส้นใยที่แตกต่างกัน โดยสังเกตลักษณะสีโคโลนี สีสปอร์ ขนาด เพื่อให้ได้เชื้อราที่

Copyright by Mahidol University



หมายเหตุ : M = จานอาหารเลี้ยงเชื้อรา

A = จานอาหารเลี้ยงเชื้อแอคติโนมัยสีท

B = จานอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย

ภาพที่ 12 การทำ Serial Dilution เพื่อนำมาทำ Plate Count โดยวิธี Pour Plate

Copyright by Mahidol University

ต่างชนิดกันมากที่สุด ทำการถ่ายภาพ จากนั้นใช้เข็มเขี่ยเชื้อที่ฆ่าเชื้อแล้ว ตัดปลายเส้นใย บริเวณขอบโคโลนีของเชื้อรา นำไปเลี้ยงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อรา บ่มให้เชื้อเจริญที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 วัน เมื่อเชื้อเจริญ และสร้างสปอร์ ใช้เข็มเขี่ยตัดปลายเส้นใยบริเวณขอบโคโลนี นำไปเลี้ยงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อราอีกครั้งเพื่อให้ได้เชื้อราบริสุทธิ์ เมื่อโคโลนีของเชื้อราเจริญย้ายไปเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อในหลอดอาหารวุ้นเอียง (slant) เป็นเวลา 2 วัน ที่อุณหภูมิห้องแล้วเก็บในที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อเป็น stock culture ไว้ศึกษาต่อไป จากนั้นทำการจำแนกชนิดของเชื้อราโดยวิธี Wet mouth technique และ Slide culture technique แล้วนำไปศึกษาลักษณะโครงสร้างต่างๆ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า และทำการถ่ายภาพ (99) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปศึกษาและเปรียบเทียบกับเอกสารอ้างอิงหรือหนังสือที่ใช้ในการจัดจำแนกเชื้อราทั่วไปในดิน ได้แก่ (100, 101, 102, 103, 104) สำหรับการแยกเชื้อแอคติโนมัยสีท ทำได้เช่นเดียวกับการแยกเชื้อราบริสุทธิ์

3.6 การเก็บตัวอย่างพืชเพื่อการวิเคราะห์ปริมาณของรากพืช

เนื่องจากข้อมูลความลึกและการแพร่กระจายของรากพืช บ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารของพืช ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดิน ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงสุ่มตัวอย่างรากพืชโดยวิธีขุดดินที่บริเวณรอบโคนต้นห่างจากต้นพืชประมาณ 30 เซนติเมตรในลักษณะเป็น block ดิน ตามระดับความลึกของรากพืชแต่ละชนิด จากนั้นนำไปแช่ในน้ำเพื่อล้างดินออกจากราก นำตัวอย่างรากที่ได้ใส่ถุงพลาสติกรัดปากถุงให้แน่น แล้วนำไปเก็บในที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 °C ไม่เกิน 2 วัน เพื่อนำไปวัดมวลของราก ความกว้างและความยาวของรากโดยวิธีชั่งน้ำหนักต่อไป (105)

Copyright by Mahidol University

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้จะใช้สถิติช่วยในการวิเคราะห์ 2 ประเภท คือ ประเภทแรกสถิติเชิงพรรณนา โดยใช้ค่าเฉลี่ยร้อยละ ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน นำเสนอข้อมูลโดยใช้ตาราง และประเภทที่ 2 สถิติเชิงวิเคราะห์ โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 4 ประเภทดังนี้คือ วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างคุณสมบัติของดินในแปลงผักที่มีการจัดการด้วยระบบเกษตรยั่งยืนกับดินในพื้นที่ใกล้เคียงที่ไม่มีการจัดการทางการเกษตรด้วยระบบเกษตรยั่งยืน วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลอง วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างชนิดพืช และวิเคราะห์ความแตกต่างของช่วงเวลาก่อนการทดลองและหลังการทดลอง โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Varience: ANOVA) และเมื่อพบว่าข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างแต่ละตัวอย่างแล้วจะทำการทดสอบโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) เพื่อทดสอบว่ากลุ่มตัวอย่างคู่ใดบ้างที่มีความแตกต่างกัน จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตในดินกับสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดินในเชิงอภิปราย

3.8 สถานที่ศึกษา

3.8.1 พื้นที่บริเวณแปลงสาธิตโครงการศึกษาการปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักเปรียบเทียบปุ๋ยหมักธรรมชาติในพืชผัก (โครงการนำร่องการพัฒนาการเกษตรยั่งยืน)ในพื้นที่ของศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อ.พนมสารคาม จ. ฉะเชิงเทรา

3.8.2ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ของคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ของกองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน

Copyright by Mahidol University

3.9 แผนการดำเนินการวิจัย

ลำดับที่	กิจกรรม	ระยะเวลา (ปี2543-2544)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	ศึกษาข้อมูลและสำรวจพื้นที่เบื้องต้น	→	→										
2.	ออกแบบการวิจัยและวางแผนการทดลอง	→	→	→	→	→							
3.	เก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 1						↔	↔					
4.	วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ							↔	↔				
5.	เก็บตัวอย่างดินครั้งที่ 2									↔	↔		
6.	วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ										→	→	→
7.	วิเคราะห์ข้อมูล			→	→	→	→	→	→				
8.	นำเสนอผล/อภิปราย								↔	↔			
9.	เขียนรายงานและจัดพิมพ์ทำรูปเล่ม								↔	→	→	→	

3.10 งบประมาณที่ใช้ในการวิจัย

1) ค่าวัสดุอุปกรณ์
   - ค่าสารเคมีและอุปกรณ์เคมี 15,000 บาท
   - ค่าอาหารเลี้ยงเชื้อ 20,000 บาท

2) ค่าใช้สอย
   - ค่าใช้จ่ายในการเดินทางเก็บตัวอย่าง 5,000 บาท
   (ค่ายานพาหนะ/ ค่าที่พัก/ ค่าเบี้ยเลี้ยงคนงาน)
   - ค่าถ่ายเอกสาร 5,000 บาท
   - ค่าฟิลม์ / ค่าล้างอัดรูป 3,000 บาท

3) ค่าวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ (80ตัวอย่าง) 20,000 บาท

4) ค่าใช้จ่ายอื่นๆ 2,000 บาท

รวม 70,000 บาท

Copyright by Mahidol University

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การศึกษาผลของการจัดการทางการเกษตรในระบบเกษตรยั่งยืนที่มีต่อสมบัติของดินและสิ่งมีชีวิตในดิน ได้ผลการศึกษา 5 ประเด็นหลัก ดังนี้คือ

1)ผลของการจัดการทางการเกษตรในระบบเกษตรยั่งยืนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

2)ผลของการจัดการทางการเกษตรในระบบเกษตรยั่งยืนที่มีต่อความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดิน อันได้แก่ สัตว์ในดินและจุลินทรีย์ดิน

3) ผลของการจัดการทางการเกษตรในระบบเกษตรยั่งยืนที่มีต่อปริมาณของรากพืชและผลผลิตของพืชผัก

4) ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตในดินกับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน

5) ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน

โดยมีรายละเอียดของผลการศึกษาดังต่อไปนี้ คือ

4.1 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติของดินในพื้นที่แปลงสาธิตการศึกษาทดลองซึ่งมีการจัดการด้วยระบบเกษตรยั่งยืนในพืชผักกับดินในพื้นที่ใกล้เคียงซึ่งไม่มีการจัดการทางการเกษตร และส่วนที่สอง คือ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนก่อนการเพาะปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต

4.1.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนและพื้นที่ใกล้เคียง

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินชุดมาบบอนในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนการเพาะปลูกกับดินชุดมาบบอนในพื้นที่ใกล้เคียงซึ่งไม่มีการจัดการทางการเกษตร พบว่า เนื้อดินในบริเวณที่ทำการศึกษาเป็นดินร่วนทราย(loamy sand) ที่มีสัดส่วนของอนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวเท่ากับ 80:13:7 ซึ่งการที่ดินมีอนุภาคทรายเป็นองค์ประกอบหลักอยู่มากนี้ เนื่องมาจากดินในพื้นที่

Copyright by Mahidol University

ศึกษามีแหล่งกำเนิดทางธรณีวิทยามาจากหินแกรนิต ซึ่งเป็นหินที่มีเนื้อหยาบและมีทรายพวกSiO_2 เป็นองค์ประกอบอยู่สูง จึงมีความคงทนต่อการสลายตัวและตกค้างอยู่ในเนื้อดินปริมาณมาก(106) ทำให้ดินในบริเวณนี้ เป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ทั้งนี้เพราะว่าอนุภาคทรายจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย อีกทั้งเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุและมีช่องขนาดใหญ่ (macropores) ระหว่างอนุภาคดินมาก จึงมีพื้นผิวสำหรับดูดซับสารต่างๆ เช่น น้ำ และธาตุอาหารพืชได้น้อย (106) ซึ่งการที่ดินมีช่องว่างระหว่างอนุภาคขนาดใหญ่นี้ ทำให้ดินมีอัตราการแทรกซึมน้ำสูงและมีการถ่ายเทอากาศได้ดี จึงเอื้ออำนวยต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในดิน

และจากการศึกษาพบว่า คุณสมบัติของดินภายหลังที่มีการจัดการด้วยระบบเกษตรยั่งยืน มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงไปจากพื้นที่ใกล้เคียงเพิ่มขึ้น พิจารณาจากค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 20.84% ในพื้นที่ใกล้เคียง เป็น 29.73% ในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน และความชื้นของดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนมีค่าค่อนข้างต่ำกว่าพื้นที่ใกล้เคียง โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 5.63 และ 9.57% ตามลำดับ สภาพกรดด่างของดินมีการเปลี่ยนแปลงจากเป็นด่างอย่างอ่อน(pH 7.4)ในพื้นที่ใกล้เคียงไปเป็นระดับปานกลาง(pH 6.9)ในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน ปริมาณอินทรียวัตถุปานกลางทั้งในดินพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนและดินในพื้นที่ใกล้เคียง โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 2.30 และ 1.91% ตามลำดับ ส่วนค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ทั้งของดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนและพื้นที่ใกล้เคียง มีค่าต่ำโดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 11.55 และ 11.07 ตามลำดับ

ในด้านปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ทั้งในรูปไอออนที่แลกเปลี่ยนได้และที่อยู่ในสารละลายในดิน ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนและพื้นที่ใกล้เคียงมีค่าสูงใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.10 และ 0.11% ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์นั้น อยู่ในระดับสูงมากทั้งสองพื้นที่ ในด้านปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ของดินในพื้นที่ใกล้เคียงอยู่ในระดับปานกลาง 69 ppm และจะมีค่าสูงมากในดินพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 96.02 ppm ส่วนปริมาณแคลเซียม พบว่า ดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนมีค่าสูงกว่าดินในพื้นที่ใกล้เคียง โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 2058.01 และ 1487 ppm ตามลำดับ และปริมาณแมกนีเซียมของดินในพื้นที่ใกล้เคียงจะมีค่าสูงกว่าดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 139 และ 105.82 ppm ตามลำดับ

และเมื่อพิจารณาค่าประจุบวกที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวคอลลอยด์ของดิน พบว่า ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงทั้งในดินพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนและในดินพื้นที่ใกล้เคียง โดยมีค่าเป็น 14.57 และ 13.04 meq/100g ส่วนปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในพื้นที่ใกล้เคียง จะมีค่าอยู่ในระดับปานกลางคือ 1.17 meq/100g และจะมีค่าอยู่ในระดับต่ำคือ 0.72 meq/100g ในดินพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน และปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในพื้นที่ใกล้เคียง จะมีค่าอยู่ใน

Copyright by Mahidol University

ระดับสูง คือ 0.72 meq/100g และในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนจะมีค่าอยู่ในระดับปานกลางโดยมีค่าเป็น 0.32 meq/100g ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในพื้นที่ใกล้เคียง จะมีค่าอยู่ในระดับปานกลาง 0.46 meq/100g และในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนจะมีค่าต่ำ โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.23 meq/100g นอกจากนี้ยังพบว่า ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินมีอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำทั้งในดินพื้นที่ใกล้เคียงและในดินพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน โดยมีค่าเป็น 6.56 และ 5.96 meq/100g ส่วนค่าความอิ่มตัวด้วยด่างของดินมีปริมาณสูงมากทั้งในพื้นที่ใกล้เคียงและในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน โดยมีค่าเป็น 234 และ 279.27% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินในพื้นที่ใกล้เคียงและพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน

Parameter	พื้นที่ใกล้เคียง	พื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน			
		ก่อนปลูก	หลังเก็บเกี่ยว	Min	Max
Water holding capacity (%)	20.84	29.73	27.97	21.69	43.03
Moisture (%)	9.57	5.63	8.46	0.25	21.90
pH	7.40	6.99	7.18	6.50	7.50
O.M.(%)	1.91	2.30	2.97	0.73	5.76
C/N ratio	11.07	11.55	11.60	10.50	15.92
Total N (%)	0.10	0.11	0.14	0.04	0.29
P (ppm)	322	1041.53	1364.35	594	2397
K (ppm)	69	96.02	73.91	10	200
Ca (ppm)	1487	2058.01	<1	<1	2808
Mg (ppm)	139	105.82	113.20	36	300
CEC (meq/100g)	6.56	5.96	5.29	3.15	10.23
Base saturation (%)	234	279.27	276.39	154.22	469.75
Exch. Ca (meq/100g)	13.04	14.57	12.46	8.36	20.18
Exch. Mg (meq/100g)	1.17	0.72	1.23	0.02	2.87
Exch. Na (meq/100g)	0.72	0.32	0.14	0.01	0.80
Exch. K (meq/100g)	0.46	0.23	0.18	0.08	0.44

Copyright by Mahidol University

กล่าวโดยสรุปแล้วเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของดินจากพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนและพื้นที่ใกล้เคียง พบว่า คุณสมบัติของดินภายหลังที่มีการจัดการด้วยระบบเกษตรยั่งยืน มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงไปจากพื้นที่ใกล้เคียงเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จาก ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน สภาพกรดด่างของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน C/N ratio ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ และค่าความอิ่มตัวด้วยด่าง เหล่านี้ ที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของความอุดมสมบูรณ์ของดินทั้งในด้านปริมาณอินทรียวัตถุและธาตุอาหารในดิน ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช

4.1.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนก่อนการเพาะปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินชุดมาบบอนในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนการเพาะปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า คุณสมบัติของดินในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงก่อนปลูก พิจารณาจากค่าความชื้นของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ และปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เหล่านี้ที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในตารางที่ 6 โดยสามารถแยกกล่าวได้ดังนี้ คือ

- ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (water holding capacity)

ผลการศึกษาความสามารถในการอุ้มน้ำของดินตัวอย่างในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนการเพาะปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยดินในช่วงก่อนปลูกมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำอยู่ในช่วงระหว่าง 23.55-39.12% โดยมีค่าเฉลี่ย 29.73% (ตารางผ-7 ภาคผนวก ค) ส่วนดินในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำอยู่ในช่วงระหว่าง 21.69-43.03 % โดยมีค่าเฉลี่ย 27.97% (ตารางผ-23 ภาคผนวก ค) และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของดินในแต่ละตำรับการทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คือในช่วงก่อนปลูก มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 1 โดยมีค่าเป็น 35.34 และ 32.94% ตามลำดับ ส่วนตำรับการ

Copyright by Mahidol University

ทดลองที่ 3, 5 และ4 มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างกัน (ตารางผ-39 ภาคผนวก ค) และในช่วงหลังเก็บเกี่ยว พบว่าค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช พบว่า ชนิดพืชที่มีผลทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดินสูงที่สุด คือ แตงร้าน รองลงมา คือ ถั่วฝักยาว มะระจีน และข้าวโพดหวาน ตามลำดับ ดังตารางที่ 7 , 8, 9 และ10

- ความชื้นของดิน (moisture)

ผลการศึกษาความชื้นของดินตัวอย่างในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนการเพาะปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยดินในช่วงก่อนปลูก มีค่าความชื้นของดินอยู่ในช่วงระหว่าง 0.25-18.53 % โดยมีค่าเฉลี่ย 5.63% (ตารางผ-8 ภาคผนวก ค) ส่วนดินในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมีค่าความชื้นของดินอยู่ในช่วงระหว่าง 2.18-21.90% โดยมีค่าเฉลี่ย 8.46% (ตารางผ-24 ภาคผนวก ค) และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของดินในแต่ละตำรับการทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คือในช่วงก่อนปลูก มีค่าความชื้นของดินมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 1 โดยมีค่าเป็น 10.29 และ 6.64% ตามลำดับ ส่วนตำรับการทดลองที่ 3, 4 และ5 มีค่าความชื้นของดินไม่แตกต่างกัน (ตารางผ-40 ภาคผนวก ค) และในช่วงหลังเก็บเกี่ยว พบว่า ความชื้นของดินมีค่ามากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 โดยมีค่าเป็น 15.09% รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 1 ตำรับการทดลองที่ 5 และน้อยที่สุดในตำรับการทดลองที่ 3 และ4 ตามลำดับ (ตารางผ-53 ภาคผนวก ค) และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างชนิดพืชพบว่า ชนิดพืชที่มีผลทำให้ค่าความชื้นของดินสูงที่สุด คือ แตงร้าน รองลงมาคือ ข้าวโพดหวาน มะระจีน และถั่วฝักยาว ตามลำดับ ดังตารางที่ 7 , 8, 9 และ10

- สภาพความเป็นกรดด่างของดิน (pH)

ผลการศึกษาสภาพความเป็นกรดด่างของดินตัวอย่างในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนการเพาะปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยดินในช่วงก่อนปลูก มีสภาพความเป็นกรดด่างของดินอยู่ในช่วงระหว่าง 6.5-7.5 โดยมีค่าเฉลี่ย 6.99 (ตารางผ-9 ภาคผนวก ค) ส่วนดินในช่วงหลังเก็บ

Copyright by Mahidol University

เกี่ยวมีสภาพความเป็นกรดด่างของดินอยู่ในช่วงระหว่าง 6.7-7.5 โดยมีค่าเฉลี่ย 7.18 ซึ่งจัดว่าอยู่ในระดับเป็นกลาง (ตารางผ-25 ภาคผนวก ค) และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของดินในแต่ละตำรับการทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คือ ในช่วงก่อนปลูกตำรับการทดลองที่ 4 จะมีสภาพกรดด่างของดินสูงที่สุด รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 5 , 3 และ1 และน้อยที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 ตามลำดับ (ตารางผ-41 ภาคผนวก ค) ส่วนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว พบว่า สภาพความเป็นกรดด่างของดินในแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช พบว่า ชนิดพืชที่ทำให้สภาพกรดด่างของดินสูงที่สุด คือ ข้าวโพดหวานและมะระจีน รองลงมาคือ ถั่วฝักยาวและแตงร้าน ตามลำดับ ดังตารางที่ 7 , 8, 9 และ10

- ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter)

ผลการศึกษาปริมาณอินทรียวัตถุในดินตัวอย่างของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนการเพาะปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยดินในช่วงก่อนปลูกมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในช่วงระหว่าง 0.73-4.40 % โดยมีค่าเฉลี่ย 2.30% ซึ่งจัดอยู่ในระดับปานกลาง (ตารางผ-10 ภาคผนวก ค) ส่วนดินในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในช่วงระหว่าง1.35-5.76%โดยมีค่าเฉลี่ย 2.97% ซึ่งอยู่ในระดับค่อนข้างสูง (ตารางผ-26 ภาคผนวก ค) และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของดินในแต่ละตำรับการทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คือ ในช่วงก่อนปลูกตำรับการทดลองที่ 2 จะมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงที่สุด รองลงมา คือ ตำรับการทดลองที่ 1, 3, 5 และ4 ตามลำดับ (ตารางผ-42 ภาคผนวก ค) ส่วนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินของแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางผ-54 ภาคผนวก ค) และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช พบว่า ชนิดพืชที่ทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงที่สุด คือ แตงร้าน รองลงมาคือ ข้าวโพดหวาน ถั่วฝักยาว และมะระจีน ตามลำดับ ดังตารางที่ 7 , 8, 9 และ10

Copyright by Mahidol University

- อัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

ผลการศึกษาค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของดินตัวอย่างในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนการเพาะปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยดินในช่วงก่อนปลูกมีค่า C/N ratio อยู่ในช่วงระหว่าง 10.50-12.28 โดยมีค่าเฉลี่ย 11.55 (ตารางผ-11 ภาคผนวก ค) ส่วนดินในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมีค่า C/N ratio อยู่ในช่วงระหว่าง 10.96-15.92 โดยมีค่าเฉลี่ย 11.60 (ตารางผ-27 ภาคผนวก ค) ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องกับค่ามาตรฐาน C/N ratio ของเซลจุลินทรีย์และอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 10-12 และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของดินในแต่ละตำรับการทดลอง พบว่า ในช่วงก่อนปลูก ตำรับการทดลองที่ 5 มีค่า C/N ratio สูงที่สุดโดยมีค่าเป็น 11.62 รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 3, 1, 2 และ 4 ตามลำดับ โดยมีค่าเป็น 11.60, 11.59, 11.57 และ 11.40 ตามลำดับ ส่วนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว พบว่า ตำรับการทดลองที่ 2 มีค่า C/N ratio สูงที่สุด รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 4, 5, 3 และ 1 ตามลำดับ โดยมีค่าเป็น 11.81, 11.59, 11.56, 11.53และ 11.48 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช พบว่า ชนิดพืชที่ทำให้ค่า C/N ratio สูงที่สุด คือ ถั่วฝักยาวและข้าวโพดหวาน รองลงมาคือ แตงร้านและมะระจีน ตามลำดับ ดังตารางที่ 7 , 8, 9 และ10

- ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)

ผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินตัวอย่างในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนการเพาะปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยดินในช่วงก่อนปลูกมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.04-0.22 % โดยมีค่าเฉลี่ย 0.11% (ตารางผ-12 ภาคผนวก ค) ส่วนดินในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.07 - 0.29 % โดยมีค่าเฉลี่ย 0.14% (ตารางผ-28 ภาคผนวก ค) และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของดินในแต่ละตำรับการทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คือ ในช่วงก่อนปลูกตำรับการทดลองที่ 2 จะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 1, 3, 5 และ 4 ตามลำดับ (ตารางผ-43 ภาคผนวก ค) และในช่วงหลังเก็บเกี่ยว พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินในแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางผ-55 ภาคผนวก ค) และเมื่อพิจารณาถึง

Copyright by Mahidol University

ความแตกต่างระหว่างชนิดพืช พบว่า ชนิดพืชที่ให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินสูงที่สุด คือ แตงร้าน รองลงมาคือ ข้าวโพดหวาน ถั่วฝักยาว และมะระจีน ตามลำดับดังตารางที่ 7 , 8, 9 และ10

- ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus)

ผลการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินตัวอย่างในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนการเพาะปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยดินในช่วงก่อนปลูก มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วงระหว่าง 673-1867 ppm โดยมีค่าเฉลี่ย 1041.53 ppm (ตารางผ-13 ภาคผนวก ค) ส่วนดินในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วงระหว่าง 594-2397 ppm โดยมีค่าเฉลี่ย 1364.35 ppm ซึ่งจัดว่าอยู่ในระดับที่สูงมาก (ตารางผ-29 ภาคผนวก ค) และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของดินในแต่ละตำรับการทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คือ ในช่วงก่อนปลูกจะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 1, 3, 5 และ4 ตามลำดับ (ตารางผ-44 ภาคผนวก ค) และในช่วงหลังเก็บเกี่ยวพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช พบว่า ชนิดพืชที่ให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุด คือ แตงร้าน รองลงมาคือ มะระจีน ข้าวโพดหวาน และ ถั่วฝักยาว ตามลำดับ ดังตารางที่ 7 , 8, 9 และ 10

- ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ (extractable potassium)

ผลการศึกษาปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ของดินตัวอย่างในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนการเพาะปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยดินในช่วงก่อนปลูกมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้อยู่ในช่วงระหว่าง 41-155 ppm โดยมีค่าเฉลี่ย 96.02 ppm ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่สูงมาก (ตารางผ-14 ภาคผนวก ค) ส่วนดินในช่วงหลังเก็บเกี่ยว มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้อยู่ในช่วงระหว่าง 10-200 ppm โดยมีค่าเฉลี่ย 73.91 ppm ซึ่งจัดอยู่ในระดับปานกลาง (ตารางผ-30 ภาคผนวก ค) และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของดินในแต่ละตำรับการทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คือ ในช่วง

Copyright by Mahidol University

ก่อนปลูกจะมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้สูงที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 และ 5 โดยมีค่าเป็น 114.19 และ 109.81 ppm รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 4 และที่ 1 โดยมีค่าเป็น 96.18 และ 87.06 ppm และน้อยที่สุดในตำรับการทดลองที่ 3 โดยมีค่าเป็น 72.88 ppm (ตารางผ-45 ภาคผนวก ค) และในช่วงหลังเก็บเกี่ยว พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช พบว่า ชนิดพืชที่ให้ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุด คือ ถั่วฝักยาว รองลงมาคือ ข้าวโพดหวาน แตงร้าน และมะระจีน ตามลำดับ ดังตารางที่ 7, 8, 9 และ 10

- ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ (extractable calcium)

ผลการศึกษาปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ของดินตัวอย่างในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนการเพาะปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยดินในช่วงก่อนปลูก มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้อยู่ในช่วงระหว่าง 1153 – 2808 ppm โดยมีค่าเฉลี่ย 2058.01 ppm (ตารางผ-15 ภาคผนวก ค) ส่วนดินในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้น้อยกว่า 1 ppm (ตารางผ-31 ภาคผนวก ค) และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของดินในแต่ละตำรับการทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คือ ในช่วงก่อนปลูกจะมีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้สูงที่สุดในตำรับการทดลองที่ 1 และ 2 โดยมีค่าเป็น 2367.5 และ 2308.88 ppm ตามลำดับ ส่วนตำรับการทดลองที่ 4, 3 และ 5 มีปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ไม่แตกต่างกัน (ตารางผ-46 ภาคผนวก ค) และในช่วงหลังเก็บเกี่ยว พบว่าปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในแต่ละตำรับการทดลองจะมีค่าลดลงเหลือเพียงน้อยกว่า 1 ppm จึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช พบว่า ชนิดพืชที่ให้ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุด คือ ข้าวโพดหวาน รองลงมาคือถั่วฝักยาว แตงร้านและมะระจีน ตามลำดับ ดังตารางที่ 7, 8, 9 และ 10

- ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ (extractable magnesium)

ผลการศึกษาปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ของดินตัวอย่างในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนการเพาะปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยดินในช่วงก่อนปลูก มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัด

Copyright by Mahidol University

ได้อยู่ในช่วงระหว่าง 36 - 247 ppm โดยมีค่าเฉลี่ย 105.82 ppm (ตารางผ-16 ภาคผนวก ค) ส่วนดินในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้อยู่ในช่วงระหว่าง 53 - 300 ppm โดยมีค่าเฉลี่ย 113.20 ppm (ตารางผ-32 ภาคผนวก ค) และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของดินในแต่ละตำรับการทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คือ ในช่วงก่อนปลูกตำรับการทดลองที่ 2 จะมีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้สูงกว่าตำรับการทดลองที่ 1 โดยมีค่าเป็น 175.88 ppm และ 148.50 ppm ตามลำดับ ส่วนตำรับการทดลองที่ 3, 4 และ 5 มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ไม่แตกต่างกัน (ตารางผ-47 ภาคผนวก ค) ส่วนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้จะมีค่าสูงที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 โดยมีค่าเป็น 215.56 ppm ส่วนตำรับการทดลองที่ 1, 3, 5 และ 4 มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ไม่แตกต่างกัน (ตารางผ-56 ภาคผนวก ค) และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช พบว่า ชนิดพืชที่ให้ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุด คือ แตงร้าน รองลงมาคือ ถั่วฝักยาว ข้าวโพดหวาน และมะระจีน ตามลำดับ ดังตารางที่ 7, 8, 9 และ 10

- ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (cation exchange capacity)

ผลการศึกษาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินตัวอย่างในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนการเพาะปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยดินในช่วงก่อนปลูก มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินอยู่ในช่วงระหว่าง 3.47 - 10.23 meq/100g โดยมีค่าเฉลี่ย 5.96 meq/100g ซึ่งจัดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ (ตารางผ-17 ภาคผนวก ค) ส่วนดินในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินอยู่ในช่วงระหว่าง 3.15 - 9.17 meq/100g โดยมีค่าเฉลี่ย 5.29 meq/100g ซึ่งจัดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ (ตารางผ-33 ภาคผนวก ค) และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของดินในแต่ละตำรับการทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คือ ในช่วงก่อนปลูก ตำรับการทดลองที่ 2 มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูงกว่าตำรับการทดลองที่ 1 โดยมีค่าเป็น 7.77 และ 6.75 meq/100g ส่วนตำรับการทดลองที่ 3, 5 และ4 มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินไม่แตกต่างกัน (ตารางผ-48 ภาคผนวก ค) และในช่วงหลังเก็บเกี่ยวพบว่าค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินในแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช พบว่า ชนิดพืชที่

Copyright by Mahidol University

ให้ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูงที่สุด คือ แตงร้าน รองลงมาคือ ถั่วฝักยาว มะระจีน และข้าวโพดหวาน ตามลำดับ ดังตารางที่ 7 , 8, 9 และ 10

- ความอิ่มตัวด้วยด่างของดิน (Base Saturation)

ผลการศึกษาความอิ่มตัวด้วยด่างของดินตัวอย่างในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนการเพาะปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยดินในช่วงก่อนปลูก มีความอิ่มตัวด้วยด่างของดินอยู่ในช่วงระหว่าง 154.22 - 469.75 % โดยมีค่าเฉลี่ย 279.27% ซึ่งจัดอยู่ในระดับสูงมาก (ตารางผ-18 ภาคผนวก ค) ส่วนดินในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมีค่าความอิ่มตัวด้วยด่างของดินอยู่ในช่วงระหว่าง 164.03 - 434.3 % โดยมีค่าเฉลี่ย 276.39% ซึ่งจัดอยู่ในระดับสูงมาก (ตารางผ-34 ภาคผนวก ค) และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของดินในแต่ละตำรับการทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คือ ในช่วงก่อนปลูก ตำรับการทดลองที่ 4 มีค่าความอิ่มตัวด้วยด่างของดินสูงที่สุด โดยมีค่าเป็น 318.11% ส่วนตำรับการทดลองที่ 3, 5 และ1 มีความอิ่มตัวด้วยด่างของดินไม่แตกต่างกัน โดยค่าความอิ่มตัวด้วยด่างของดินจะน้อยที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 (ตารางผ-49 ภาคผนวก ค) ส่วนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว พบว่า ค่าความอิ่มตัวด้วยด่างของดินในแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช พบว่า ชนิดพืชที่มีผลทำให้ค่าความอิ่มตัวด้วยด่างของดินสูงที่สุด คือ ข้าวโพดหวาน รองลงมาคือ ถั่วฝักยาว มะระจีน และแตงร้าน ตามลำดับ ดังตารางที่ 7 , 8, 9 และ 10

- ปริมาณประจุบวกที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวคอลลอยด์ของดิน (Exchangeable cation)

ผลการศึกษาปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินตัวอย่างในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนการเพาะปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยดินในช่วงก่อนปลูก มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน อยู่ในช่วงระหว่าง 8.36 - 20.18 meq/100g โดยมีค่าเฉลี่ย 14.57 meq/100g ซึ่งจัดอยู่ในระดับสูง (ตารางผ-19 ภาคผนวก ค) มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินอยู่ในช่วงระหว่าง 0.02-2.03 meq/100g โดยมีค่าเฉลี่ย 0.72 meq/100g ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำ (ตารางผ-20 ภาคผนวก ค) มีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้

Copyright by Mahidol University

ของดินอยู่ในช่วงระหว่าง 0.13 - 0.80 meq/100g โดยมีค่าเฉลี่ย 0.32 meq/100g ซึ่งจัดอยู่ในระดับปานกลาง (ตารางผ-21 ภาคผนวก ค) และมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน อยู่ในช่วงระหว่าง 0.10 - 0.44 meq/100g โดยมีค่าเฉลี่ย 0.23 meq/100g ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำ (ตารางผ-22 ภาคผนวก ค)

ส่วนดินในช่วงหลังเก็บเกี่ยว มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินอยู่ในช่วงระหว่าง 9.2-17.8 meq/100g โดยมีค่าเฉลี่ย 12.46 meq/100g ซึ่งจัดอยู่ในระดับสูง (ตารางผ-35 ภาคผนวก ค) มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินอยู่ในช่วงระหว่าง 0.55-2.87 meq/100g โดยมีค่าเฉลี่ย 1.23 meq/100g ซึ่งจัดอยู่ในระดับปานกลาง (ตารางผ-36 ภาคผนวก ค) มีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินอยู่ในช่วงระหว่าง 0.01-0.29 meq/100g โดยมีค่าเฉลี่ย 0.14 meq/100g ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำ (ตารางผ-37 ภาคผนวก ค) และมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน อยู่ในช่วงระหว่าง 0.08 - 0.37 meq/100g โดยมีค่าเฉลี่ย 0.18 meq/100g ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำมาก (ตารางผ-38 ภาคผนวก ค)

เมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของดินในแต่ละตำรับการทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คือ ในช่วงก่อนปลูก มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 รองลงมาคือตำรับการทดลองที่ 1 โดยมีค่าเป็น 15.92 และ 15.88 meq/100g ตามลำดับ ส่วนตำรับการทดลองที่ 3, 4 และ5 มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ผ-50 ภาคผนวก ค) และในช่วงหลังเก็บเกี่ยว พบว่า ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในแต่ละตำรับการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

และปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ พบว่าในช่วงก่อนปลูก ตำรับการทดลองที่ 2 มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมากที่สุด รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 1 โดยมีค่าเป็น 1.30 และ 1.08 meq/100g ตามลำดับ ส่วนตำรับการทดลองที่ 3, 4 และ5 มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินไม่แตกต่างกัน (ตารางผ-51 ภาคผนวก ค) และในช่วงหลังเก็บเกี่ยว พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จะมีมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 โดยมีค่าเป็น 2.06 meq/100g ส่วนตำรับการทดลองที่ 1, 3, 5 และ4 มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินไม่แตกต่างกัน (ตารางผ-57 ภาคผนวก ค)

สำหรับปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน พบว่า ในแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในช่วงก่อนปลูกจะมีมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 5 และ 4 ส่วนตำรับการทดลองที่ 1 และ 3 จะมีปริมาณโพแทสเซียมที่

Copyright by Mahidol University

แลกเปลี่ยนได้ไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ผ-52 ภาคผนวก ค) ส่วนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางผ-58 ภาคผนวก ค)

และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช พบว่า ชนิดพืชที่ให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงที่สุด คือ ถั่วฝักยาว รองลงมาคือ ข้าวโพดหวาน แตงร้าน และมะระจีน ส่วนชนิดพืชที่ให้ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงที่สุด คือ ข้าวโพดหวานและแตงร้าน รองลงมาคือ ถั่วฝักยาวและมะระจีน และชนิดพืชที่ให้ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงที่สุด คือ ข้าวโพดหวาน ส่วนถั่วฝักยาว มะระจีน และแตงร้าน ให้ค่าปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ไม่แตกต่างกัน และชนิดพืชที่ให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงที่สุด คือ ข้าวโพดหวาน รองลงมาคือ แตงร้าน ถั่วฝักยาว และมะระจีน ตามลำดับ ดังตารางที่ 7, 8, 9 และ 10

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนก่อนและหลังการปลูกพืช

Parameter	พื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน (ก่อนปลูก)					$\bar{X}$	Min	Max	S.D.	พื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน (หลังปลูก)					$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
	T1	T2	T3	T4	T5					T1	T2	T3	T4	T5				
W.H.C.(%)	32.94	35.34	27.58	26.18	26.63	29.73	23.55	39.12	4.25	30.66	34.98	26.03	23.68	24.49	27.97	21.69	43.03	4.77
Moisture(%)	6.64	10.29	4.06	3.67	3.52	5.63	0.25	18.53	3.63	10.45	15.09	5.86	5.04	5.86	8.46	2.18	21.9	4.50
pH	6.93	6.78	7.03	7.15	7.09	6.99	6.50	7.40	0.19	7.14	6.97	7.19	7.35	7.26	7.18	6.70	7.50	0.16
O.M.(%)	2.78	3.25	2.10	1.56	1.80	2.30	0.73	4.40	0.73	3.45	4.39	2.75	1.99	2.26	2.97	1.35	5.76	1.12
C/N ratio	11.59	11.57	11.60	11.40	11.62	11.55	10.50	12.28	0.36	11.48	11.81	11.53	11.59	11.56	11.6	10.96	15.92	0.56
Total N (%)	0.14	0.16	0.11	0.08	0.09	0.11	0.04	0.22	0.03	0.17	0.21	0.13	0.10	0.11	0.14	0.07	0.29	0.05
P (ppm)	1233.06	1371.75	971.38	767.50	864	1041.53	673	1867	302.48	1617.06	1847.40	1344.30	903.25	1109.75	1364.35	594	2397	475.74
K (ppm)	87.06	114.19	72.88	96.18	109.81	96.02	41	155	28.75	60.87	101.68	66.31	67.25	73.43	73.91	10	200	29.83
Ca (ppm)	2367.5	2308.88	1854.38	1935.06	1824.25	2058.01	1153	2808	364.77	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Mg (ppm)	148.5	175.88	74.56	68.06	62.12	105.82	36	247	53.16	138.18	215.56	81.12	64.06	67.06	113.20	53	300	61.98
CEC (meq/100g)	6.75	7.77	5.32	4.93	5.04	5.96	3.47	10.23	1.63	5.81	7.38	5.16	3.79	4.33	5.29	3.15	9.17	1.53
Base saturation (%)	266.18	236.31	292.84	318.11	282.92	279.27	154.22	469.75	66.94	266.28	237.74	253.7	339.31	284.94	276.39	164.03	434.3	54.41
Exch. Ca (meq/100g)	15.88	15.92	14.25	13.97	12.82	14.57	8.36	20.18	2.50	13.61	14.83	11.34	11.66	10.87	12.46	9.20	17.80	2.31
Exch. Mg (meq/100g)	1.08	1.30	0.50	0.40	0.33	0.72	0.02	2.03	0.5	1.44	2.06	1.00	0.79	0.86	1.23	0.55	2.87	0.52
Exch. Na (meq/100g)	0.32	0.36	0.33	0.34	0.27	0.32	0.13	0.80	0.11	0.14	0.16	0.14	0.14	0.14	0.14	0.01	0.29	0.05
Exch. K (meq/100g)	0.19	0.30	0.17	0.24	0.26	0.23	0.10	0.44	0.08	0.14	0.24	0.17	0.16	0.20	0.18	0.08	0.37	0.06

Copyright by Kasetsart University

สำนักหอสมุด

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองของสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินในพืชข้าวโพดหวานทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต

Parameter	ข้าวโพดหวาน									
	T1		T2		T3		T4		T5	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
Water holding capacity (%)	33.11	29.53	33.82	32.86	26.58	25.68	26.54	24.44	26.09	24.11
Moisture (%)	6.21	9.35	6.90	16.06	4.08	5.56	2.44	4.69	3.47	6.68
pH	6.93	7.18	6.95	7.13	7.05	7.18	7.10	7.35	7.08	7.23
O.M.(%)	2.91	3.42	2.96	4.06	2.15	2.88	1.35	2.08	1.85	2.52
C/N ratio	11.45	11.68	11.61	11.65	11.87	11.70	11.48	11.77	11.63	11.73
Total N (%)	0.15	0.17	0.65	0.20	0.11	0.14	0.07	0.10	0.09	0.13
CEC (meq/100 g)	7.22	5.59	6.96	6.62	5.58	4.90	4.91	3.64	5.95	4.34
Base Saturation (%)	241	273	254	267	302	272	278	370	239	286
Exchangeable Ca (meq/100g)	15.81	13.34	15.76	14.69	14.74	11.89	12.31	12.18	12.81	10.96
Exchangeable Mg (meq/100g)	0.89	1.50	1.25	1.99	0.70	1.03	0.26	0.92	0.31	0.85
Exchangeable Na (meq/100g)	0.39	0.14	0.30	0.18	0.38	0.13	0.31	0.15	0.27	0.17
Exchangeable K (meq/100g)	0.20	0.18	0.28	0.26	0.17	0.24	0.25	0.22	0.22	0.25
Extractable P (ppm)	1195	1384.5	1288	1789.5	924	1424.5	785	960.8	822	1071.3
Extractable K (ppm)	99.5	73	113.3	91.5	73	76.5	91.5	77.25	92.8	77.25
Extractable Ca (ppm)	2512	< 1	2361	< 1	2164	< 1	1752	< 1	1809	< 1
Extractable Mg (ppm)	176.8	140.25	157.5	203.25	73.8	82.50	54.5	62	57.8	61

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองของสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินในพืชถั่วฝักยาวทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต

Parameter	ถั่วฝักยาว									
	T1		T2		T3		T4		T5	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
Water holding capacity (%)	31.73	31.51	34.86	34.40	28.23	24.58	25.64	22.89	26.80	24.47
Moisture (%)	6.00	10.15	8.68	13.66	2.95	4.47	3.82	4.51	3.68	5.87
pH	7.08	7.20	6.83	6.98	7.08	7.20	7.18	7.38	7.13	7.25
O.M.(%)	2.52	3.48	3.13	4.54	1.85	2.43	1.59	1.93	1.62	2.06
C/N ratio	11.68	11.36	11.54	12.59	11.28	11.46	11.51	11.71	11.72	11.36
Total N (%)	0.13	0.18	0.16	0.20	0.10	0.12	0.08	0.10	0.08	0.11
CEC (meq/100 g)	6.71	5.95	7.35	7.51	4.92	4.59	4.54	3.61	5.12	4.67
Base Saturation (%)	288	284	250	230	319	260	337	357	262	271
Exchangeable Ca (meq/100g)	16.47	15.14	15.92	14.69	14.73	10.59	13.92	11.85	11.86	11.02
Exchangeable Mg (meq/100g)	1.14	1.42	1.26	2.22	0.47	0.95	0.38	0.74	0.34	0.90
Exchangeable Na (meq/100g)	0.34	0.16	0.26	0.17	0.27	0.12	0.31	0.14	0.35	0.13
Exchangeable K (meq/100g)	0.19	0.14	0.24	0.27	0.18	0.15	0.26	0.15	0.31	0.20
Extractable P (ppm)	1046	1561.5	1141	1802.5	953	1226.8	745	848.3	883	1128
Extractable K (ppm)	71	56.75	97	131.75	77.5	60	107.8	66.25	130.5	85.75
Extractable Ca (ppm)	2172	< 1	2430	< 1	1896	< 1	2015	< 1	1795	< 1
Extractable Mg (ppm)	113.3	135.5	178.8	233.75	73.3	79	72.8	63.75	61	72

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองของสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินในพืชมะระจีนทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต

Parameter	มะระจีน									
	T1		T2		T3		T4		T5	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
Water holding capacity (%)	33.00	29.46	36.19	34.94	27.59	25.70	25.79	23.62	26.95	23.93
Moisture (%)	7.18	9.69	12.12	13.11	4.54	6.59	3.74	5.39	2.89	5.67
pH	6.93	7.20	6.68	6.98	7.03	7.20	7.18	7.35	7.13	7.33
O.M.(%)	2.72	2.65	3.56	3.73	2.04	2.45	1.54	1.88	1.72	2.06
C/N ratio	11.66	11.30	11.61	11.46	11.56	11.38	11.52	11.51	11.74	11.64
Total N (%)	0.14	0.14	0.18	0.19	0.10	0.13	0.08	0.10	0.09	0.10
CEC (meq/100 g)	6.38	5.33	8.12	7.07	5.45	5.81	4.52	3.67	4.32	4.17
Base Saturation (%)	257	275	218	242	270	237	337	319	308	289
Exchangeable Ca (meq/100g)	14.79	13.01	15.70	14.96	13.55	11.99	14.13	10.54	12.35	10.64
Exchangeable Mg (meq/100g)	1.08	1.40	1.08	1.85	0.41	0.99	0.38	0.73	0.35	0.90
Exchangeable Na (meq/100g)	0.25	0.14	0.43	0.16	0.37	0.17	0.46	0.13	0.29	0.12
Exchangeable K (meq/100g)	0.19	0.11	0.31	0.20	0.14	0.12	0.22	0.15	0.24	0.17
Extractable P (ppm)	1361	1567.8	1392	1881	937	1338.8	765	839	906	1069.3
Extractable K (ppm)	93	50	111	74.75	59.5	49.25	89.3	58.75	97	69.25
Extractable Ca (ppm)	2304	< 1	2212	< 1	1744	< 1	1968	< 1	1824	< 1
Extractable Mg (ppm)	142.3	132.75	158.5	179	72.8	74.5	71	60	62.8	64.75

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองของสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินในพืชแตงร้านทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต

Parameter	แตงร้าน									
	T1		T2		T3		T4		T5	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
Water holding capacity (%)	33.92	32.14	36.47	37.70	27.93	27.16	26.78	23.79	26.70	25.45
Moisture (%)	7.17	12.61	13.48	17.54	4.65	6.83	4.71	5.60	4.06	5.23
pH	6.80	7.00	6.65	6.83	6.95	7.20	7.15	7.33	7.05	7.28
O.M.(%)	2.99	4.26	3.37	5.23	2.37	3.28	1.77	2.11	2.02	2.43
C/N ratio	11.57	11.61	11.51	11.56	11.69	11.59	11.10	11.38	11.41	11.56
Total N (%)	0.15	0.21	0.17	0.26	0.12	0.17	0.09	0.11	0.10	0.12
CEC (meq/100 g)	6.69	6.39	8.64	8.33	5.33	5.34	5.78	4.28	4.80	4.14
Base Saturation (%)	276	232	221	210	279	244	319	310	321	292
Exchangeable Ca (meq/100g)	16.46	12.99	16.29	15.00	13.99	10.93	15.56	12.10	14.30	10.9
Exchangeable Mg (meq/100g)	1.21	1.46	1.61	2.20	0.43	1.04	0.62	0.80	0.34	0.83
Exchangeable Na (meq/100g)	0.32	0.13	0.47	0.13	0.30	0.16	0.31	0.16	0.21	0.16
Exchangeable K (meq/100g)	0.20	0.15	0.36	0.25	0.20	0.19	0.24	0.16	0.30	0.20
Extractable P (ppm)	1329	1954.5	1664	1916.8	1069	1387	774	965	843	1170.5
Extractable K (ppm)	84.8	63.75	135.5	108.75	81.5	79.50	96.3	66.75	119	61.50
Extractable Ca (ppm)	2481	< 1	2231	< 1	1611	< 1	2004	< 1	1867	< 1
Extractable Mg (ppm)	161.8	144.25	208.8	246.25	78.5	88.5	74	70.5	67	70.5

Copyright by Mahidol University

กล่าวโดยสรุปแล้วเมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนก่อนการเพาะปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า คุณสมบัติของดินในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงก่อนปลูก พิจารณาจาก ค่าความชื้นของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ และปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เหล่านี้ ที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ

การที่ค่าความชื้นของดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักธรรมชาติตามแนวทางเกษตรยั่งยืนในดินร่วนทรายชุดมาบบอน มีแนวโน้มต่อการเพิ่มระดับความชื้นในดิน ทำให้ดินมีการดูดซับน้ำมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในตำรับการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยหมักในอัตราที่มากขึ้นอย่างเช่นตำรับการทดลองที่ 2 จะมีผลทำให้ปริมาณความชื้นในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากปุ๋ยหมักช่วยส่งเสริมให้รากดินจับตัวกันเป็นก้อน ตลอดจนเป็นตัวช่วยให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้น ซึ่งมีผลต่ออัตราการสลายตัวของอินทรียวัตถุตลอดจนกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน(107) นอกจากนี้ความชื้นของดินยังเป็นปัจจัยที่มีผลต่อระบบรากพืชในด้านต่างๆ เช่น การเจริญเติบโตและการกระจายขอบเขตของราก เป็นต้น (108)

ส่วนการที่ดินมีการเปลี่ยนแปลงค่า pH จนอยู่ในระดับที่เป็นกลางระหว่าง 6.5-7.5 จะมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน โดยทำให้กระบวนการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ทั้งประเภทอยู่ร่วมกับพืชและอยู่อย่างอิสระดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะเดียวกันก็มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ต่างๆที่ขับออกมาเพื่อย่อยสลายอินทรียวัตถุโดยจุลินทรีย์อีกด้วย (22) และสภาพกรดด่างของดินยังมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินและบทบาททางกายภาพของดิน (108) นอกจากนี้ยังพบว่า การปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักมีแนวโน้มทำให้ระดับ pH ของดินเพิ่มขึ้นในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากปุ๋ยหมักช่วยเพิ่มความต้านทานการเปลี่ยนแปลงระดับสารเคมีหรือปฏิกิริยาทางเคมีในดิน(buffering capacity) ทำให้ดินสามารถรักษาสมดุลของไอออนที่ถูกดูดซับไว้โดยรอบอนุภาคดินกับไอออนชนิดเดียวกันในสารละลายดินไว้ได้ การเปลี่ยนแปลงสภาพกรดด่างของดินจึงไม่เกิดขึ้นอย่างทันทีจนเป็นอันตรายต่อพืช(106)

และผลจากการใส่ปุ๋ยหมักมีแนวโน้มต่อการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พิจารณาจากค่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจนถึงระดับสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตำรับการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยหมักในอัตราที่มากขึ้นอย่างเช่นตำรับการทดลองที่ 2 ทั้งนี้เนื่องมาจากปุ๋ยหมักจะให้สารปรับปรุงดิน (Soil conditioner) เช่น กรดฮิวมิค ซึ่งสารพวกนี้จะช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินโดยตรง ช่วยส่งเสริมอนุภาคดินให้จับตัวกันเป็นก้อน ทำให้ดินร่วยซุยโครงสร้างของดิน

Copyright by Mahidol University

ดีขึ้น ดินมีความคงทนมากขึ้น การสูญเสียดินจากการไหลบ่าของน้ำจึงลดลง นอกจากนี้ปุ๋ยหมักยังช่วยเพิ่มความจุในการดูดยึดน้ำไว้ในดิน ส่งผลให้น้ำในดินเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชได้มากขึ้น (107) ช่วยกระตุ้นการเพิ่มปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน รวมทั้งช่วยด้านการเปลี่ยนแปลง pH ของดินได้ดี และเนื่องจากดินในบริเวณพื้นที่ศึกษาเป็นดินร่วนทรายชุดมาบบอนที่มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุในดินจึงค่อนข้างเห็นได้ชัดเจนกว่าพื้นที่ซึ่งมีดินเนื้อละเอียด

นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนระหว่างอินทรีย์คาร์บอนกับไนโตรเจนทั้งหมดของพืช(C/N ratio) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 10.50 - 15.92 ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่า C/N ratio ของเซลจุลินทรีย์และอินทรียวัตถุในดินที่มีค่าอยู่ระหว่าง 10 -12 แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยหมักในอัตราที่แตกต่างกันติดต่อกันอย่างต่อเนื่องในดินร่วนทรายชุดมาบบอน มีแนวโน้มที่แสดงให้เห็นว่าภายในบริเวณพื้นที่ศึกษามีปริมาณไนโตรเจนเพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์ดินและทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีไนโตรเจนเหลือปลดปล่อยออกมาสู่สภาพแวดล้อมในรูปของ NH_4^+ โดยกระบวนการ mineralization (106)

ขณะเดียวกันการใส่ปุ๋ยหมักมีแนวโน้มต่อการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดินโดยเฉพาะค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้และปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากปุ๋ยหมักช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดินและช่วยปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนให้เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดินในรูปของ NH_4^+ และNO_3^- กล่าวคือ การใส่ปุ๋ยหมักทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินเพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.04-0.29 เฉลี่ย 0.14% ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยในดินอุดมสมบูรณ์ ที่มีค่าเป็น 0.14% นอกจากนี้ยังพบว่า การใส่ปุ๋ยหมักมีผลต่อการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างเด่นชัด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 594 - 2397 ppm ทั้งนี้อาจเนื่องจากปุ๋ยหมักช่วยป้องกันไม่ให้ฟอสฟอรัสถูกตรึงในดินและช่วยให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ ประกอบกับการเก็บตัวอย่างดินกระทำในช่วงฤดูฝนซึ่งมีปริมาณน้ำในดินสูงทำให้สารประกอบฟอสเฟตต่างๆในดินละลายออกมาได้ง่าย สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแมกนีเซียมในดิน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากแมกนีเซียมในดินส่วนมากอยู่ในรูปที่พืชใช้ได้ยาก อีกทั้งแมกนีเซียมเป็นธาตุรอง ซึ่งพืชต้องการในปริมาณน้อย ดังนั้นการปลูกพืชจึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแมกนีเซียมในดินอย่างเด่นชัด

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ตำรับการทดลองที่ 2 จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าสมบัติของดินไปในทางที่ดีขึ้นสูงที่สุด รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 1 ส่วนตำรับการทดลองที่ 3 , 4 และ 5 ไม่แตกต่างกัน

Copyright by Mahidol University

พิจารณาจากค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ความชื้นในดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณแมกนีเซียมในดิน และความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก เหล่านี้ที่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างตำรับการทดลองเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

และการที่ตำรับการทดลองที่ 2 และ 1 มีการเปลี่ยนแปลงค่าสมบัติของดินสูงที่สุดเนื่องจากตำรับการทดลองดังกล่าว มีการใส่ปุ๋ยหมักในอัตราที่สูงกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ คือ 30 ตัน/ไร่และ 15 ตัน/ไร่ เป็นผลให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินมากที่สุด เนื่องจากปุ๋ยหมักช่วยปรับปรุงสมบัติดินให้ดีขึ้นและมีผลต่ออัตราการสลายตัวของอินทรียวัตถุตลอดจนกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน ส่วนชนิดพืชที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าสมบัติของดินไปในทางที่ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต คือ แตงร้าน ในขณะที่ข้าวโพดหวาน ถั่วฝักยาว และมะระจีนจะมีค่าไม่แตกต่างกัน

จะเห็นได้ว่าการปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักธรรมชาติในอัตราที่แตกต่างกันติดต่อกันอย่างต่อเนื่องตามแนวทางเกษตรยั่งยืนในดินร่วนทรายชุดมาบบอน มีแนวโน้มที่แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินไปในทางที่ดีขึ้น กล่าวคือ ปุ๋ยหมักช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้น การระบายอากาศของดินเพิ่มขึ้น ทำให้ระบบรากของพืชสามารถแผ่กระจายในดินได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการปลดปล่อยสารอินทรีย์ (root exudate) ที่มีประโยชน์ต่อการเพิ่มปริมาณและกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน การใส่ปุ๋ยหมักยังช่วยให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินดีขึ้น ช่วยรักษาความชื้นในดิน และช่วยเพิ่มความต้านทานการเปลี่ยนแปลงสภาพกรดด่างของดิน นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองตลอดจนธาตุอาหารเสริมต่างๆให้แก่ดิน ทำให้พืชและจุลินทรีย์ในดินสามารถนำไปใช้ได้ตลอดระยะเวลาของการเจริญเติบโต

Copyright by Mahidol University

4.2 ความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดิน

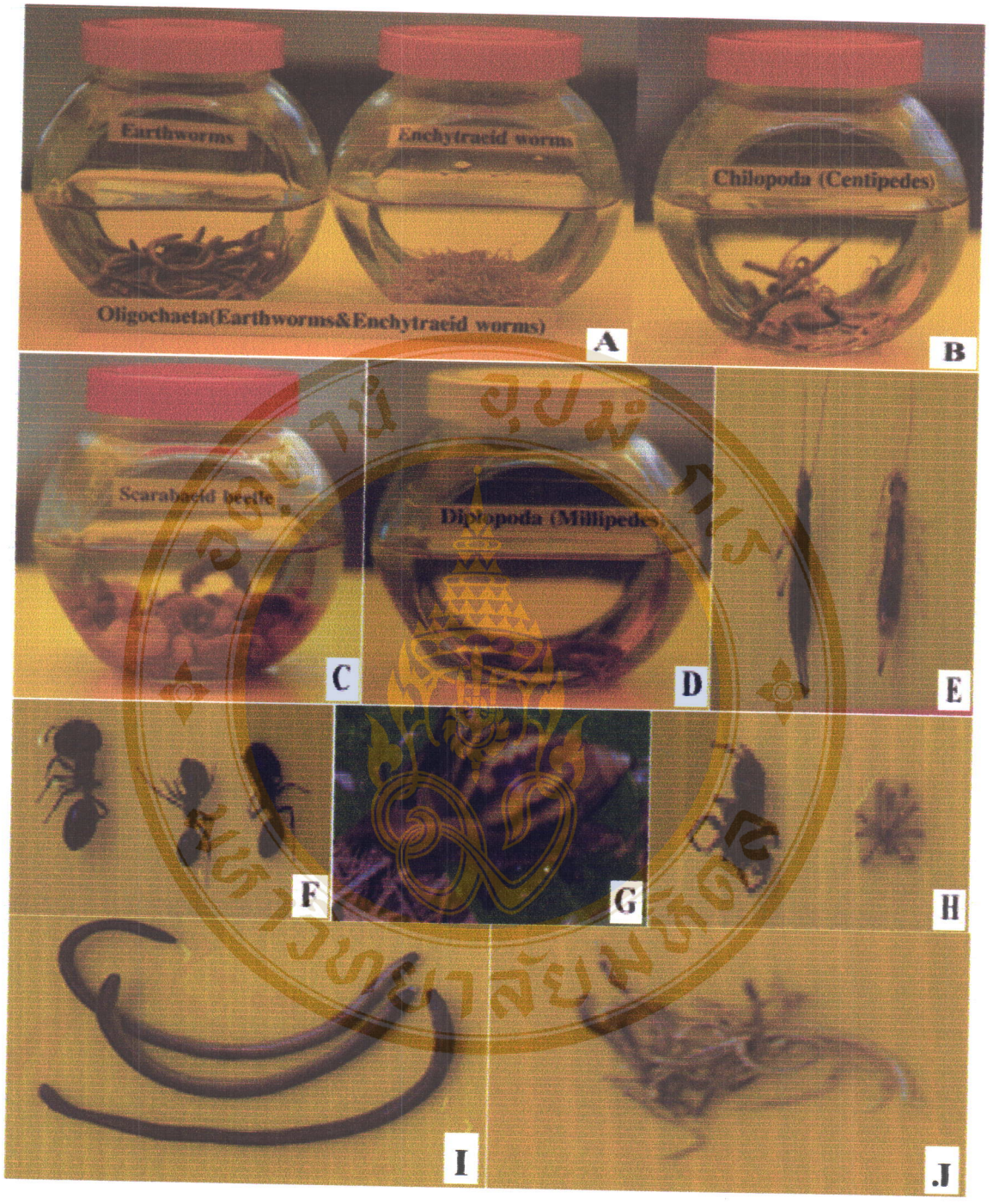
จากการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดิน อันได้แก่ สัตว์ในดิน แมลงเหนือผิวดิน และจุลินทรีย์ดิน ในพื้นที่แปลงสาธิตการศึกษาทดลองซึ่งมีการจัดการด้วยระบบเกษตรยั่งยืน ทั้งในช่วงก่อนการเพาะปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต ให้ผลการศึกษาดังนี้

4.2.1 ความหลากหลายของสัตว์ในดิน

จากการแยกตัวอย่างสัตว์ในดิน พบว่า ในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน มีสัตว์ในดินทั้งตัวเต็มวัยและตัวอ่อน รวมทั้งสิ้น 25833 ตัว 14 ชนิด ได้แก่ ไส้เดือนดิน Enchytraeid worms กิ้งกือ ตะขาบ หอยทาก ตัวอ่อนด้วง มด แมลงกระชอน แมลงหางหนีบ แมลงหางดีด แมลงสาบ แมงมุม ปลวก และตัวสองง่าม เป็นต้น ดังตัวอย่างในภาพที่ 13 โดยพบสัตว์ในดินในช่วงก่อนการเพาะปลูก 9436 ตัว 14 ชนิด และ 16397 ตัว 13 ชนิด ในช่วงหลังเก็บเกี่ยว ส่วนในพื้นที่ใกล้เคียงซึ่งไม่มีการจัดการทางการเกษตร จะพบสัตว์ในดินน้อยมาก โดยพบเพียงชนิดเดียว คือ มด(Formicidae)จำนวน 7 ตัว เท่านั้น

และจากการจำแนกชนิดของสัตว์ในดินที่พบในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ชนิดของสัตว์ในดินที่พบมากและเป็นกลุ่มเด่น ได้แก่ พวก Enchytraeid worms ซึ่งมีอยู่ถึง 94.87% ของจำนวนสัตว์ในดินทั้งหมด รองลงมาได้แก่ ไส้เดือนดิน พวกแมลงกลุ่มต่างๆ และตะขาบ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 11 ส่วนความแตกต่างในด้านความหนาแน่นของสัตว์ในดิน พบว่า ในช่วงก่อนปลูก มีความหนาแน่นของสัตว์ในดิน 54.61 ตัว/ตร.ม. แต่เมื่อดำเนินการทดลองไปจนถึงช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ความหนาแน่นของสัตว์ในดินมีค่าสูงขึ้นเป็น 94.89 ตัว/ตร.ม.

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 13 ตัวอย่างของสัตว์ในดินที่พบในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน

A) Earthworms และ Enchytraeid worms
B) Centipedes (ตะขาบ)
C) ตัวอ่อนของด้วง Scarabaeidae
D) Millipedes (กิ้งกือ)
E) Earwing (แมลงหางหนีบ)
F) Formicidae (มด)
G) Snail (หอยทาก)
H) Araneida (แมงมุม)
I) Earthworms
J) Enchytraeid worms

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 11 ความหนาแน่นของสัตว์ในดินกลุ่มเด่นๆ ที่พบในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน

ชนิด	ก่อนปลูก		หลังเก็บเกี่ยว	
	ความหนาแน่น (ตัว/ตร.ม.)	%	ความหนาแน่น (ตัว/ตร.ม.)	%
Enchytraeid worms	49.58	90.79	92.27	97.23
Earthworms	1.41	2.58	1.48	1.55
Insect	2.4	4.4	0.68	0.72
Centipedes	0.73	1.33	0.22	0.23
Millipedes	0.2	0.37	0.17	0.18
Spider	0.22	0.4	0.08	0.08
Snail	0.07	0.13	0.01	0.01
รวม	54.61	100	94.89	100

และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองและชนิดพืช ในช่วงก่อนการเพาะปลูก พบว่า ตำรับการทดลองที่ 2 (ใส่ปุ๋ยหมัก 30 ตัน/ไร่) มีความหนาแน่นของสัตว์ในดินสูงที่สุด คือ 64.67 ตัว/ตร.ม. รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 4 (ใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติ) ตำรับการทดลองที่ 1 (ใส่ปุ๋ยหมัก 15 ตัน/ไร่) ตำรับการทดลองที่ 3 (ใส่ปุ๋ยหมัก 8 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำพืช) และ ตำรับการทดลองที่ 5 (ใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติร่วมกับปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำพืช) โดยมีค่าเป็น 54.14, 53.99, 52.58 และ 47.66 ตัว/ตร.ม. ตามลำดับ ส่วนในช่วงหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ตำรับการทดลองที่ 2 มีความหนาแน่นของสัตว์ในดินสูงที่สุด รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 3 , 1, 4 และ 5 โดยมีค่าเป็น 159.66, 110.65, 98.52, 57.99 และ 47.63 ตัว/ตร.ม. ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 12 และชนิดพืชที่พบสัตว์ในดินมากที่สุด คือ มะระจีน รองลงมาคือ ถั่วฝักยาว แตงร้าน และข้าวโพดหวาน โดยมีความหนาแน่นของสัตว์ในดินเป็น 99.95, 96.83, 92.92 และ 89.86 ตัว/ตร.ม. ตามลำดับ (ตารางที่ 13)

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองของสัตว์ในดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน

ชนิดสัตว์ในดิน	จำนวนสัตว์ในดินที่พบในช่วงก่อนปลูก (ตัว)					Total	Density (ตัว/ม2)	จำนวนสัตว์ในดินที่พบในช่วงหลังเก็บเกี่ยว (ตัว)					Total	Density (ตัว/ม2)
	T1	T2	T3	T4	T5			T1	T2	T3	T4	T5		
Earthworms	35	47	25	60	76	243	1.41	26	33	16	89	91	255	1.48
Enchytraeid worm	1755	2059	1721	1644	1388	8567	49.58	3353	5450	3779	1870	1492	15944	92.27
Millipedes	1	7	1	8	18	35	0.20	4	5	2	2	16	29	0.17
Centipedes	11	7	8	60	41	127	0.73	1	3	0	18	16	38	0.22
Snail	2	2	3	4	1	12	0.07	0	0	1	1	0	2	0.01
Larva beetles	24	37	8	23	27	119	0.69	2	11	7	17	18	55	0.32
Mole cricket	0	0	0	1	2	3	0.02	0	1	1	0	0	2	0.01
Spider	4	11	8	12	3	38	0.22	5	1	4	1	2	13	0.08
Earwing	2	5	0	3	0	10	0.06	2	4	3	1	0	10	0.06
Collembola	0	1	0	2	0	3	0.02	0	0	0	0	0	0	0.00
Termite	4	11	5	8	9	37	0.21	6	8	0	0	2	16	0.09
Blattids	1	0	2	7	23	33	0.19	2	1	2	3	5	13	0.08
Diplurans	0	1	1	3	0	5	0.03	0	1	0	0	0	1	0.01
Ants	27	47	35	36	59	204	1.18	4	0	9	2	4	19	0.11
TOTAL	1866	2235	1817	1871	1647	9436	54.61	3405	5518	3824	2004	1646	16397	94.89
Density (ตัว/ม2)	53.99	64.67	52.58	54.14	47.66	54.61		98.52	159.66	110.65	57.99	47.63	94.89	

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชนิดพืชของสัตว์ในดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน

ชนิดสัตว์ในดิน	จำนวนที่พบในช่วงก่อนปลูก (ตัว)				Total	D	จำนวนที่พบในช่วงหลังปลูก (ตัว)				Total	D
	ข้าวโพด	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน			ข้าวโพด	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน		
Earthworms	63	78	49	53	243	1.41	76	67	62	50	255	1.48
Enchytraeid worms	2011	2068	2121	2367	8567	49.58	3762	4073	4214	3895	15944	92.27
Millipedes	11	8	5	11	35	0.20	7	2	6	14	29	0.17
Centipedes	28	21	27	51	127	0.73	10	9	3	16	38	0.22
Snail	5	2	3	2	12	0.07	0	0	0	2	2	0.01
Larva beetles	27	28	25	39	119	0.69	10	8	19	18	55	0.32
Mole cricket	0	0	2	1	3	0.02	0	0	0	2	2	0.01
Spider	7	9	10	12	38	0.22	1	2	5	5	13	0.08
Earwing	4	2	4	0	10	0.06	3	3	2	2	10	0.06
Collembola	2	1	0	0	3	0.02	0	0	0	0	0	0.00
Termite	13	13	5	6	37	0.21	8	6	0	2	16	0.09
Blattids	11	7	6	9	33	0.19	3	2	2	6	13	0.08
Diplurans	1	1	2	1	5	0.03	0	0	0	1	1	0.01
Ants	79	34	62	29	204	1.18	2	11	5	1	19	0.11
รวม	2262	2272	2321	2581	9436	54.61	3882	4183	4318	4014	16397	94.89
Density (ตัว/ม2)	52.36	52.59	53.73	59.75	54.61		89.86	96.83	99.95	92.92	94.89	

เมื่อพิจารณาถึงความหลากหลายของสัตว์ในดินที่ศึกษาครั้งนี้ พบว่า Enchytraeids worm มีจำนวนสูงกว่าสัตว์ในดินชนิดอื่นๆ กล่าวคือ ในช่วงก่อนปลูกมี Enchytraeids worm 49.58 ตัว/ตร.ม. และในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมี 92.27 ตัว/ตร.ม. ซึ่งการที่มี Enchytraeids worm เป็นจำนวนมากอาจเนื่องมาจากในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน มีการนำเทคนิคการปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักธรรมชาติตามแนวทางเกษตรยั่งยืนเข้ามาใช้ ซึ่งปุ๋ยหมักนอกจากจะช่วยปรับปรุงโครงสร้างทางกายภาพของดินแล้ว ยังช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินอีกด้วย ทำให้สภาพของดินเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของ Enchytraeids worm เนื่องจากสัตว์ในดินชนิดนี้ชอบอาศัยอยู่ในพื้นที่ซึ่งมีอินทรียวัตถุมากๆ เช่น ดินอินทรีย์ในป่าและกองปุ๋ยหมัก ซึ่งมีปริมาณความชื้นพอเหมาะ มีการระบายน้ำ การถ่ายเทอากาศ และมีความเป็นกรดต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่ไม่ถูกรบกวนและมีพืชปกคลุมอย่างต่อเนื่องเป็น

Copyright by Mahidol University

เวลานาน(4) เช่นเดียวกับในบริเวณพื้นที่ศึกษา ประกอบกับพฤติกรรมการกินที่เรียบง่าย คือ หากินกับเศษพืช สาหร่ายและราในดิน จึงทำให้พบ Enchytraeids worm ในพื้นที่ศึกษาเป็นจำนวนมากตลอดทั้งปี แต่โดยความสำคัญที่มีต่อดินแล้วจะพบว่า Enchytraeids worm เป็นสัตว์ในดินที่มีส่วนช่วยในกระบวนการย่อยสลายซากพืช ช่วยผลิต fecal pellets และกระตุ้นกิจกรรมระดับสูงในกระบวนการ grazing ของจุลินทรีย์ดิน นอกจากนี้ยังมีบทบาทที่สำคัญในการสร้างชั้นอินทรียวัตถุในดิน ช่วยผสมคลุกเคล้าซากพืชและอินทรียวัตถุในดินและส่งเสริมให้เกิดกระบวนการสร้างสารฮิวมิกในดิน(3)

และการที่พบ Earthworms เป็นสัตว์กลุ่มเด่นรองลงมา อาจเป็นเพราะว่า การเก็บตัวอย่างกระทำในช่วงฤดูฝนจึงได้รับอิทธิพลของความชื้นดินที่พอเหมาะต่อการดำรงชีวิตของไส้เดือนดินและแม้ว่าดินในพื้นที่ศึกษาจะเป็นดินทราย แต่ก็ได้รับการใส่ปูนอย่างสม่ำเสมอ ทำให้มีสารประกอบแคลเซียมอยู่สูงซึ่งจำเป็นต่อการย่อยอาหารของไส้เดือนดิน ดังนั้นการพบ Subclass Oligochaeta ทั้ง Earthworms และ Enchytraeids worm เป็นจำนวนมากในพื้นที่ศึกษาจึงน่าจะเป็นผลดี เนื่องจากไส้เดือนถูกพิจารณาว่าเป็นดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดินและมีบทบาทในการย่อยสลายซากพืช ช่วยเพิ่มการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศในดิน ทำให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารพืชซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน(11) นอกจากนี้ยังพบว่าไส้เดือนดินสามารถเก็บสะสมธาตุที่ก่อให้เกิดมลภาวะต่างๆในความเข้มข้นที่สูงได้ รวมทั้งธาตุโลหะหนัก สารเคมีจากอุตสาหกรรม และสารเคมีทางการเกษตรอื่นๆ ซึ่งจะใช้เป็นเครื่องช่วยติดตามการปนเปื้อนของสารพิษและอาจเป็นประโยชน์ในการเป็นตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดินหรือความยั่งยืนในการเกษตรกรรม (8) สอดคล้องกับการที่พบกิ้งกือเป็นสัตว์กลุ่มเด่นอีกชนิดหนึ่งในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากกิ้งกือชอบอาศัยอยู่ในพื้นที่ซึ่งมีความชื้นและมีอินทรียวัตถุสูงเช่นเดียวกับไส้เดือน จึงเป็นเหตุให้การเพิ่มประชากรของกิ้งกือมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับไส้เดือนดิน

สำหรับการพบสัตว์ในดินจำพวกแมลงทั้งตัวเต็มวัยและตัวอ่อนในปริมาณที่มากรองจากไส้เดือนดิน เนื่องจากแมลงเป็นสัตว์ในดินที่มีความสามารถในการทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งความชื้นของดินได้มากกว่าสัตว์ในดินชนิดอื่นๆ (23) และการที่พบมดหลายชนิดในพื้นที่เพาะปลูก แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างของดินเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากมดเป็นสัตว์ในดินที่มีความสามารถในการบุกเบิกแหล่งที่อยู่อาศัยใหม่ๆ จากพฤติกรรมการขุดมุดดินของมด ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายดินโดยการผสมคลุกเคล้าระหว่างดินบนกับดินล่าง ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นอินทรียวัตถุในดินโดยสัตว์ในดินชนิดอื่น เช่น ไรดินและแมลงหางดีด และเป็นที่น่าสังเกตว่าจะพบสัตว์ในดินจำพวกปลวกควบคู่ไปกับมดเสมอ เนื่องจากปลวกมีความเกี่ยวพันกับมดในแง่ของอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูฝน โดยมดบางชนิดจะอาศัยที่ว่างส่วนหนึ่ง

Copyright by Mahidol University

ของรังปลวกเป็นที่อยู่อาศัยและหากินโดยขับปลวกงานเป็นอาหาร แต่ขณะเดียวกันมดก็ให้สารอาหารที่มีธาตุไนโตรเจนสูงแก่ปลวกและช่วยเฝ้าระวังรักษารังปลวกให้ด้วย(27) นอกจากนี้มดยังเป็นแมลงที่เกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับระบบนิเวศ โดยเฉพาะในสายใยอาหารและมีบทบาทเด่นชัดในการดำรงรักษาไว้ซึ่งความสมดุลตามธรรมชาติ มดเกือบทุกชนิดมีบทบาทเป็นผู้บริโภคหรือที่เรียกว่าตัวห้ำ (Predator) เช่น มดแดง จึงมีประโยชน์ในการควบคุมและลดประชากรของแมลงศัตรูพืชได้ นอกจากนี้มดยังช่วยปรับปรุงโครงสร้างทางกายภาพของดินช่วยให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารและเกิดการทับถมของอินทรียวัตถุบนผิวดิน ซึ่งช่วยสนับสนุนการเจริญเติบโตของพืชอีกด้วย(20) ส่วนปลวกบางชนิดที่ไม่ได้สร้างจอมปลวกแต่อาศัยอยู่ใต้ดิน ก็มีส่วนช่วยในการย่อยสลายซากพืชโดยเฉพาะส่วนที่เป็นกิ่งก้านของซากพืชให้แปรสภาพเป็นชิ้นเล็กๆ ทำให้พวกจุลินทรีย์ดินเข้าทำการย่อยสลายได้ง่ายขึ้นและแปรสภาพเป็นแร่ธาตุในดิน จึงมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการสร้างตัวของดิน(110)

ขณะเดียวกันการที่พบ Coleoptera ทั้งตัวเต็มวัยและตัวอ่อน อาจเป็นเพราะด้วงหลายชนิดชอบอาศัยอยู่ในที่เน่าเปื่อยผุพัง เช่น กองปุ๋ยหมักและมูลสัตว์ อีกทั้งสามารถกินอาหารได้อย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น ตัวอ่อนของScarabaeidae จะอาศัยอยู่ในซากอินทรียวัตถุที่ผิวดินหากินกับซากพืชและส่วนต่างๆของพืช ด้วงบางชนิดเป็นตัวห้ำกินแมลงชนิดอื่นเป็นอาหาร เช่น Carabidae จะกินแมลงหางดีด ไรดิน และไส้เดือนฝอย ส่วน Staphylinidae จะกินแมลงเล็กๆอย่างเช่นพวกเพลี้ยต่างๆ จึงมีบทบาทสำคัญในการควบคุมแมลงศัตรูพืชตามธรรมชาติในพื้นที่เพาะปลูก ขณะเดียวกันก็พบสัตว์ในดินที่หากินกับซากพืชและซากอินทรียวัตถุ อย่างเช่นแมลงสองง่ามและแมลงสามง่ามซึ่งสัตว์ในดินจำพวกนี้ ก็มีบทบาทต่อการย่อยสลายซากพืชเช่นกัน นอกจากนี้สัตว์ในดินจำพวกแมลงหางหนีบ(earwing) ก็เป็นสัตว์ในดินที่พบบ่อยและเป็นสัตว์ที่ส่วนใหญ่เป็นตัวห้ำทำลายไข่และตัวอ่อนของแมลงศัตรูพืชหลายชนิด บางชนิดเป็นพวกกินพืช จึงมีความสำคัญต่อดินโดยทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างห่วงโซ่อาหารบนดินกับในดิน

ส่วนแมลงหางดีด (Collembola) ก็เป็นสัตว์ในดินอีกชนิดหนึ่งที่พบได้ในดินและถือว่าเป็นดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน เนื่องจากพฤติกรรมการหากินกับซากพืชและเชื้อราสาเหตุโรคพืชโดยไม่มีการทำลายเนื้อเยื่อพืช จึงมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมกระบวนการ mineralization ในดินและมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง C/N ratio ในกระบวนการย่อยสลาย (26) แต่จากการศึกษาพบว่าจะไม่ค่อยพบแมลงหางดีดในพื้นที่ศึกษาเท่าไรนัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสภาพของดินอาจยังไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของแมลงหางดีด อีกทั้งวิธีการเก็บตัวอย่างแมลงหางดีดส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีเฉพาะคือ การสร้างหลุมพราง(Pitfall trap) ซึ่งเป็นวิธีการที่ทำได้ยากในพื้นที่เกษตร ประกอบกับการเก็บตัวอย่างกระทำในฤดูฝนทำให้มีน้ำแทรกอยู่ตามช่องว่างเม็ดดินเป็นจำนวนมากซึ่งแมลงหางดีด

Copyright by Mahidol University

จะอาศัยอยู่ตามช่องว่างระหว่างอนุภาคของดิน ดังนั้นถ้าปริมาณน้ำที่เคลือบระหว่างเม็ดดินมีมาก จะส่งผลให้จำนวนแมลงชนิดนี้ลดลงตามไปด้วย

นอกจากนี้การที่พบสัตว์ในดินจำพวกตะขาบและแมงมุมเป็นจำนวนมากในพื้นที่ศึกษา ซึ่งสัตว์ในดินทั้งสองชนิดนี้เป็นตัวห้ำของแมลงหางดีดและสัตว์ในดินขนาดเล็กชนิดอื่นๆที่มีบทบาทสำคัญต่อดินอย่างเช่น หมัดไม้และไส้เดือนฝอย และการที่พบแมลงกระชอนอยู่บ้างในบริเวณที่ทำการศึกษาครั้งนี้ จึงบ่งชี้ว่า โครงสร้างทางกายภาพของดินน่าจะมีแนวโน้มดีขึ้น เนื่องจากพฤติกรรมการขุดโพรงของแมลงกระชอนช่วยเพิ่มช่องว่างในการระบายน้ำและอากาศของดิน ส่งเสริมให้เกิดการผสมคลุกเคล้าแร่ธาตุและอินทรียวัตถุในดิน ช่วยให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น ในทางกลับกันการที่พบแมลงสาบในปริมาณค่อนข้างมากในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งสัตว์ในดินชนิดนี้เป็นสัตว์ที่แทบจะไม่มีบทบาทในการย่อยสลายซากพืชเลย และการที่พบตัวอ่อนของ Diptera ในดิน อาจเป็นเพราะว่า ตัวอ่อนของแมลงวันดำรงชีวิตแบบ Saprophyte ซึ่งช่วยคงความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยการแตกสลาย necrotic organic material และเป็นตัวเร่งอัตราการเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์นอกจากนี้อาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับการคัดเลือกแทะเล็มบนเชื้อราอีกด้วย (7)

ขณะเดียวกันการที่พบสัตว์ในดินพวกหอยทากในพื้นที่ศึกษาอาจเป็นเพราะว่าดินในพื้นที่ศึกษาอุดมสมบูรณ์ด้วยสารประกอบแคลเซียม ซึ่งจำเป็นต่อการสร้างเปลือกหอยของหอยทากและหอยทากสามารถสร้างสารเมือกเหนียวๆออกมาขณะที่มันเคลื่อนตัวไปตามพื้นดิน ซึ่งเยื่อเมือกเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อดินโดยทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมอนุภาคของดิน ส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของดินเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น แต่ในขณะเดียวกันเยื่อเมือกที่ขับออกมานี้ จะมีส่วนช่วยพาเอาเชื้อสาเหตุโรคพืชบางชนิด เช่น สปอร์เส้นใยของเชื้อรา รวมทั้งแบคทีเรียสาเหตุโรคพืช ซึ่งปรากฏอยู่ตามส่วนของพืชที่เป็นโรคขณะที่มันเคลื่อนที่ไปกัดกินหรือไปสัมผัสเข้าทำให้เชื้อระบาดไปยังที่อื่นๆตามทางที่มันเคลื่อนที่ผ่านไปอีกด้วย แต่ตัวมันเองไม่จัดเป็นพวกที่ทำให้เกิดโรค(95) ดังนั้นการพบหอยทากในพื้นที่ศึกษา จึงน่าจะเป็นผลดีต่อดินมากกว่า เพราะนอกจากประโยชน์ของเยื่อเมือกที่มีต่อการเชื่อมอนุภาคของดินแล้ว หอยทากยังเป็นตัวห้ำกินแมลงศัตรูพืชขนาดเล็กเป็นอาหารอีกด้วย

นอกจากนี้ได้มีการคำนวณค่า Species richness indices, Species diversity indices และ Species evenness indices ของสัตว์ในดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งพบว่า ในช่วงก่อนปลูกจะพบชนิดของสัตว์ในดินทั้งหมด(N_o) จำนวน 14 ชนิด ในขณะที่ในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมีจำนวน 13 ชนิด ส่งผลให้ค่าความหลากหลายของชนิดสัตว์ในดิน (Species richness indices) ในช่วงก่อนปลูกมีค่าสูงกว่าในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 14 ความหลากหลายของสัตว์ในดินของแต่ละตำรับการทดลองในช่วงก่อนปลูก

ตำรับการทดลอง	จำนวน (ตัว)	ความหนาแน่น (ตัว/ตร.ม.)	λ	H'	R1	R2	N1	N2	E5	J'	H2
T1	1866	53.99	0.8853	0.329	1.3277	0.2546	1.3894	1.1295	0.3325	0.1371	0.1217
T2	2235	64.67	0.8499	0.421	1.4263	0.2538	1.5236	1.1765	0.3371	0.1694	0.1625
T3	1817	52.58	0.8977	0.301	1.3324	0.2580	1.3507	1.1138	0.3246	0.1254	0.1078
T4	1871	54.14	0.7747	0.609	1.7254	0.3236	1.8393	1.2907	0.3463	0.2309	0.2552
T5	1647	47.66	0.7148	0.726	1.3501	0.2710	2.0674	1.3988	0.3736	0.3029	0.3356
รวม	9436	54.61	0.8258	0.487	1.4204	0.1441	1.6279	1.2109	0.3358	0.1846	0.1914

หมายเหตุ : λ = Simpson's index for dominance
H' = Shannon-Wiener diversity index
N_1 = Hill's diversity number of abundant species
N_2 = Hill's diversity number of very abundant species
H_2 = Diversity
R_1 = Margalaef index
R_2 = Menhinick index
E_5 = Hill's ratio
J' = Pielou's evenness

ตารางที่ 15 ความหลากหลายของสัตว์ในดินของแต่ละตำรับการทดลองในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	จำนวน (ตัว)	ความหนาแน่น (ตัว/ตร.ม.)	λ	H'	R1	R2	N1	N2	E5	J'	H2
T1	3405	98.52	0.9697	0.104	1.1066	0.1713	1.1101	1.0311	0.2831	0.0453	0.0307
T2	5518	159.66	0.9755	0.087	1.1606	0.1480	1.0905	1.0250	0.2768	0.0361	0.0247
T3	3824	110.65	0.9766	0.085	1.0910	0.1617	1.0891	1.0239	0.2683	0.0370	0.0236
T4	2004	57.99	0.8728	0.321	1.1837	0.2233	1.3779	1.1456	0.3853	0.1392	0.1359
T5	1646	47.63	0.8250	0.437	1.0801	0.2218	1.5482	1.2121	0.3868	0.1989	0.1923
รวม	16397	94.89	0.9457	0.170	1.2364	0.1015	1.1848	1.0573	0.3102	0.0661	0.0558

หมายเหตุ : λ = Simpson's index for dominance
H' = Shannon-Wiener diversity index
N_1 = Hill's diversity number of abundant species
N_2 = Hill's diversity number of very abundant species
H_2 = Diversity
R_1 = Margalaef index
R_2 = Menhinick index
E_5 = Hill's ratio
J' = Pielou's evenness

Copyright by Mahidol University

จากตารางที่ 14 และ15 แสดงให้เห็นค่าความหลากหลายของสัตว์ในดิน โดยใช้ Margalaef 's index (R_1) และ Menhinick's index (R_2) พบว่า ดัชนีความหลากหลายของชนิดสัตว์ในดินในช่วงก่อนปลูกมีค่าเท่ากับ 1.420 และ 0.144 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดสัตว์ในดินในช่วงหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตที่มีค่าเพียง 1.236 และ 0.101 ตามลำดับ

และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองและชนิดพืชพบว่า ตำรับการทดลองที่ 4 (ใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติ) มีความหลากหลายของชนิดสัตว์ในดินมากกว่าตำรับการทดลองอื่นๆทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต ทั้งนี้อาจเป็นเพราะตำรับการทดลองที่ 4 มีการนำเทคนิคการคลุมดินด้วยเศษพืชและฟางข้าวเข้ามาใช้ ทำให้มีสิ่งป้องกันการระเหยของน้ำออกจากผิวดิน น้ำจึงระเหยได้น้อยแม้ว่าอากาศค่อนข้างร้อน อีกทั้งฟางข้าวยังเป็นแหล่งอาหารและที่หลบซ่อนของสัตว์ในดินหลายชนิด จึงเป็นผลให้พบสัตว์ในดินได้มากกว่า เนื่องจากความชื้นและอุณหภูมิที่ผิวดิน เป็นปัจจัยที่ส่งเสริมการคงอยู่ของสัตว์ในดิน ส่วนชนิดพืชที่มีความหลากหลายของชนิดสัตว์ในดินมากที่สุด คือ แตงร้าน รองลงมาคือข้าวโพดหวาน ถั่วฝักยาว และมะระจีน ตามลำดับ ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ความหลากหลายของสัตว์ในดินของแต่ละชนิดพืชในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

ชนิดพืช	จำนวน (ตัว)	ความหนาแน่น (ตัว/ตร.ม.)	λ	H'	R1	R2	N1	N2	E5	J'	H2
ข้าวโพดหวาน	3882	89.86	0.9395	0.179	1.0890	0.1605	1.1964	1.0643	0.3275	0.0779	0.0623
ถั่วฝักยาว	4183	96.83	0.9483	0.159	1.0792	0.1546	1.1717	1.0544	0.3169	0.0688	0.0530
มะระจีน	4318	99.95	0.9526	0.146	0.9557	0.1369	1.1566	1.0497	0.3172	0.0662	0.0485
แตงร้าน	4014	92.92	0.9417	0.187	1.4462	0.2051	1.2058	1.0618	0.3002	0.0729	0.0599
รวม	16397	94.89	0.9457	0.170	1.2364	0.1015	1.1848	1.0573	0.3102	0.0661	0.0558

หมายเหตุ : λ = Simpson's index for dominance
H' = Shannon-Wiener diversity index
N_1 = Hill's diversity number of abundant species
N_2 = Hill's diversity number of very abundant species
H_2 = Diversity
R_1 = Margalaef index
R_2 = Menhinick index
E_5 = Hill's ratio
J' = Pielou's evenness

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองของแต่ละชนิดพืชในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

Parameter	ข้าวโพดหวาน					ถั่วฝักยาว					มะระจีน					แตงร้าน				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
จำนวน (ตัว)	693	1497	881	364	447	918	1384	899	573	409	934	1393	1029	593	369	860	1244	1015	474	421
ความหนาแน่น (ตัว/ตร.ม.)	80.21	173.26	101.97	42.13	51.74	106.25	160.19	104.05	66.32	47.34	108.10	161.23	119.10	68.63	42.71	99.54	143.98	117.48	54.86	48.73
Species richness indices																				
N0	5	6	3	6	7	5	7	4	7	6	7	4	6	4	7	5	9	8	7	8
R1	0.612	0.684	0.295	0.848	0.983	0.586	0.830	0.441	0.945	0.831	0.877	0.414	0.721	0.470	1.015	0.592	1.123	1.011	0.974	1.158
R2	0.190	0.155	0.101	0.314	0.331	0.165	0.188	0.133	0.292	0.297	0.229	0.107	0.187	0.164	0.364	0.170	0.255	0.251	0.322	0.390
Species diversity indices																				
λ	0.9630	0.9788	0.9775	0.8034	0.8253	0.9655	0.9828	0.9736	0.8994	0.8196	0.9682	0.9758	0.9749	0.9278	0.8145	0.9815	0.9635	0.9804	0.8302	0.8419
H'	0.108	0.074	0.070	0.442	0.413	0.110	0.064	0.083	0.261	0.404	0.107	0.075	0.087	0.191	0.429	0.065	0.119	0.074	0.409	0.431
N1	1.11405	1.07681	1.07251	1.555816	1.51135	1.11628	1.06609	1.08654	1.29823	1.4978	1.11293	1.07788	1.0909	1.21046	1.53572	1.06716	1.12637	1.07681	1.50531	1.5388
N2	1.03842	1.02166	1.02302	1.24471	1.21168	1.03573	1.0175	1.02712	1.11185	1.22011	1.03284	1.0248	1.02575	1.07782	1.22775	1.01885	1.03788	1.01999	1.20453	1.18779
H2	0.0377	0.02143	0.02276	0.218903	0.19201	0.03511	0.01735	0.02675	0.10603	0.19894	0.03232	0.0245	0.02542	0.07494	0.20518	0.01867	0.03718	0.01979	0.18609	0.17209
Species evenness indices																				
E5	0.33689	0.282	0.31745	0.440272	0.41397	0.3073	0.2648	0.31333	0.37506	0.44216	0.29083	0.31842	0.28325	0.36976	0.42512	0.28066	0.29978	0.26029	0.40476	0.34854
J'	0.06710	0.04130	0.06372	0.24668	0.21224	0.06835	0.03289	0.05987	0.13413	0.22548	0.05499	0.05410	0.04856	0.13778	0.22046	0.04039	0.05416	0.03559	0.21018	0.20727

Copyright© by Mahidol University

และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองของแต่ละชนิดพืช พบว่า ตำรับการทดลองที่ 5 ของทุกชนิดพืช จะพบสัตว์ในดินมากที่สุด และจะพบสัตว์ในดินน้อยที่สุดในตำรับการทดลองที่ 3 ของพืชข้าวโพดหวานและถั่วฝักยาว ในตำรับการทดลองที่ 2 ของพืชมะระจีน และในตำรับการทดลองที่ 1 ของพืชแตงร้าน ดังแสดงในตารางที่ 17

และเมื่อใช้ Pielou's evenness (J') และ Hill's diversity ratio (E_5) คำนวณหาค่าความสม่ำเสมอของชนิดสัตว์ในดินตลอดจนการแพร่กระจายของสัตว์ในดินแต่ละชนิด (Species evenness indices) ในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว พบว่า ค่าความสม่ำเสมอของชนิดสัตว์ในดินในช่วงก่อนปลูก มีค่าเท่ากับ 0.1846 และ 0.3358 ตามลำดับ และในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมีค่าเท่ากับ 0.0661 และ 0.3102 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ค่าความสม่ำเสมอของชนิดสัตว์ในดินในช่วงก่อนปลูกจะมีค่าสูงกว่าในช่วงหลังเก็บเกี่ยว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในช่วงก่อนปลูกมีจำนวนชนิดของสัตว์ในดินมากกว่าในช่วงหลังเก็บเกี่ยว ดังแสดงในตารางที่ 14 และ 15

และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองและชนิดพืช พบว่า ตำรับการทดลองที่ 5 มีความสม่ำเสมอของชนิดสัตว์ในดินมากที่สุดทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 4 ส่วนตำรับการทดลองที่ 1 และ 2 ให้ค่าความสม่ำเสมอของชนิดสัตว์ในดินใกล้เคียงกัน และตำรับการทดลองที่ให้ค่าความสม่ำเสมอของชนิดสัตว์ในดินต่ำที่สุด คือ ตำรับการทดลองที่ 3 ส่วนชนิดพืชที่ให้ค่าความสม่ำเสมอของชนิดสัตว์ในดินมากที่สุด คือ ข้าวโพดหวาน ส่วนแตงร้าน ถั่วฝักยาว และมะระจีน จะมีค่าไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 16 สำหรับความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองของแต่ละชนิดพืช พบว่า ในพืชข้าวโพดหวาน จะพบสัตว์ในดินมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 4 ส่วนในพืชถั่วฝักยาวจะพบสัตว์ในดินมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 5 และพบสัตว์ในดินน้อยที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 ส่วนในพืชมะระจีนและแตงร้าน จะพบสัตว์ในดินมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 5 และพบน้อยที่สุดในตำรับการทดลองที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ 17 จะเห็นได้ว่าในตำรับการทดลองที่ 3 ของพืชมะระจีนและแตงร้าน จะพบสัตว์ในดินน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากตำรับการทดลองดังกล่าวมีการใส่ปุ๋ยหมักในอัตราที่ต่ำร่วมกับปุ๋ยเคมี จึงเป็นเหตุให้กิจกรรมของสัตว์ในดินและความหลากหลายของชนิดสัตว์ในดินลดลง เนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมีเป็นปัจจัยที่มีผลในเชิงลบกับปริมาณสิ่งมีชีวิตในดิน

นอกจากนี้ยังมีการคำนวณค่าดัชนีความหลากหลายของสัตว์ในดิน (Species diversity indices) โดยวิธี Shannon wiener diversity index (H') , Simpson's diversity index (λ) และ Hill's diversity index (N_1 และ N_2) ในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว พบว่า ในช่วงก่อนปลูกมีความหลากหลายของสัตว์ในดิน (H') เท่ากับ 0.487 ซึ่งสูงกว่าค่า H'ในช่วงหลังเก็บเกี่ยวที่มีค่าเพียง 0.170 และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองและชนิดพืช พบว่าใน

Copyright by Mahidol University

ช่วงก่อนปลูก ตำรับการทดลองที่ 5 มีค่าความหลากหลายของสัตว์ในดินสูงที่สุด รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 4, 2, 1 และ 3 โดยมีค่าเป็น 0.726 , 0.609, 0.421, 0.329 และ0.301 ตามลำดับ (ตารางที่ 14) ส่วนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว ค่าความหลากหลายของสัตว์ในดินมีค่าสูงสุดในตำรับการทดลองที่ 5 รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 4, 1, 2 และ3 โดยมีค่าเป็น 0.437 , 0.321, 0.104, 0.087 และ0.085 ตามลำดับ (ตารางที่ 15) และชนิดพืชที่มีค่าความหลากหลายของสัตว์ในดินสูงที่สุด คือ แตงร้าน รองลงมาคือ ข้าวโพดหวาน ถั่วฝักยาว และมะระจีน ตามลำดับ (ตารางที่ 16) สำหรับความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองของแต่ละชนิดพืช พบว่า ตำรับการทดลองที่ 5 ของทุกชนิดพืช ยกเว้นข้าวโพดหวาน จะพบสัตว์ในดินมากที่สุด โดยที่ในพืชถั่วฝักยาวและมะระจีน จะพบสัตว์ในดินน้อยที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2

จะเห็นได้ว่าค่าดัชนีความหลากหลายของสัตว์ในดิน จะยิ่งมีค่าสูงขึ้นถ้ามีจำนวนชนิดมากขึ้น และสูงขึ้นเมื่อมีความสม่ำเสมอในการกระจายจำนวนดีขึ้น คือ แต่ละชนิดมีจำนวนพอๆกันนั่นเอง ดังนั้นการที่ค่าดัชนีความหลากหลายของสัตว์ในดินในช่วงก่อนปลูกมีค่าสูงกว่าในช่วงหลังเก็บเกี่ยว จำนวนชนิดไม่น่าจะมีอิทธิพลต่อการสูงขึ้นของค่าดัชนีความหลากหลาย เนื่องจากในช่วงก่อนปลูกมีจำนวน 14 ชนิด และในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมีจำนวน 13 ชนิด ซึ่งจำนวนชนิดไม่ถือว่าแตกต่างกัน ในขณะที่ความสม่ำเสมอในการกระจายจำนวนของสัตว์ในดินแต่ละชนิดมีจำนวนพอๆกัน จึงมีอิทธิพลต่อการสูงขึ้นของค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดสัตว์ในดินได้ดีกว่า ประกอบกับอิทธิพลของปัจจัยแวดล้อมต่างๆ เช่น สภาพภูมิอากาศ คุณสมบัติของดิน ความละเอียดในการเก็บตัวอย่าง ฯลฯ ก็มีผลต่อการพบสัตว์ในดินในปริมาณที่มากและน้อยแตกต่างกันไป

4.2.2 ความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดิน

จากผลการสุ่มตัวอย่างแมลงเหนือผิวดินในแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน โดยใช้กับดักกาวเหนียว (Sticky traps) จำนวน 90 อัน (1 อันมีพื้นที่กับดัก 7.075 ตร.ม.) พบแมลงรวมทั้งสิ้น 2985 ตัว โดยจำแนกเป็น 12 Order คือ Order Araneida มี 1 family จำนวน 15 ตัว Order Odonata มี 1 family จำนวน 8 ตัว Order Orthoptera มี 3 family จำนวน 266 ตัว Order Isoptera มี 1 family จำนวน 75 ตัว Order Dermaptera จำนวน 5 ตัว Order Hemiptera มี 5 family จำนวน 35 ตัว Order Homoptera มี 8 family จำนวน 612 ตัว Order Lepidoptera มี 1 family จำนวน 3 ตัว Order Hymenoptera มี 7 family จำนวน 145 ตัว Order Thysanoptera จำนวน 115 ตัว Order Coleoptera มี 12 family จำนวน 1360 ตัว และ Order Diptera มี 13 family จำนวน 346 ตัว ดังแสดงในตารางที่ 18

Copyright by Mahidol University

และในจำนวนแมลงเหนือผิวดินที่พบในพื้นที่ศึกษาจำนวน 12 Order ดังกล่าวพบว่า แมลงที่เป็นองค์ประกอบหลักของบริเวณพื้นที่ศึกษา คือ แมลงใน Order Coleoptera รองลงมาคือ Order Homoptera Order Diptera และ Order Orthoptera โดยมีความหนาแน่น 2.14, 0.96, 0.54 และ0.42 ตัว/ตร.ม. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 18 และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองและชนิดพืช พบว่า ตำรับการทดลองที่ 4 (ใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติ) มีความหนาแน่นของแมลงมากที่สุด โดยมีค่าเป็น 5.99 ตัว/ตร.ม. รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 2, 5, 3 และ1 โดยมีค่าเป็น 5.28, 4.19, 4.15 และ3.84 ตามลำดับ ส่วนชนิดพืชที่มีความหนาแน่นของแมลงมากที่สุด คือ แตงร้าน รองลงมาคือ ถั่วฝักยาว มะระจีน และข้าวโพดหวาน โดยมีค่าเป็น 5.01, 4.93, 4.29 และ 3.94 ตามลำดับ (ตารางที่ 19)

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 18 ชนิดและปริมาณของแมลงเหนือผิวดินที่พบในแต่ละตำรับการทดลองของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน

ชนิด				จำนวน (ตัว)					รวม	D
Class	Order	Family	Subfamily	T1	T2	T3	T4	T5		
Arachnida	Araneida	Linyphiidae		3	0	4	1	7	15	0.02
Insecta	Odonata	Libellulidae		2	1	0	2	3	8	0.01
	Orthoptera	Acrididae		4	3	2	5	1	15	
		Gryllidae		49	32	34	67	45	227	0.42
		Blattellidae		8	2	5	4	5	24	
	Isoptera	Termitidae		6	21	15	17	16	75	0.12
	Dermaptera			1	1	0	2	1	5	0.01
	Hemiptera	Plataspidae		2	3	4	1	2	12	
		Cydnidae		0	4	0	0	0	4	
		Coreidae		1	1	0	2	1	5	0.05
		Pyrrhocoridae		1	1	1	2	2	7	
		Reduviidae		1	1	1	2	2	7	
	Homoptera	Membracidae		1	1	0	1	0	3	
		Cercopidae		49	37	25	34	35	180	
		Cicadellidae		11	48	8	50	23	140	
		Delphacidae		22	54	16	29	20	141	0.96
		Derbidae		8	24	10	17	15	74	
		Psyllidae		9	12	3	10	6	40	
		Aleyrodidae		3	1	4	5	4	17	
		Aphididae		1	6	4	3	3	17	
	Lepidoptera	Euchromiidae		1	1	1	0	0	3	0
	Hymenoptera	Evanidae		7	5	11	9	6	38	
		Chrysididae		0	1	0	1	0	2	
		Formicidae		0	1	3	2	2	8	
		Scoliidae		18	27	12	15	7	79	
		Vespidae		4	2	3	0	2	11	0.23

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 18 (ต่อ) ชนิดและปริมาณของแมลงเหนือผิวดินที่พบในแต่ละตำรับการทดลองของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน

ชนิด				จำนวน (ตัว)					รวม	D
Class	Order	Family	Subfamily	T1	T2	T3	T4	T5		
	Hymenoptera	Megachilidae		0	0	1	1	2	4	
		Anthophoridae		1	1	0	1	0	3	
	Thysanoptera			14	23	20	30	28	115	0.18
	Coleoptera	Cicindelidae		2	1	0	0	1	4	
		Carabidae		3	0	5	0	3	11	
		Dytiscidae		0	0	1	0	0	1	
		Staphylinidae		15	17	5	6	21	64	
		Scarabaeidae	Dynastinae	1	1	2	4	3	11	
			Melolonthinae	2	1	4	3	2	12	
			Scarabaeinae	1	2	3	3	3	12	
		Elateridae		0	1	1	2	1	5	2.14
		Coccinellidae	Epilachninae	120	207	165	235	140	867	
		Tenebrionidae		3	1	4	3	0	11	
		Bruchidae		9	17	12	11	9	58	
		Chrysomelidae	Galerucinae	14	31	9	20	13	87	
			Halticinae	19	6	25	18	0	68	
			Cassidinae	6	3	0	48	16	73	
		Curculionidae		1	1	2	0	0	4	
		Scolylidae		6	23	15	17	11	72	
	Diptera	Tipulidae		1	2	1	4	0	8	
		Psychodidae		0	2	3	1	3	9	
		Culicidae		6	3	16	7	3	35	
		Chironomidae		3	1	2	0	2	8	0.54
		Tabanidae		0	0	2	1	0	3	
		Dolichopodidae		3	0	0	0	0	3	
		Tephritidae		33	29	38	54	43	197	

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 18 (ต่อ) ชนิดและปริมาณของแมลงเหนือผิวดินที่พบในแต่ละตำรับการทดลองของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน

ชนิด				จำนวน (ตัว)					รวม	D
Class	Order	Family	Subfamily	T1	T2	T3	T4	T5		
	Diptera	Drosophilidae		3	1	7	0	6	17	
		Muscidae		7	2	11	5	9	34	
		Calliphoridae		0	0	0	7	1	8	
		Tachinidae		1	3	4	0	3	11	
		Sarcophagidae		3	3	2	1	0	9	
		Mycetophillidae		0	0	2	0	2	4	
รวมทั้งหมด				489	672	528	763	533	2985	4.69
ความหนาแน่นรวม (ตัว/ตร.ม.)				3.84	5.28	4.15	5.99	4.19	4.69	

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 19ชนิดและปริมาณของแมลงเหนือผิวดินที่พบในแต่ละชนิดพืชของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน

ชนิด				จำนวน (ตัว)				รวม	D
Class	Order	Family	Subfamily	ข้าวโพด	ถั่วฝักยาว	แตงร้าน	มะระจีน		
Arachnida	Araneida	Linyphiidae		1	5	1	8	15	0.02
Insecta	Odonata	Libellulidae		2	4	2	0	8	0.01
	Orthoptera	Acrididae		4	5	3	3	15	0.42
		Gryllidae		45	51	79	52	227	
		Blattellidae		4	7	9	4	24	
	Isoptera	Termitidae		15	30	20	10	75	0.12
	Dermaptera			2	0	3	0	5	0.01
	Hemiptera	Plataspidae		0	8	4	0	12	0.05
		Cydnidae		0	1	1	2	4	
		Coreidae		0	1	3	1	5	
		Pyrrhocoridae		1	4	1	1	7	
		Reduviidae		0	1	2	4	7	
	Homoptera	Membracidae		0	2	1	0	3	0.96
		Cercopidae		12	94	47	27	180	
		Cicadellidae		25	71	30	14	140	
		Delphacidae		10	73	39	19	141	
		Derbidae		54	7	8	5	74	
		Psyllidae		4	12	16	8	40	
		Aleyrodidae		3	7	5	2	17	
		Aphididae		2	9	5	1	17	
	Lepidoptera	Euchromiidae		0	1	2	0	3	0
	Hymenoptera	Evanidae		5	16	16	1	38	0.23
		Chrysididae		0	2	0	0	2	
		Formicidae		1	4	0	3	8	
		Scoliidae		14	12	39	14	79	
		Vespidae		0	5	3	3	11	
		Megachilidae		0	2	1	1	4	

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 19ชนิดและปริมาณของแมลงเหนือผิวดินที่พบในแต่ละชนิดพืชของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน

ชนิด				จำนวน (ตัว)				รวม	D
Class	Order	Family	Subfamily	ข้าวโพด	ถั่วฝักยาว	แตงร้าน	มะระจีน		
		Anthophoridae		0	0	2	1	3	
	Thysanoptera			12	49	33	21	115	0.18
	Coleoptera	Cicindelidae		0	2	1	1	4	2.14
		Carabidae		0	4	4	3	11	
		Dytiscidae		0	0	0	1	1	
		Staphylinidae		11	27	18	8	64	
		Scarabaeidae	Dynastinae	1	3	3	4	11	
			Melolonthinae	2	4	3	3	12	
			Scarabaeinae	2	5	2	3	12	
		Elateridae		0	4	1	0	5	
		Coccinellidae	Epilachninae	68	409	253	137	867	
		Tenebrionidae		2	5	4	0	11	
		Bruchidae		9	33	12	4	58	
		Chrysomelidae	Galerucinae	6	18	59	4	87	
			Halticinae	10	24	29	5	68	
			Cassidinae	18	46	6	3	73	
		Curculionidae		0	4	0	0	4	
		Scolylidae		11	23	32	6	72	
	Diptera	Tipulidae		3	4	1	0	8	0.54
		Psychodidae		5	2	1	1	9	
		Culicidae		4	21	4	6	35	
		Chironomidae		2	3	2	1	8	
		Tabanidae		0	2	1	0	3	
		Dolichopodidae		0	1	0	2	3	
		Tephritidae		35	88	53	21	197	
		Drosophilidae		2	6	7	2	17	
		Muscidae		4	25	4	1	34	

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 19ชนิดและปริมาณของแมลงเหนือผิวดินที่พบในแต่ละชนิดพืชของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน

ชนิด				จำนวน (ตัว)				รวม	D
Class	Order	Family	Subfamily	ข้าวโพด	ถั่วฝักยาว	แตงร้าน	มะระจีน		
	Diptera	Calliphoridae		1	2	4	1	8	
		Tachinidae		5	2	3	1	11	
		Sarcophagidae		1	1	5	2	9	
		Mycetophillidae		0	4	0	0	4	
รวมทั้งหมด				418	1255	887	425	2985	4.69
ความหนาแน่นรวม (ตัว/ตร.ม.)				3.94	4.93	5.01	4.29	4.69	

นอกจากนี้ยังมีการคำนวณค่าความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดิน(Species Richness indices) ในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน โดยใช้ Margalaef 's index (R_1) และ Menhinick's index (R_2) พบว่า ดัชนีความหลากหลายทางด้านชนิดของแมลงเหนือผิวดิน มีค่าเท่ากับ 1.374 และ 0.219 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองและชนิดพืช พบว่า ตำรับการทดลองที่ 1 มีความหลากหลายทางด้านชนิดของแมลงเหนือผิวดินมากกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ โดยมีค่า R_1 และ R_2 เท่ากับ 1.776 และ 0.542 ตามลำดับ รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 5 ซึ่งมีค่าเป็น 1.5927 และ 0.4764 ตามลำดับ ส่วนตำรับการทดลองอื่นๆ จะให้ค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 20) สำหรับชนิดพืชที่พบแมลงเหนือผิวดินมากที่สุด คือ ข้าวโพดหวาน ดังแสดงในตารางที่ 21

และเมื่อใช้ Pielou's evenness (J') และ Hill's diversity ratio (E_5) คำนวณหาค่าความสม่ำเสมอของชนิดแมลงเหนือผิวดิน (Species evenness indices) ในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน พบว่า ค่าความสม่ำเสมอของชนิดแมลงเหนือผิวดิน มีค่าเท่ากับ 0.6036 และ 0.7547 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองและชนิดพืช พบว่า ตำรับการทดลองที่ 5 และ 1 มีความสม่ำเสมอของชนิดแมลงเหนือผิวดินมากที่สุด (ตารางที่ 20) ส่วนชนิดพืชที่ให้ค่าความสม่ำเสมอของชนิดแมลงเหนือผิวดินมากที่สุด คือ มะระจีน รองลงมาคือ ข้าวโพดหวาน แตงร้าน และถั่วฝักยาว ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 21

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดินในแต่ละตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	จำนวน (ตัว)	ความหนาแน่น (ตัว/ตร.ม.)	λ	H'	R1	R2	N1	N2	E5	J'	H2
T1	489	3.84	0.2513	1.563	1.7763	0.5426	4.7715	3.9778	0.7895	0.6288	1.3807
T2	672	5.28	0.3028	1.413	1.5360	0.4243	4.1093	3.3020	0.7403	0.5893	1.1945
T3	528	4.15	0.2866	1.481	1.4356	0.4351	4.3988	3.4886	0.7322	0.6433	1.2495
T4	763	5.99	0.2977	1.428	1.5066	0.3982	4.1706	3.3580	0.7437	0.5955	1.2113
T5	533	4.19	0.2473	1.560	1.5927	0.4764	4.7566	4.0434	0.8101	0.6503	1.3970
Total	2985	4.69	0.2756	1.500	1.3747	0.2196	4.4817	3.6278	0.7547	0.6036	1.2886

หมายเหตุ : λ = Simpson's index for dominance
H' = Shannon-Wiener diversity index
N_1 = Hill's diversity number of abundant species
N_2 = Hill's diversity number of very abundant species
H_2 = Diversity
R_1 = Margalaef index
R_2 = Menhinick index
E_5 = Hill's ratio
J' = Pielou's evenness

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดินในแต่ละชนิดพืช

ชนิดพืช	จำนวน (ตัว)	ความหนาแน่น (ตัว/ตร.ม.)	λ	H'	R1	R2	N1	N2	E5	J'	H2
ข้าวโพดหวาน	418	3.94	0.2239	1.607	1.6568	0.5380	4.9899	4.4649	0.8684	0.6703	1.4962
ถั่วฝักยาว	1255	4.93	0.3073	1.397	1.4015	0.3105	4.0416	3.2536	0.7409	0.5824	1.1797
มะระจีน	425	4.29	0.2489	1.482	1.3218	0.4365	4.401	4.0175	0.8872	0.6744	1.3906
แตงร้าน	887	5.01	0.2872	1.490	1.6205	0.4029	4.4375	3.4815	0.7218	0.5996	1.2474
Total	2985	4.69	0.2756	1.500	1.3747	0.2196	4.4817	3.6278	0.7547	0.6036	1.2886

หมายเหตุ : λ = Simpson's index for dominance
H' = Shannon-Wiener diversity index
N_1 = Hill's diversity number of abundant species
N_2 = Hill's diversity number of very abundant species
H_2 = Diversity
R_1 = Margalaef index
R_2 = Menhinick index
E_5 = Hill's ratio
J' = Pielou's evenness

Copyright by Mahidol University

ส่วนค่าดัชนีความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดิน (Species diversity indices) ในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน ซึ่งคำนวณโดยวิธี Shannon Wiener diversity index (H'), Simpson's diversity index (λ) และ Hill's diversity index (N_1,N_2) พบว่า มีค่าความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดิน (H') เท่ากับ 1.50 และเมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองและชนิดพืช พบว่า ค่าความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดิน มีค่าสูงสุดในตำรับการทดลองที่ 1และที่ 5 และมีค่าน้อยที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 ส่วนชนิดพืชที่มีค่าความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดินมากที่สุด คือ ข้าวโพดหวาน และชนิดพืชที่มีค่าความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดินน้อยที่สุด คือ ถั่วฝักยาว ดังตารางที่ 20 และ 21

และเมื่อพิจารณาถึงความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดินที่พบในพื้นที่ศึกษาครั้งนี้ พบว่า Order Coleoptera (กลุ่มด้วง) ที่พบมากที่สุด จัดอยู่ในวงศ์ Coccinellidae (ด้วงเต่าลาย) รองลงมาคือ วงศ์ Chrysomelidae (ด้วงเต่าทอง/ เต่าแตงแดง) Scolylidae (มอดไม้) และ Staphylinidae (ด้วงก้นกระดก) ซึ่งการที่พบ Family coccinellidae เป็นจำนวนมากถือว่าเป็นผลดีต่อระบบนิเวศ เนื่องจากแมลงในวงศ์นี้เกือบทุก species ทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัย จะกินไข่ของแมลงจำพวกเพลี้ยอ่อน เพลี้ยแป้ง เพลี้ยหอย เพลี้ยไก่ฟ้า แมลงหวี่ขาวและไรแดงเป็นอาหาร ทำให้แมลงศัตรูพืชเหล่านี้ลดน้อยลงไป จึงมีความสำคัญต่อการควบคุมแมลงศัตรูพืชตามธรรมชาติ และแม้ว่าจะพบ Family Chrysomelidae ซึ่งจัดว่าเป็นแมลงศัตรูผักที่สำคัญในปริมาณค่อนข้างมาก แต่ก็พบแมลงตัวห้ำ (Predator) อย่างเช่น Coccinellidae Staphylinidae และ Scolylidae ในจำนวนที่มากกว่าถึง 4 เท่า จึงน่าจะสามารถรักษาความยั่งยืนของระบบนิเวศเกษตรไว้ได้เนื่องจากสัดส่วนของแมลงที่เป็นประโยชน์มีมากกว่าสัดส่วนของแมลงศัตรูทางการเกษตร นอกจากนี้ยังพบด้วงในวงศ์ Carabidae(ด้วงดิน) และ Cicindelidae(ด้วงเสือ) อยู่บ้างในพื้นที่ศึกษา ซึ่งแมลงทั้งสองชนิดนี้จัดว่าเป็นแมลงห้ำเช่นเดียวกัน

ส่วนการที่พบ Order Homoptera (กลุ่มเพลี้ย) และ Order Diptera (พวกแมลงสองปีก) อย่างเช่น วงศ์ Tephritidae (แมลงวันทอง) เป็นจำนวนมากในพื้นที่ศึกษา ซึ่งแมลงทั้ง 2 กลุ่มนี้ทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัยจะดูดกินน้ำเลี้ยงจากยอด ฝักและเมล็ดของแตงร้านและถั่วฝักยาวทำให้ยอดเหี่ยวฝักลีบบิดเบี้ยว จึงจัดว่าเป็นแมลงศัตรูพืชผักที่สำคัญในระบบนิเวศเกษตร แต่ขณะเดียวกันก็พบแมลงใน Order Diptera อย่างเช่นวงศ์ Dolichopodidae (แมลงวันขายาว) Order Orthoptera อย่างเช่นวงศ์ Acrididae (ตั๊กแตนหนวดสั้น) Gryllidae (จิ้งหรีด/แมลงกระชอน) Order Odonata(แมลงปอ) Order Hemiptera อย่างเช่นวงศ์ Reduviidae (มวนเพชฌฆาต) Coreidae(มวนนักกล้าม) Order Dermaptera (แมลงหางหนีบ) Order Hymenoptera อย่างเช่นวงศ์ Formicidae (มดแดง) และ Order Araneida (แมงมุม) เป็นต้น ซึ่งแมลงต่างๆเหล่านี้จัดว่าเป็นแมลงที่มีประโยชน์ทางการเกษตร โดยมีบทบาท

Copyright by Mahidol University

เป็นผู้บริโภค (Secondary consumer) หรือที่เรียกว่าตัวห้ำ กินแมลงขนาดเล็กอย่างเช่น พวกเพลี้ยต่างๆเป็นอาหาร จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมและลดประชากรของแมลงศัตรูพืชได้

นอกจากนี้ยังพบแมลงตัวเบียน(Parasites) อย่างเช่น Order Hymenoptera วงศ์ Scoliidae (ต่อรู) ซึ่งทำหน้าที่เบียนตัวอ่อนของด้วง Scarabaeidae Evanidae(แตนหางธง) ทำหน้าที่เบียนไข่แมลงสาบ และ Order Diptera วงศ์ Tachinidae (แมลงวันก้นขน) ทำหน้าที่เบียนหนอนผีเสื้อ เป็นต้น ซึ่งแมลงตัวเบียนเหล่านี้จะไปอาศัยอยู่ในแมลงศัตรูพืชชนิดอื่นและเข้าทำลายแมลงชนิดนั้นไปพร้อมๆกัน จึงจัดว่าเป็นแมลงที่มีประโยชน์ทางการเกษตร ขณะเดียวกันก็พบพวกแมลงผสมเกสร (Insect as Pollinators) เป็นจำนวนค่อนข้างมากในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ Order Thysanoptera (เพลี้ยไฟ) Order Hymenoptera วงศ์ Vespidae (ต่อรัง) Anthophoridae(ผึ้ง/แมลงภู่) Scoliidae (ต่อรู) และ Order Diptera วงศ์ Tipulidae (แมลงวันแมงมุม) Calliphoridae (แมลงวันหัวเขียว) เป็นต้น ซึ่งแมลงผสมเกสรเหล่านี้ จัดว่าเป็นแมลงที่มีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อระบบนิเวศเกษตร

จึงอาจกล่าวได้ว่า การจัดการทางการเกษตรด้วยระบบเกษตรยั่งยืน มีแนวโน้มทำให้เกิดความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดินเพิ่มมากขึ้น ขณะเดียวกันก็ส่งผลให้พบแมลงที่มีประโยชน์ (Beneficial insects) อย่างเช่น แมลงตัวห้ำ แมลงตัวเบียน และแมลงผสมเกสรเป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถนำแมลงที่มีประโยชน์เหล่านี้ มาใช้ควบคุมสิ่งมีชีวิตต่างๆที่มนุษย์ไม่ต้องการ ซึ่งเรียกว่าการควบคุมโดยชีววิธี (Biological control) เช่น ใช้แมลงควบคุมแมลงศัตรูทางการเกษตร เป็นต้น อย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่ได้ครั้งนี้เป็นข้อมูลเพียงฤดูกาลเดียว คือ ฤดูฝน จึงไม่สามารถสรุปความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงเหนือผิวดินในระบบเกษตรยั่งยืนได้ชัดเจนนัก จึงควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงประชากรของแมลงอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปีต่อไป อีกทั้งการที่ความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดินมีค่าเพิ่มมากขึ้น อาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยหลายๆปัจจัยร่วมกัน เช่น ปัจจัยทางด้านกายภาพของพื้นที่ศึกษา ความแตกต่างของฤดูกาล สมบัติดิน ชนิดของพืชอาศัยและพืชอาหาร เป็นต้น

4.2.3 ความหลากหลายของจุลินทรีย์ดิน

ผลการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินตัวอย่างที่สุ่มเก็บจากบริเวณผิวดิน(ช่วงความลึก0-15ซม.)ในพื้นที่แปลงสาธิตการศึกษาทดลองซึ่งมีการจัดการทางการเกษตรด้วยระบบเกษตรยั่งยืนในพืชผัก กับบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงซึ่งไม่มีการจัดการทางการเกษตร ได้ผลการศึกษาดังนี้คือ

Copyright by Mahidol University

จากการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินตัวอย่างของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินไม่แตกต่างกัน โดยในช่วงก่อนปลูกมีปริมาณแบคทีเรีย แอคติโนมัยสีท และราอยู่ในช่วงระหว่าง $1.00x10^{8}$ - $9.04x10^{10}$, $2.63x10^{7}$ – $4.30x10^{8}$ และ $6.05x10^{5}$ – $1.27x10^{6}$ โคโลนี/กรัมของดิน ตามลำดับ ส่วนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว พบว่า มีปริมาณแบคทีเรีย แอคติโนมัยสีท และราอยู่ในช่วงระหว่าง $1.30x10^{8}$ – $3.55x10^{11}$, $1.61x10^{7}$ – $2.98x10^{8}$ และ $1.80x10^{5}$ – $4.75x10^{5}$ โคโลนี/กรัมของดิน ตามลำดับ สำหรับในพื้นที่ใกล้เคียงซึ่งไม่มีการจัดการทางการเกษตร จะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินค่อนข้างต่ำ โดยมีปริมาณแบคทีเรีย แอคติโนมัยสีท และราเพียง $5.20x10^{7}$, $4.10x10^{6}$ และ$3.50x10^{4}$ โคโลนี/กรัมของดิน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 22 , 23 , 24 และ 25

ตารางที่ 22 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินระหว่างตำรับการทดลองในพืชข้าวโพดหวานทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว

Parameter	ข้าวโพดหวาน									
	T1		T2		T3		T4		T5	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
Fungi (x 10^5 cfu/g drysoil)	6.57	3.63	6.80	2.89	7.57	2.35	12.72	3.27	9.60	3.21
Actinomycetes (x 10^7 cfu/g drysoil)	15.42	29.84	11.70	15.64	2.83	1.63	43.00	21.17	28.75	17.19
Bacteria (x 10^9 cfu/g drysoil)	2.97	160.02	0.91	94.27	0.10	78.34	8.78	327.59	0.196	122.86

ตารางที่ 23 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินระหว่างตำรับการทดลองในพืชถั่วฝักยาวทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว

Parameter	ถั่วฝักยาว									
	T1		T2		T3		T4		T5	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
Fungi (x 10^5 cfu/g drysoil)	6.80	2.22	7.52	2.61	6.42	2.48	6.95	3.74	11.47	4.75
Actinomycetes (x 10^7 cfu/g drysoil)	3.30	11.96	10.55	24.97	15.22	16.43	5.35	8.30	14.42	12.63
Bacteria (x 10^9 cfu/g drysoil)	1.87	219.77	51.10	140.19	0.92	1.87	7.86	155.03	30.53	80.09

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 24 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินระหว่างตำรับการทดลองในพืชมะระจีนทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว

Parameter	มะระจีน									
	T1		T2		T3		T4		T5	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
Fungi (x 10^5 cfu/g drysoil)	6.27	3.50	9.22	4.57	9.50	3.12	7.15	1.80	9.90	2.62
Actinomycetes (x 10^7 cfu/g drysoil)	3.62	26.46	2.63	1.61	18.12	1.86	20.87	21.94	20.23	2.67
Bacteria (x 10^9 cfu/g drysoil)	0.21	7.52	11.34	355.02	1.12	0.13	0.21	222.08	90.47	122.65

ตารางที่ 25 เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินระหว่างตำรับการทดลองในพืชแตงร้านทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว

Parameter	แตงร้าน									
	T1		T2		T3		T4		T5	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
Fungi (x 10^5 cfu/g drysoil)	6.05	2.93	8.87	3.93	9.20	2.55	12.65	3.54	8.20	3.20
Actinomycetes (x 10^7 cfu/g drysoil)	13.78	17.43	11.50	13.48	12.20	2.53	12.09	19.18	18.98	20.71
Bacteria (x 10^9 cfu/g drysoil)	0.31	200.02	0.79	156.34	1.00	205.1	43.13	85.02	26.01	176.12

และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองและชนิดพืช พบว่า ในช่วงก่อนการเพาะปลูก ตำรับการทดลองที่ 5 มีปริมาณแบคทีเรีย และปริมาณแอคติโนมัยสีทั้งหมดในดินมากที่สุด โดยมีค่าเป็น 36.8×10^9 และ 20.59×10^7 โคโลนี/กรัมของดิน ตามลำดับ และตำรับการทดลองที่ 4 มีปริมาณรามากที่สุด คือ 9.86×10^5 โคโลนี/กรัมของดิน และเมื่อดำเนินการทดลองไปจนถึงช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ตำรับการทดลองที่ 4 มีปริมาณแบคทีเรียมากที่สุด คือ 19.74×10^{10} โคโลนี/กรัมของดิน รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 2, 1, 5 และ 3 โดยมีค่าเป็น 18.64×10^{10}, 14.68×10^{10}, 12.54×10^{10} และ 7.13×10^{10} โคโลนี/กรัมของดิน ตามลำดับ และตำรับการทดลองที่ 1 มีปริมาณแอคติโนมัยสีทมากที่สุด คือ 21.42×10^7 โคโลนี/กรัมของดิน ส่วนปริมาณราทั้งหมดในดินพบมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 โดยมีค่าเป็น 3.50×10^5 ดังแสดงในตารางที่ 26 และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช พบว่า แตงร้านและมะระจีน เป็นชนิดพืชที่มี

Copyright by Mahidol University

ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในดินมากที่สุด ส่วนชนิดพืชที่มีปริมาณแอคติโนมัยสีทและราทั้งหมดในดินมากที่สุด คือ ข้าวโพดหวาน

ตารางที่ 26 เปรียบเทียบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินของแต่ละตำรับการทดลองในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต

ตำรับการทดลอง	ก่อนปลูก			หลังเก็บเกี่ยว		
	Bacteria ($x10^6$ cfu/ g drysoil)	Actinomycetes ($x10^7$ cfu/ g drysoil)	Fungi ($x10^5$ cfu/ g drysoil)	Bacteria ($x10^{10}$ cfu/ g drysoil)	Actinomycetes ($x10^7$ cfu/ g drysoil)	Fungi ($x10^5$ cfu/ g drysoil)
T1	1.34	9.03	6.42	14.68	21.42	3.07
T2	16.03	9.09	8.10	18.64	13.92	3.50
T3	0.78	12.09	8.17	7.13	5.61	2.62
T4	14.99	20.32	9.86	19.74	17.64	3.08
T5	36.8	20.59	9.79	12.54	13.3	3.44

จากการเปรียบเทียบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ปริมาณแบคทีเรียและแอคติโนมัยสีททั้งหมดในดิน จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อดำเนินการทดลองไปจนถึงช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต ส่วนปริมาณราทั้งหมดในดินจะมีค่าไม่แตกต่างกันและเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลอง พบว่า ในช่วงก่อนปลูกตำรับการทดลองที่ 5 มีปริมาณแบคทีเรียและแอคติโนมัยสีททั้งหมดในดินมากที่สุดและตำรับการทดลองที่ 4 มีปริมาณราทั้งหมดในดินสูงที่สุด ส่วนตำรับการทดลองที่ 1 และ 3 จะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินน้อยที่สุด สำหรับในช่วงหลังเก็บเกี่ยว พบว่า ตำรับการทดลองที่ 4 มีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในดินมากที่สุดและตำรับการทดลองที่ 1 มีปริมาณแอคติโนมัยสีทมากที่สุด ส่วนปริมาณราทั้งหมดในดินมีค่ามากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 ขณะที่ตำรับการทดลองที่ 3 จะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินน้อยที่สุด

จะเห็นได้ว่าตำรับการทดลองที่ 4 และ 5 ให้ค่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินสูงที่สุด เนื่องจากตำรับการทดลองดังกล่าวมีการใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติและมีการนำเทคนิคการคลุมดินด้วยเศษพืชและฟางข้าวเข้ามาใช้ ทำให้มีสิ่งป้องกันการระเหยของน้ำออกจากผิวดิน จึงสามารถรักษาความชื้นในดินไว้ได้มากกว่าตำรับการทดลองอื่นๆอีกทั้งเศษพืชและฟางข้าวจะมีผลต่อการส่งเสริมกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในดินและช่วยเพิ่มความสมดุลของกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินและลดจำนวนของประชากรเชื้อโรคพืชในดินในระหว่างการย่อยสลายซากพืช ซึ่งเรียกว่า

Copyright by Mahidol University

biological buffering capacity (107) เป็นผลให้ตำรับการทดลองที่ 4 และ 5 มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินมากกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ นอกจากนี้ความชื้นที่ผิวดินยังเป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อการดำรงชีวิตและกิจกรรมต่างๆของเชื้อจุลินทรีย์ ช่วยส่งเสริมความสัมพันธ์ระหว่างระบบรากพืชกับกลุ่มของจุลินทรีย์ดิน ตลอดจนเป็นผลทางอ้อมต่อการระบายอากาศที่ผิวดิน ทำให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีขึ้น (110) ขณะที่ตำรับการทดลองที่ 1 และ 2 ซึ่งมีการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 15 ตัน/ไร่และ30 ตัน/ไร่ ได้ค่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินค่อนข้างใกล้เคียงกัน ส่วนตำรับการทดลองที่ 3 จะมีค่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินน้อยที่สุดทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต ทั้งนี้อาจเป็นเพราะตำรับการทดลองที่ 3 มีการใส่ปุ๋ยหมักในอัตราที่ต่ำร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี จึงเป็นเหตุให้กิจกรรมต่างๆของเชื้อจุลินทรีย์ลดลง เนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมีเป็นปัจจัยที่อาจมีผลในเชิงลบกับปริมาณสิ่งมีชีวิตในดิน

และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างชนิดพืช พบว่า ข้าวโพดหวาน เป็นชนิดพืชที่มีปริมาณแอคติโนมัยสีทและราทั้งหมดในดินมากที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะข้าวโพดหวานเป็นพืชที่มีระบบรากหยั่งลึกลงไปในดินได้น้อย ดังนั้นการแพร่กระจายของรากพืชส่วนใหญ่ จึงจำกัดอยู่ที่บริเวณผิวดินชั้นบน ทำให้มีพื้นที่ผิวเป็นจำนวนมากในการคายคาร์บอนไดออกไซด์และขับอินทรีย์สารหลายชนิดออกมาสู่ดิน (Root exudate) ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้เป็นอาหารและแหล่งพลังงานที่ดีของจุลินทรีย์ดิน เป็นเหตุให้ดินที่อยู่บริเวณใกล้ผิวรากพืช (Rhizosphere soil) จะมีกิจกรรมทางชีวเคมีสูง ช่วยให้ไอออนของธาตุอาหารมาสู่ผิวรากได้เร็วขึ้นและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้มากกว่า(111) ในขณะที่ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในดินจะมีค่ามากที่สุดในพืชมะระจีนและแตงร้าน ซึ่งมีระบบรากใกล้เคียงกัน

จากผลการทดลองดังกล่าวเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตราฐานของจำนวนจุลินทรีย์ต่างๆในดินที่อุดมสมบูรณ์ พบว่า ในดินที่อุดมสมบูรณ์ทั่วไปจะมีปริมาณแบคทีเรีย แอคติโนมัยสีท และราทั้งหมดในดินอยู่ในช่วงระหว่าง 10^8-10^9, 10^7-10^8 และ10^5-10^6 cfu/ กรัมน้ำหนักดินแห้ง (6) ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา แสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยหมักในอัตราที่แตกต่างกันติดต่อกันอย่างต่อเนื่องในดินร่วนทรายชุดมาบบอน เพื่อปลูกพืชผัก 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพดหวาน ถั่วฝักยาว มะระจีน และแตงร้าน ภายใต้การจัดการทางการเกษตรด้วยระบบเกษตรยั่งยืน มีแนวโน้มที่แสดงให้เห็นว่า ดินตัวอย่างมีความอุดมสมบูรณ์เหมาะแก่การทำการเกษตร ขณะเดียวกันก็น่าจะมีความหลากหลายของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มมากขึ้นทั้งนี้เนื่องมาจาก การใส่ปุ๋ยหมักลงไปในดินจะเป็นการเพิ่มแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ดิน ทำให้จุลินทรีย์ดินเพิ่มปริมาณมากขึ้น ขณะเดียวกันกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินก็จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยเฉพาะ

Copyright by Mahidol University

กระบวนการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดิน ได้แก่ กระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุ กระบวนการปลดปล่อยธาตุอาหาร และกระบวนการตรึงไนโตรเจน เป็นต้น (30) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณธาตุอาหารในดินที่เพิ่มขึ้นหลังจากใส่ปุ๋ยหมักลงไปในดิน นอกจากนี้ยังพบว่า การใส่วัสดุปรับปรุงดิน (Soil amendment) เช่น ปูนขาวและภูไมท์ จะมีผลช่วยให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่เป็นประโยชน์นั้นดีขึ้นด้วย โดยเฉพาะกระบวนการปลดปล่อยธาตุอาหาร (Mineralization)จากการเน่าเปื่อยผุพังของอินทรียวัตถุในดิน จะทำให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชถูกปลดปล่อยออกมา

และเมื่อทำการศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ย่อยสลายเศษพืช (Cellulolytic microorganisms) ที่แยกได้จากตัวอย่างดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน พบว่า มีแบคทีเรียในดิน 24 ชนิด (พิจารณาจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการย้อมสี) ดังแสดงในตารางที่ 27 และ ภาพที่ 14 แอคติโนมัยสีทในดิน 3 ชนิด (ตารางที่ 28 และ ภาพที่ 15) และราในดิน 13 ชนิด (ตารางที่ 29 และภาพที่ 16 ,17) และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองและชนิดพืช พบว่า ชนิดของจุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบในแต่ละตำรับการทดลองและแต่ละชนิดพืชไม่แตกต่างกัน

จากการทดลองพบปริมาณแบคทีเรียค่อนข้างสูง จึงมีแนวโน้มที่แสดงให้เห็นว่า ดินตัวอย่างมีความอุดมสมบูรณ์เหมาะแก่การทำการเกษตร ขณะเดียวกันก็มีความหลากหลายของแอคติโนมัยสีทและราค่อนข้างมาก จากการสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรีย พบว่า โคโลนีของแบคทีเรียบางชนิดมีบริเวณใสล้อมรอบบนอาหารเลี้ยงเชื้อ และบางโคโลนีจะปล่อยสารสีน้ำตาลไหม้กระจายรอบโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ นอกจากนี้ยังพบว่า โคโลนีของแบคทีเรียบางชนิดมีรูปร่างไม่แน่นอน โดยมีลักษณะเป็นเมือกใสบางไม่มีสี แต่สามารถสะท้อนแสงได้

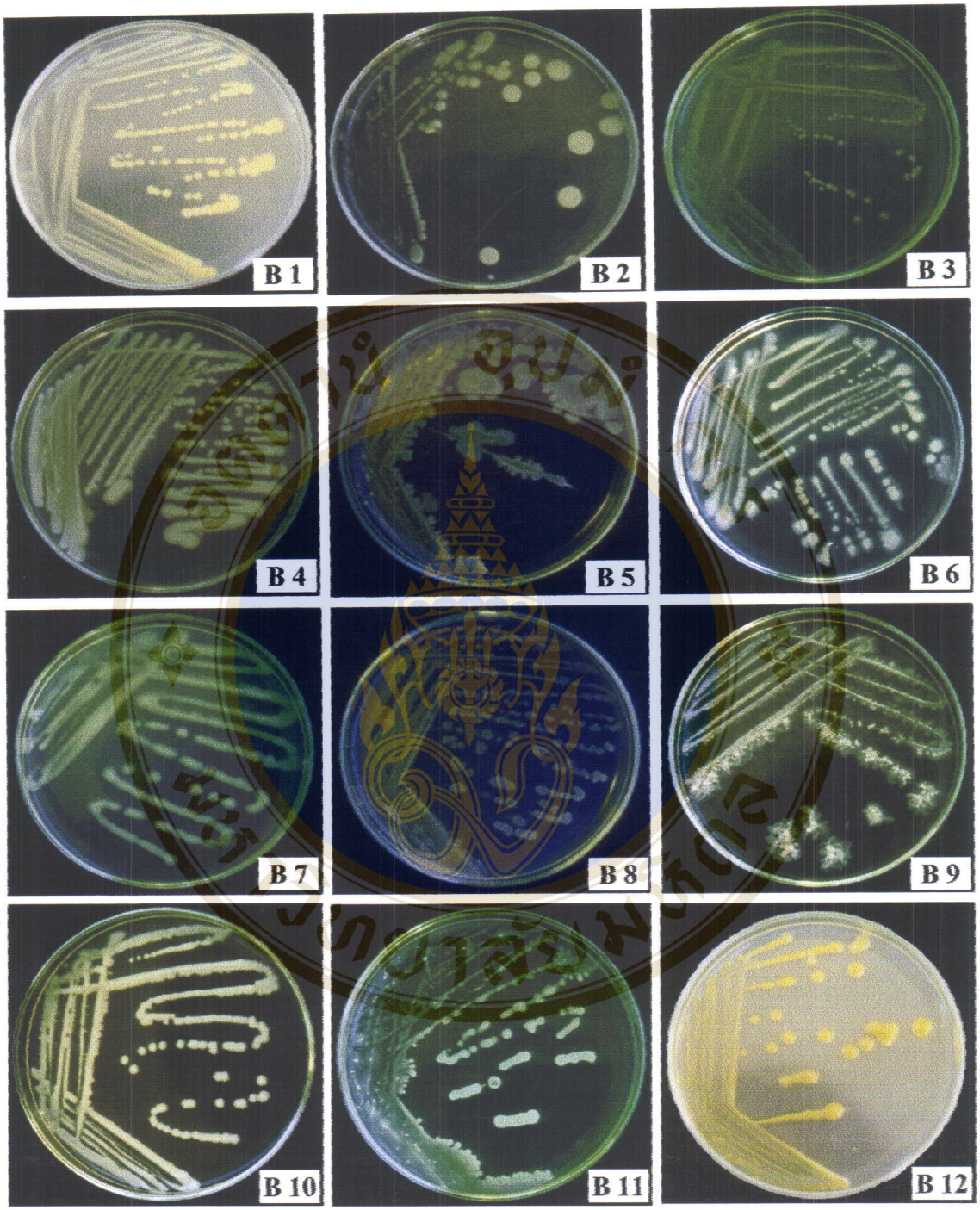
และเมื่อทำการจำแนกชนิดของราและแอคติโนมัยสีทที่พบในดินตัวอย่าง พบว่า ราที่พบในดินส่วนใหญ่จัดเป็นราใน Subdivision Deuteromycotina Class Hyphomycetes โดยเชื้อราที่พบมากที่สุด คือ ราในกลุ่ม *Aspergillus spp.* , *Penicillium spp.* และ *Trichoderma spp.* ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบรา *Geotrichum spp.* อีกด้วย ดังแสดงในภาพที่ 17 ส่วนแอคติโนมัยสีทที่พบในดินตัวอย่างได้แก่ พวก *Streptomyces spp.*

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 27 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียในดินที่พบในพื้นที่ศึกษา

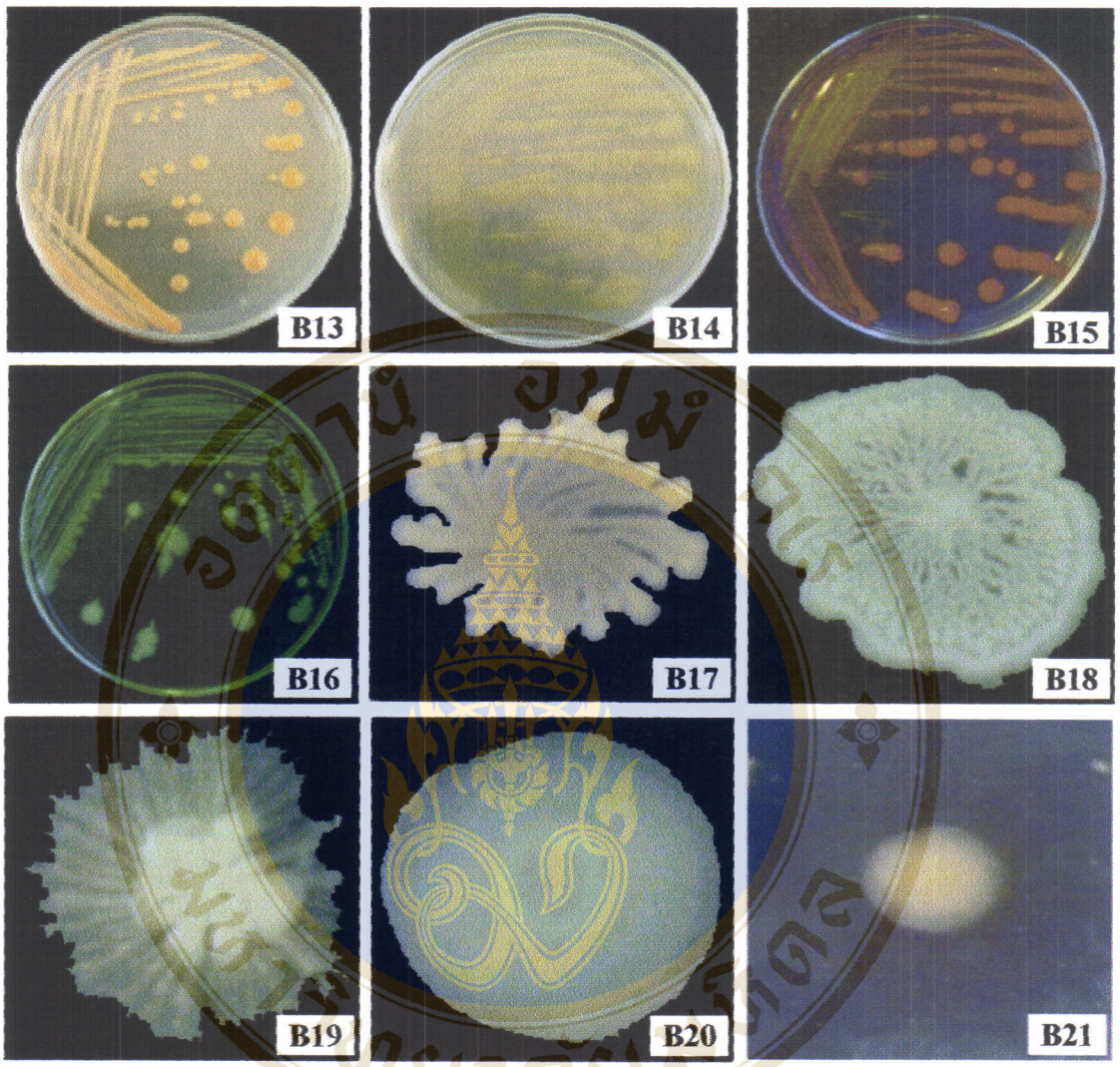
Code	ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียและการย้อมสี						
	รูปลักษณะ	ความนูน	ขอบ	สี	ผิวหน้า	Gram stain	Cell shape
B1	กลม	นูนเล็กน้อย	เรียบ	เหลือง	เรียบ-มันเล็กน้อย	ลบ	rods
B2	กลม	นูนเล็กน้อย	เรียบ	ครีม	เรียบ-มันเล็กน้อย	ลบ	rods
B3	กลม	นูนเล็กน้อย	หยักซื่น	ครีมเหลือง	เรียบมัน	บวก	coccus
B4	เป็นจุดเล็กๆ	นูนเล็กน้อย	เรียบ	ขาวขุ่น	เรียบมัน	ลบ	rods
B5	ไม่แน่นอน	แบนราบ	หยักเป็นลอน	ครีม	แห้ง-มันเล็กน้อย	บวก	coccus
B6	กลม	แบนราบ	เรียบ	ขาวขุ่น	แห้ง-มันเล็กน้อย	บวก	coccus
B7	กลม	นูนเล็กน้อย	เรียบ	ขาวขุ่น-ใส	เหนียวเยิ้มมัน	ลบ	coccus
B8	กลม	โค้งนูน	เรียบ	ขาวขุ่น	แห้ง-มัน	บวก	rods
B9	ไม่แน่นอน	นูนสูง	หยักเป็นลอน	ขาวใส	เหนียวเยิ้ม	ลบ	rods
B10	กลม	นูนเล็กน้อย	เรียบ	ขาวขุ่น	แห้งมัน	ลบ	coccus
B11	ไม่แน่นอน	แบนราบ	หยักเป็นลอน	ขาวขุ่น	แห้งด้าน	บวก	coccus
B12	กลม	นูนเล็กน้อย	เรียบ	เหลืองเข้มขุ่น	เรียบ-มัน	บวก	coccus
B13	กลม	นูนเล็กน้อย	เรียบ	ส้มใส	เรียบ-มัน	ลบ	coccus
B14	กลม	แบนราบ	เรียบ	เหลืองเข้มใส	เหนียวเยิ้มมัน	บวก	coccus
B15	กลม	นูนเล็กน้อย	เรียบ	แดงชมพูเข้ม	มัน	ลบ	coccus
B16	กลม	นูนเล็กน้อย	หยักซื่น	ครีม	มันเล็กน้อย	บวก	coccus
B17	เหมือนรากไม้	นูนเล็กน้อย	เป็นเส้นใย	ครีมเหลือง	เรียบ-มัน	-	-
B18	เหมือนรากไม้	นูนเล็กน้อย	หยักเป็นลอน	ขาวขุ่น	แห้ง-เรียบ	-	-
B19	เส้นใย	นูนตรงกลาง	เป็นเส้นใย	ครีมเหลือง	เหนียวเยิ้มมัน	-	-
B20	กลม	นูนเล็กน้อย	เรียบ	ครีม	เรียบ-มัน	-	-
B21	กลม	นูนเล็กน้อย	เรียบ	น้ำตาลตรงกลางขาวส้ม	แห้งมัน	-	-
B22	เป็นจุดเล็กๆ	นูนเล็กน้อย	เรียบ	ส้มใสตรงกลางส้มเข้ม	มัน	-	-
B23	เป็นจุดเล็กๆ	นูนเล็กน้อย	เรียบ	เหลืองส้มใส	มัน	-	-
B24	กลม	แบนราบ	เรียบ	ใสไม่มีสี	เรียบ-มันวาว	-	-

Copyright by Mahidol University

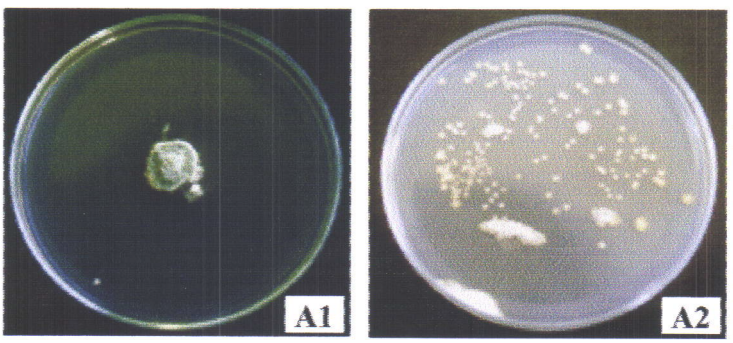


ภาพที่ 14 ลักษณะ Single Colony บนอาหารเลี้ยงเชื้อของแบคทีเรียที่พบในดินตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา หลังจากเพาะบนอาหารเลี้ยงเชื้อ 3 วัน

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 14 (ต่อ) ลักษณะโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อของแบคทีเรียที่พบในดินตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 15 ลักษณะโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อของแอคติโนมัยสีทที่พบในดินตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา

Copyright by Mahidol University

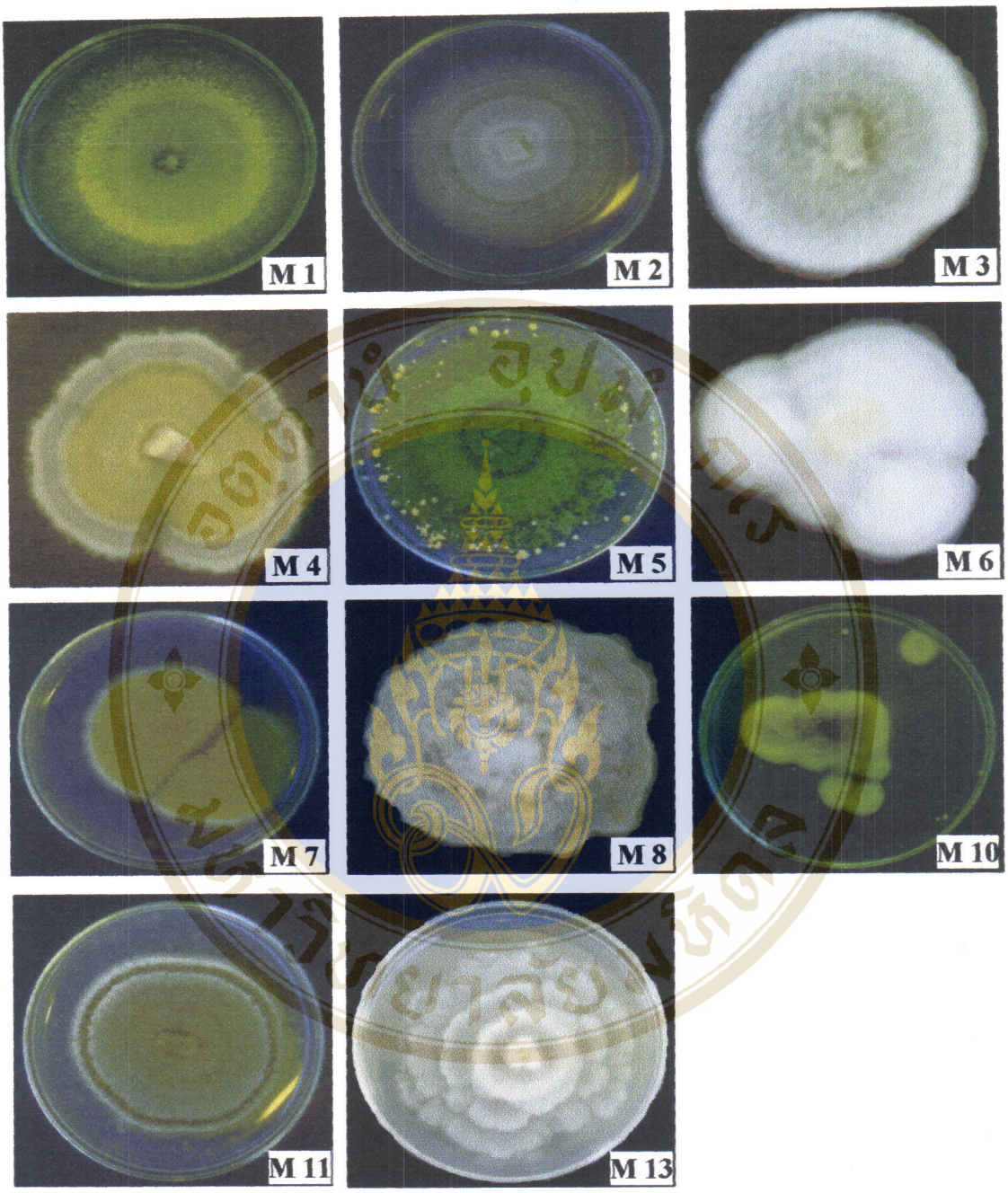
ตารางที่ 28 ลักษณะโคโลนีของแอคติโนมัยสีทในดินที่พบในพื้นที่ศึกษา

Code	ลักษณะโคโลนีของแอคติโนมัยสีท					
	รูปลักษณะ	ความนูน	ขอบ	สี	ผิวหน้า	ชนิด
A1	กลม	นูนเล็กน้อย	เรียบ	ขาว-เขียว	แห้งเหี่ยวย่น-คล้ายหนัง	*Streptomyces spp.*
A2	เป็นจุดเล็กๆ	โค้งนูน	เรียบ	ขาว-เทา	แห้งเหี่ยวย่น-คล้ายหนัง	
A3	กลม	นูนตรงกลาง	หยัก	ขาว-น้ำตาล	แห้งเหี่ยวย่น-คล้ายหนัง	

ตารางที่ 29 ลักษณะโคโลนีและชนิดของราในดินที่พบในพื้นที่ศึกษา

Code	ลักษณะโคโลนีของรา			
	รูปลักษณะ	*สีโคโลนี*	*สีสปอร์*	*ชนิดของรา*
M1	กลม	ขาว	เหลืองเขียว	-
M2	กลม	ขาว	ขาว	*Geotrichum spp.*
M3	กลม	ชมพู-น้ำตาล	ขาวชมพู	*Penicillium spp.*
M4	กลม	ชมพูขาว	ขาวเหลือง	*Aspergillus spp.*
M5	กลม	ขาว	เขียว	*Trichoderma spp.*
M6	กลม	ขาวเหลือง	ขาว	*Penicillium spp.*
M7	กลม	ขาว	น้ำตาลเหลือง	*Aspergillus spp.*
M8	กลม	ขาวน้ำตาล	ส้มน้ำตาล	-
M9	กลมนูน	ขาวครีมเขียว	เขียวเข้ม	*Penicillium spp.*
M10	กลม	เหลือง	ดำ	*Aspergillus spp.*
M11	กลม	ขาว	ดำ-น้ำตาลเข้ม	*Aspergillus spp.*
M12	กลมนูน	ขาวครีมเขียว	ขาวเขียวเทา	*Aspergillus spp.*
M13	กลม	ขาว	ขาว	*Geotrichum spp.*

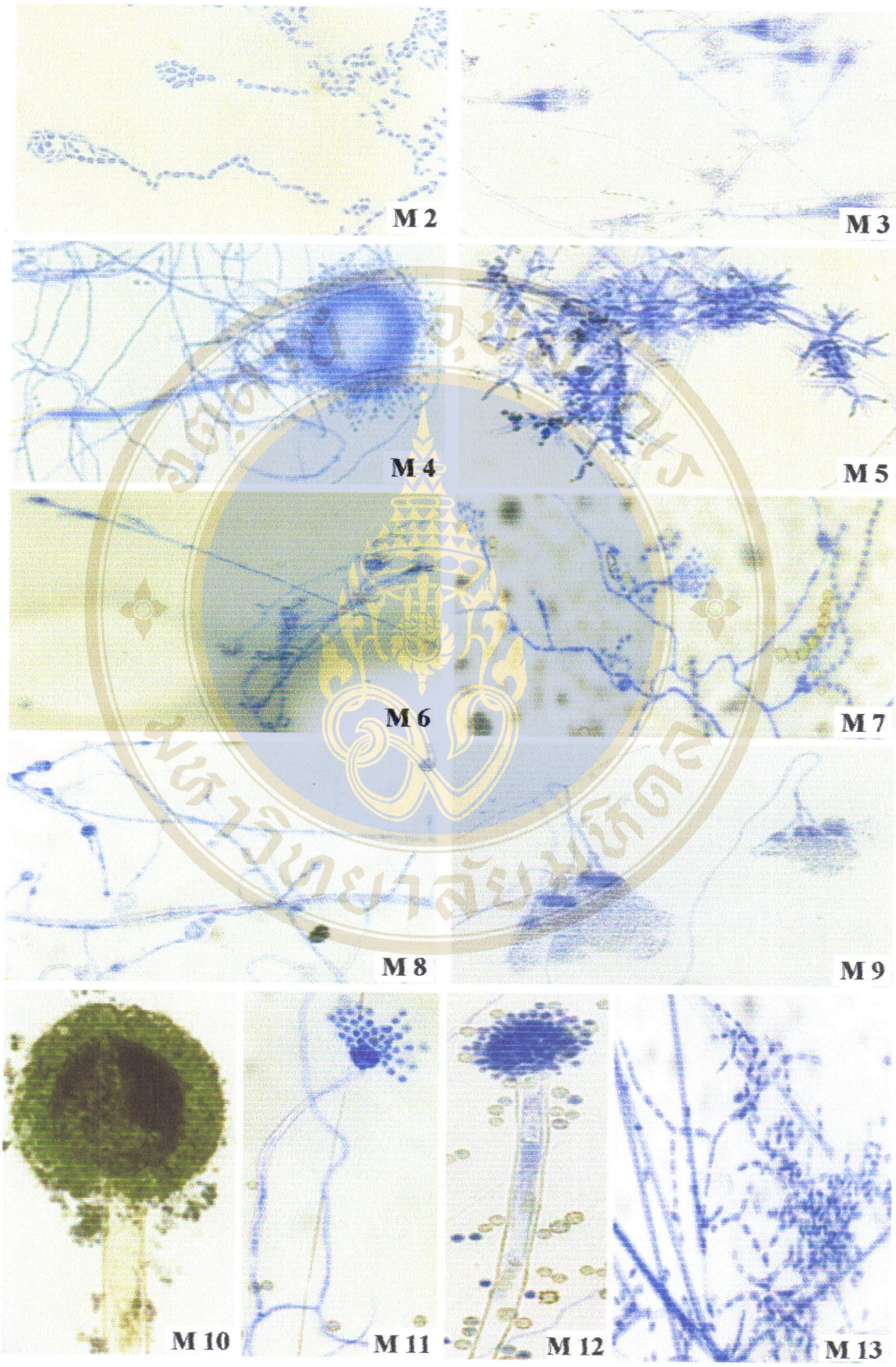
Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 16 ลักษณะโคโลนีของราในดินตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา เมื่อเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ 5 วัน โดย

M1 ไม่ได้จำแนก
M2 *Geotrichum spp.*
M3 *Penicillium spp.*
M4 *Aspergillus spp.*
M5 *Trichoderma spp.*
M6 *Penicillium spp.*
M7 *Aspergillus spp.*
M8 ไม่ได้จำแนก
M10 *Aspergillus spp.*
M11 *Aspergillus spp.*
M13 *Geotrichum spp.*

Copyright by Mahidol University



Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 17 ลักษณะสปอร์ของเชื้อราที่แยกได้จากดินภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า

นอกจากนี้ยังพบว่าราดินที่พบหลายชนิดมีความสำคัญต่อระบบนิเวศโดยสามารถสร้างเอนไซม์ย่อยสลายองค์ประกอบทางเคมีของพืชที่มีโครงสร้างซับซ้อนและย่อยสลายยาก เช่น เซลลูโลส แป้ง และลิกนิน ตัวอย่างเช่น รา *Aspergillus spp.* *Penicillium spp.* และ *Trichoderma spp.* รวมทั้งแอคติโนมัยสีทพวก *Streptomyces spp.* มีรายงานว่า ราในกลุ่มนี้สามารถสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ทำให้เกิดการย่อยสลายของเศษซากพืชที่ย่อยสลายยาก ซึ่งผลจากการย่อยสลายนี้จะมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ กรดอินทรีย์ต่างๆ สารเชื่อมอนุภาคดิน ธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ และซิวมัส คืนสู่ระบบนิเวศ ทำให้ระบบนิเวศเกิดความสมดุลและเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน (100)

ราบางชนิดมีประโยชน์ทางการเกษตรใช้ป้องกันกำจัดโรคพืชโดยชีววิธี ได้แก่ รา *Trichoderma sp.* สามารถสร้างสารปฏิชีวนะ(antibiotic) หรือสารพิษ (toxin) ออกมายับยั้งการเจริญเติบโตและทำลายราสาเหตุโรคพืชที่อยู่ในดินหลายชนิด อย่างเช่น *Pythium* *Phytophthora* *Rhizoctonia* *Sclerotium* และ *Fusarium spp.* เป็นต้น (อ้างใน 112) และรา Trichoderma sp. บางชนิดมีแนวโน้มเข้าทำลายไข่ของแมลงศัตรูพืชในดินพวกไส้เดือนฝอยรากปมได้ดี (113) ราบางชนิดเป็น parasite สามารถเข้าทำลายแมลงต่างๆ ได้แก่ รา *Beauveria bassiana* ราจะสร้างสปอร์ที่มีลักษณะเป็นผงสีขาวคลุมทั่วลำตัวแมลงในOrder Coleoptera Lepidoptera และ Diptera แล้วสร้างสารพิษ muscardine ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเป็นสารชีวภาพกำจัดแมลงต่อไป

รา *Penicillium sp.* สามารถสร้างสารปฏิชีวนะ เช่น Penicillin ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์และทางอุตสาหกรรมได้ นอกจากนี้ *Penicillium sp* ยังช่วยกระตุ้นการเจริญของ *Azotobacter sp.* (จุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศอย่างอิสระและเปลี่ยนเป็นธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้) โดยจะย่อยสลายเซลลูโลสให้เป็นคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลเล็กจำนวนมากซึ่ง Azotobacter จะนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานได้ รา *Aspergillus niger* สามารถสร้างกรดอินทรีย์ ได้แก่ citric, oxalic, gluconic และ galic ที่มีความสำคัญในด้านการแพทย์ การเกษตร และอุตสาหกรรม (112) และจากผลการศึกษายังพบราที่ทำให้เกิดโทษ อย่างเช่น รา *Aspergillus flavus* ซึ่งสามารถสร้างสาร aflatoxin ทำให้มนุษย์ป่วยเป็นโรคตับแข็งและเนื้องอกได้ (114) ขณะเดียวกันราดังกล่าวจัดเป็นราสาเหตุโรคพืชพวก Soil borne fungi ซึ่งทำความเสียหายให้กับพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างเช่นข้าวโพดหวานและถั่วต่างๆ (115)

จะเห็นได้ว่าชนิดของราที่พบในพื้นที่ศึกษามีความน่าสนใจและมีความหลากหลายมาก มีทั้งราที่สร้างปฏิชีวนะสารเอนไซม์ กรดอินทรีย์ เม็ดสี และ metabolic products อื่นๆ ซึ่งอาจนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร, ทางการแพทย์และทางอุตสาหกรรมได้ จึงอาจกล่าวได้ว่า การปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักธรรมชาติตามแนวทางเกษตรยั่งยืน สามารถเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุ

Copyright by Mahidol University

และปริมาณธาตุอาหารต่างๆให้กับดินให้อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชและเพียงพอต่อการดำเนินกิจกรรมของกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน อย่างเช่น *Bacillus spp.*, *Trichoderma spp.* , *Aspergillus spp.* และ *Streptomyces spp.* ซึ่งมีผลทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญของเชื้อสาเหตุโรคพืชในดิน ส่งเสริมพัฒนาการของระบบรากพืชในดินโดยที่อินทรียวัตถุในดินเป็นแหล่งของคาร์บอนและไนโตรเจน รวมทั้งธาตุอาหารอีกหลายชนิดที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต การเพิ่มจำนวนเซลล์และการดำเนินกิจกรรมทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ดิน(107) อย่างไรก็ตามน่าจะมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อความหลากหลายของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งไม่ได้ศึกษาในที่นี้ เช่น อุณหภูมิดิน การถ่ายเทอากาศในดิน ความลึกของดิน ชนิดของพืช สภาพพื้นที่ที่เก็บตัวอย่าง และระบบการจัดการทางการเกษตร เป็นต้น

4.3 ปริมาณของรากพืชและผลผลิตของพืช

4.3.1 ปริมาณของรากพืช

จากการเก็บตัวอย่างพืชเพื่อวิเคราะห์ปริมาณของรากพืชและการแพร่กระจายของรากพืชในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน โดยเก็บข้อมูลความกว้างและความยาวของราก มวลของรากโดยน้ำหนักสดและแห้ง พบว่า ตำรับการทดลองที่ 4 (ใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติ) ของทุกชนิดพืชจะมีความกว้างและความยาวของรากมากที่สุด ดังตารางที่ 30 และภาพที่ 18 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องด้วยสาเหตุหลายปัจจัย ปัจจัยหนึ่งที่น่าจะนำมาพิจารณา คือ สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ซึ่งได้แก่ เนื้อดิน pHของดิน ความชื้นในดิน ปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณธาตุอาหารในดิน เนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของรากพืชโดยตรง โดยเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยแร่ธาตุและกระบวนการหมุนเวียนของธาตุอาหารพืชในดิน ประกอบกับตำรับการทดลองดังกล่าว มีการนำเทคนิคการคลุมดินด้วยเศษพืชและฟางข้าวเข้ามาใช้ ทำให้มีสิ่งป้องกันการระเหยของน้ำออกจากผิวดิน จึงสามารถรักษาความชื้นในดินไว้ได้มากกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ

นอกจากนี้ยังพบว่าการแพร่กระจายของรากพืชในดินยังขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและอายุของพืช กล่าวคือ พืชแต่ละชนิดจะมีการแพร่กระจายของรากพืชได้มากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระบบราก การเจริญเติบโตและการตายของราก ตัวอย่างเช่น ข้าวโพดหวานเป็นพืชที่มีระบบรากหยั่งลึกลงไปในดินได้น้อย ดังนั้นการแพร่กระจายของรากพืชส่วนใหญ่จึงจำกัดอยู่ที่บริเวณผิวดินชั้นบน ทำให้รากพืชมีการแพร่กระจายออกไปทางด้านข้างลำต้นในแนวนอนมากกว่าที่จะหยั่งลงดินตามความลึก ในขณะที่ถั่วฝักยาว มะระจีน และแตงร้าน เป็นพืชที่มีระบบรากใกล้เคียงกัน

Copyright by Mahidol University

การแพร่กระจายของรากส่วนใหญ่ จึงมีลักษณะหยั่งลงดินตามความลึกมากกว่าขยายออกไปทางด้านข้างลำต้นในแนวนอน ประกอบกับในพืชถั่วฝักยาว มะระจีน และแตงร้าน มีการปลูกในลักษณะขึ้นค้างไม้ไผ่ และมีระยะห่างระหว่างต้นค่อนข้างจำกัด จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่จำกัดขอบเขตการแพร่กระจายของรากในแนวนอน

และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองของแต่ละชนิดพืช พบว่า ตำรับการทดลองที่ 2 (ใส่ปุ๋ยหมัก30ตัน/ไร่) ของพืชข้าวโพดหวานและมะระจีน จะมีน้ำหนักสดของรากมากที่สุด ส่วนในพืชถั่วฝักยาวและแตงร้านน้ำหนักสดของรากจะมีมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 5 และ 4 ตามลำดับ และน้อยที่สุดในตำรับการทดลองที่ 1 (ใส่ปุ๋ยหมัก15 ตัน/ไร่) นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำหนักแห้งของรากข้าวโพดหวานและถั่วฝักยาวจะมีมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 5 (ใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติร่วมกับปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำพืช) ส่วนในพืชมะระจีนจะมีน้ำหนักแห้งของรากมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 และในพืชแตงร้าน จะมีน้ำหนักแห้งของรากมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 4 ดังแสดงในตารางที่ 31

ตารางที่ 30 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความกว้างและความยาวของรากในแต่ละตำรับการทดลองของแต่ละชนิดพืช

ตำรับการทดลอง	ความยาวของราก (ซม.)				ความกว้างของราก (ซม.)			
	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน
T_1	30	25	41	40	16	16	11	10
T_2	38	38	46	29	13	20	25	10
T_3	31	23	35	50	12	14	9	10
T_4	49	64	69	65	14	24	21	13
T_5	29	34	60	46	13	18	10	12

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 18 เปรียบเทียบความกว้างและความยาวของรากในแต่ละตำรับการทดลองของแต่ละชนิดพืช

T1 = ใส่ปุ๋ยหมัก 15 ตัน/ไร่

T2 = ใส่ปุ๋ยหมัก 30 ตัน/ไร่

T3 = ใส่ปุ๋ยหมัก 8 ตัน/ไร่ + ปุ๋ยเคมี 1/2ของอัตราแนะนำของพืช

T4 = ใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติ

T5 = ใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติ + ปุ๋ยเคมี 1/2ของอัตราแนะนำของพืช

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 31 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างมวลของรากโดยน้ำหนักสดและแห้งในแต่ละตำรับการทดลองของแต่ละชนิดพืช

ตำรับการทดลอง	น้ำหนักสดของราก (กรัม)				น้ำหนักแห้งของราก (กรัม)			
	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน
T_1	60.15	11.62	15.21	6.71	11.72	1.43	2.42	0.79
T_2	62.59	11.48	19.84	6.40	12.33	1.75	3.19	0.80
T_3	39.63	12.51	13.07	8.67	10.75	2.45	2.34	1.13
T_4	33.31	14.75	17.25	21.81	9.08	2.02	2.59	2.71
T_5	58.07	16.90	12.69	10.27	13.59	2.62	1.99	1.14

จากผลการทดลองดังกล่าวจึงอาจกล่าวได้ว่า การใส่ปุ๋ยหมักในอัตราที่แตกต่างกันแม้จะมีผลทำให้การแพร่กระจายของรากพืช (ความกว้างและความยาวของราก) ค่อนข้างแตกต่างกัน แต่ก็ไม่ทำให้ปริมาณของรากพืชแตกต่างกันมากนัก ขณะเดียวกันความแตกต่างของปริมาณรากพืชในแต่ละตำรับการทดลองยังขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ อย่างเช่น ลักษณะของดินในแต่ละแปลงย่อย ชนิดและปริมาณเชื้อโรคในดิน ความลึกในการเก็บตัวอย่าง และความละเอียดของผู้เก็บตัวอย่าง เป็นต้น

4.3.2 ผลผลิตของพืช

จากการศึกษาผลผลิตของพืชผักในแต่ละตำรับการทดลองในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน พบว่า ตำรับการทดลองที่ 2 (ใส่ปุ๋ยหมัก 30 ตัน/ไร่) มีผลทำให้ผลผลิตของพืชสูงที่สุด รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 5 , 4 , 1 และ 3 โดยมีค่าเป็น 63.63, 60.17, 45.28, 43.14 และ 41.01 กิโลกรัม/แปลง ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองและชนิดพืช พบว่า ตำรับการทดลองที่ 2 และ 5 ของพืชข้าวโพดหวานและมะระจีน จะให้ปริมาณผลผลิตสูงสุด ในขณะที่ตำรับการทดลองที่ 4 (ใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติ) จะให้ปริมาณผลผลิตน้อยที่สุด ส่วนตำรับการทดลองที่ 4 และ 2 ของพืชถั่วฝักยาวจะให้ปริมาณผลผลิตสูงสุด และให้ปริมาณผลผลิตน้อยที่สุดในตำรับการทดลองที่ 3 และในพืชแตงร้านจะให้ปริมาณผลผลิตมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 5 และ 2 และให้ปริมาณผลผลิตน้อยที่สุดในตำรับการทดลองที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ 32

Copyright by Mahidol University

และเป็นที่น่าสังเกตว่า ในพืชข้าวโพดหวานจะมีปริมาณผลผลิตน้อยมาก คือ 9.8 กิโลกรัม/แปลง ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลย้อนหลังของปริมาณผลผลิตข้าวโพดหวานใน crop ก่อนๆ พบว่า มีปริมาณผลผลิตประมาณ 20-30 กิโลกรัม/แปลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเกิดโรคราน้ำค้าง (downy mildew) ระบาดในข้าวโพดหวาน ทำให้ข้าวโพดใบเหลืองและแห้งตาย ต้นโทรมอ่อนแอ และยืนต้นตายเป็นจำนวนค่อนข้างมาก

จะเห็นได้ว่าการใส่ปุ๋ยหมัก 30 ตัน/ไร่ (ตำรับการทดลองที่ 2) และการใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติร่วมกับปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำของพืช (ตำรับการทดลองที่ 5) มีแนวโน้มจะให้ผลผลิตของพืชผักสูงกว่าตำรับการทดลองอื่น ขณะที่การใส่ปุ๋ยหมัก 8 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำของพืช (ตำรับการทดลองที่ 3) จะได้ผลผลิตน้อยที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใส่ปุ๋ยหมักในอัตราที่มากขึ้นและการใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติร่วมกับปุ๋ยเคมี มีผลต่อการปลดปล่อยปริมาณอินทรียวัตถุและธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน จึงมีผลต่อคุณภาพและผลผลิตของพืชผัก และการใส่ปุ๋ยหมักในอัตราที่มากขึ้นมีแนวโน้มจะทำให้คุณภาพของผลผลิตดีขึ้นแต่ยังไม่ชัดเจนนัก อย่างไรก็ตามคุณภาพของผลผลิตอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ เช่น การแพร่ระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืช ระบบการจัดการทางการเกษตร เป็นต้น

ตารางที่ 32 เปรียบเทียบผลผลิตของพืชผัก(กิโลกรัม/แปลง) ในแต่ละตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	ปริมาณผลผลิต (กิโลกรัม / แปลง)				
	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	รวม
T1	9.700	6.024	9.540	17.880	43.140
T2	11.000	7.296	17.860	27.480	63.630
T3	9.450	5.856	9.320	16.390	41.010
T4	7.850	7.728	7.830	21.880	45.280
T5	10.300	6.984	11.770	31.120	60.174
รวม	9.850	6.768	11.268	22.940	50.826

Copyright by Mahidol University

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตในดินกับคุณสมบัติของดิน

จากการศึกษาพบว่าภายหลังที่มีการจัดการทางการเกษตรโดยวิธีการปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักธรรมชาติตามแนวทางเกษตรยั่งยืน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินไปในทางที่ดีขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินดังกล่าวแสดงแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบแปรผันตามกับการเปลี่ยนแปลงความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดิน กล่าวคือ ถ้าคุณสมบัติของดินมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางเพิ่มความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น สิ่งมีชีวิตในดินจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงได้ดังตารางที่ 33

ตารางที่ 33 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินที่มีต่อสัตว์ในดินและจุลินทรีย์ดิน

สมบัติของดิน	สัตว์ในดิน	จุลินทรีย์ดิน
Water holding capacity (%)	+	+
Moisture (%)	+	+
pH	+	+
Organic matter (%)	+	+
C/N ratio	0	+
Total nitrogen (%)	+	+
Available Phosphorus (ppm)	+	+
Extractable Potassium (ppm)	+	+
Extractable Calcium (ppm)	+	+
Extractable Magnesium (ppm)	0	0
C.E.C. (meq/100g)	0	+
Base saturation (%)	+	+
Exchangeable Ca (meq/100g)	+	+
Exchangeable Mg (meq/100g)	+	+
Exchangeable Na (meq/100g)	0	0
Exchangeable K (meq/100g)	0	0

หมายเหตุ : + หมายถึง มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น
0 หมายถึง ไม่เปลี่ยนแปลง
- หมายถึง มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงลดลง

Copyright by Mahidol University

และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตในดินและการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินร่วมกับปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา พบว่า มีปัจจัยด้านคุณสมบัติดินบางประเภทที่แสดงความสัมพันธ์ต่อความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดิน ซึ่งสามารถแยกกล่าวได้ดังนี้คือ

1. ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (water holding capacity)

ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับเนื้อดินและปริมาณอินทรียวัตถุในดิน โดยในดินเนื้อหยาบจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้น้อยกว่าในดินเนื้อละเอียด เนื่องจากมีช่องขนาดใหญ่ระหว่างอนุภาคดินมาก จึงมีพื้นผิวสำหรับดูดซับน้ำและธาตุอาหารพืชได้น้อย ซึ่งการที่ดินมีช่องว่างระหว่างอนุภาคขนาดใหญ่นี้ ทำให้ดินมีอัตราการแทรกซึมน้ำสูงและมีการถ่ายเทอากาศได้ดี จึงเอื้ออำนวยต่อการดำรงชีวิตและกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน และเนื่องจากในพื้นที่ศึกษามีการใส่ปุ๋ยหมักลงไปในดินจึงมีผลช่วยให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงขึ้น

2. ความชื้นในดิน (Soil moisture)

ความชื้นในดินเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการสลายตัวของอินทรียวัตถุและกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน เนื่องจากการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในดินต้องอาศัยน้ำค่อนข้างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งความต้องการฟิล์มของน้ำที่เคลือบบนผิวอนุภาคต่างๆ ซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยที่สำคัญ และแม้ว่าในบริเวณพื้นที่ศึกษาจะเป็นดินร่วนทรายที่มีความชื้นในดินค่อนข้างต่ำ แต่ก็พบจุลินทรีย์ที่มีบทบาทมากในการย่อยสลายอินทรียวัตถุอย่างเช่น เชื้อราและแอคติโนมัยสีท เพราะส่วนใหญ่มีความทนทานต่อสภาพแห้งแล้งได้ดีกว่าแบคทีเรีย(106)

นอกจากนี้ยังพบว่าการปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักธรรมชาติตามแนวทางเกษตรยั่งยืนในพื้นที่เพาะปลูก มีแนวโน้มต่อการเพิ่มระดับความชื้นในดิน ทำให้ดินมีการดูดซับน้ำได้มากขึ้น ซึ่งมีผลต่อระบบรากพืชที่อาจเป็นปัจจัยสนับสนุนให้สิ่งมีชีวิตในดินมีกิจกรรมมากขึ้น ประกอบกับเทคนิคการคลุมดินด้วยฟางข้าวก็มีประสิทธิภาพในการรักษาความชื้นและอุณหภูมิของดินได้ จึงเป็นตัวช่วยเพิ่มจำนวนและความหนาแน่นของสิ่งมีชีวิตในดินได้เป็นอย่างดี

Copyright by Mahidol University

3. สภาพกรดด่างของดิน (Soil pH)

pH ของดินมีบทบาทสำคัญในการควบคุมความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดินและมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของดิน นอกจากนี้ยังเป็นปัจจัยที่มีผลต่อชนิดและปริมาณของสิ่งมีชีวิตในดิน กล่าวคือ จุลินทรีย์ในดินส่วนใหญ่จะเจริญได้ดีในสภาพ pH ที่เป็นกลาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียและแอคติโนมัยสีท จะเจริญได้ดีในช่วง pH ประมาณ 6-8 แต่ถ้า pH เป็นกรดกว่านี้ (pH 4-8) จุลินทรีย์กลุ่มนี้มักจะลดการเจริญลง ในขณะที่เชื้อราซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มักทนกรดได้ดี จะเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณขึ้นมามากกว่าพวกอื่นๆ ขณะที่ไส้เดือนส่วนใหญ่จะเกิดในดินที่มีสภาพเป็นกลางหรือเป็นด่างอ่อนๆ และเนื่องจากในพื้นที่ศึกษามีการใส่ปุ๋ยหมักลงไปในดิน จึงมีผลช่วยให้ดินมีการละลายของแร่ธาตุต่างๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร หรือความเป็นพิษของแร่ธาตุที่ละลายออกมามากเกินไป (Buffering capacity)

4. ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter)

ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน ตลอดจนการเจริญเติบโตของพืช เช่น ช่วยลดการแน่นตัวอันเกิดจากการกระทำของเม็ดฝน ทำให้ดินอุ้มน้ำได้มากขึ้น เป็นแหล่งอาหารของสัตว์ในดินและกลายเป็นธาตุอาหารของพืช (106) ซึ่งปริมาณอินทรียวัตถุในดินนี้ จะมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน กล่าวคือ สัตว์ในดินพวกไส้เดือนดิน มด ปลวก และ แมลงต่างๆ จะเคลื่อนที่ลงไปในดินโดยการขุดคุ้ยและไชชอนทำให้เกิดช่องว่างจำนวนมากในดินที่ส่งผลทำให้ดินมีอัตราการซาบซึมน้ำสูง มีการถ่ายเทอากาศดี การขุดคุ้ยดังกล่าวยังทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายดิน มีการผสมคลุกเคล้าระหว่างดินบนกับดินล่าง มีการเคลื่อนย้ายและคลุกเคล้าอินทรียวัตถุจากผิวดินลงไปในดิน นอกจากนี้การกัดกินแทะเล็มเศษซากพืชซากสัตว์ที่เกิดขึ้นจะทำให้ชิ้นส่วนอินทรียวัตถุมีขนาดเล็กลง มีพื้นที่ผิวสัมผัสให้จุลินทรีย์เข้าย่อยสลายได้ง่าย(23)

สำหรับบทบาทของจุลินทรีย์ดินส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยธาตุอาหารออกจากอินทรียวัตถุ โดยทำหน้าที่ย่อยสลายอินทรียวัตถุที่ย่อยยากพวกลิกนินและสารฮิวมิก ซึ่งสารอินทรีย์ดังกล่าวจัดเป็นสารปรับปรุงดิน ที่ช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินโดยตรงทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้น ส่งผลให้น้ำในดินเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชได้มากขึ้น(110) นอกจากนี้กิจกรรมของจุลินทรีย์ดินก็เกี่ยวข้องอยู่กับการส่งเสริมการเกิดโครงสร้างของดิน เช่น ราที่งอกและแผ่กระจุกใยรากระจายไปในมวลของดินที่มีลักษณะพันกันยุ่ง จะช่วยให้อนุภาคดินเกาะกลุ่มเป็นเม็ดได้(32) และ

Copyright by Mahidol University

เนื่องจากในพื้นที่ศึกษามีการใส่ปุ๋ยหมักลงไปในดิน ซึ่งปุ๋ยหมักช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน จึงมีส่วนช่วยให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จนทำให้ประชากรและกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดินเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

5. อัตราส่วนระหว่างอินทรีย์คาร์บอนกับไนโตรเจนทั้งหมดของพืช (C/N ratio)

เป็นปัจจัยที่บ่งชี้ว่าในการย่อยสลายอินทรียวัตถุจะมีไนโตรเจนเพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์และทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ C/N ratio ที่ต่ำเกินไป จะทำให้อัตราการย่อยสลายเกิดขึ้นเร็ว ไนโตรเจนจึงถูกปลดปล่อยออกมาสู่สภาพแวดล้อมมากเกินไป และสูญเสียไปในรูปของการถูกชะล้าง ไอระเหย หรือจับตัวเป็นสารประกอบที่พืชไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ แต่ถ้า C/N ratio มีค่าสูงจะทำให้ไม่สามารถย่อยสลายเศษพืชได้รวดเร็วเท่าที่ควร เนื่องจากจุลินทรีย์จะดึงเอาไนโตรเจนในดินไปใช้สร้างเป็นองค์ประกอบของเซล ทำให้ไนโตรเจนที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชในดินลดปริมาณลง จนอาจทำให้พืชเกิดการขาดธาตุไนโตรเจนได้ ซึ่งโดยทั่วไปอัตราส่วน C/N ratio ของเซลจุลินทรีย์และอินทรียวัตถุในดินจะมีค่าคงที่ประมาณ 12:1 ถึง 10:1 (102) ซึ่งสอดคล้องกับค่า C/N ratio ที่เปลี่ยนแปลงไปของตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษา

6. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (total nitrogen)

แหล่งที่มาของปริมาณไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่ ได้จากกระบวนการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ดินและกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุโดยสิ่งมีชีวิตในดิน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของไนโตรเจนในดิน จึงมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุในดินและความหลากหลายของจุลินทรีย์ดินกล่าวคือ ในดินที่มีอินทรียวัตถุมากๆ กระบวนการตรึงไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์จะดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชถูกปลดปล่อยออกมา ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาครั้งนี้ที่มีปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณสิ่งมีชีวิตในดินเพิ่มขึ้นภายหลังการใส่ปุ๋ยหมักลงไปในดิน จึงทำให้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินสูงขึ้นตามไปด้วย

Copyright by Mahidol University

7. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไอออนฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ $H_2PO_4^-$ และHPO_4^{2-} ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสในดินจะแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดิน ความมากน้อยของการชะล้าง และรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน ส่วนความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินจะขึ้นอยู่กับอำนาจในการตรึงฟอสฟอรัสของดินแต่ละชนิดและปริมาณสารประกอบของดินนั้น ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุ ระดับ pH ของดิน ปริมาณสารประกอบและไอออนบวกของเหล็ก อลูมินัม แมงกานีส แคลเซียมและแมกนีเซียม ที่อยู่ในสภาพที่จะทำปฏิกิริยากับไอออนฟอสเฟต(116)

จากการศึกษา พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินมีค่าเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องด้วยสาเหตุหลายประการ ซึ่งนอกจากอิทธิพลของปุ๋ยหมักที่ช่วยป้องกันไม่ให้ฟอสฟอรัสถูกตรึงในดินและช่วยให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ ยังรวมถึงการใส่วัสดุปรับปรุงดิน เช่น ปูนขาว และภูไมท์ ในอัตรา 390 กรัม/แปลง ซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดการสะสมของสารประกอบฟอสเฟตในดินได้ ประกอบกับการเก็บตัวอย่างดินกระทำในช่วงฤดูฝนซึ่งมีปริมาณน้ำในดินและมีการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินสูง ทำให้สารประกอบฟอสเฟตต่างๆในดินละลายออกมาได้ง่าย

8. ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ (extractable potassium)

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่พบได้มากในดิน แต่ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแร่ที่สลายตัวยาก ถึง 90-98% ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช จะอยู่ในรูปของสารละลายดินและถูกดูดซับอยู่ที่ผิวคอลลอยด์ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (106) ซึ่งจะถูกปลดปล่อยออกมาจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุโดยกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน

9. ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ (extractable calcium)

แคลเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชส่วนใหญ่ จะอยู่ในรูปของแคลเซียมที่ถูกดูดยึดไว้ที่ผิวคอลลอยด์ดินและแคลเซียมในสารละลายดิน ซึ่งปริมาณแคลเซียมในดินจะแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดินและกระบวนการสร้างตัวของดิน(106)

จากการศึกษาพบว่า พื้นที่ศึกษาเป็นดินร่วนทรายที่มีวัตถุต้นกำเนิดเป็นพวกหินปูน ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมและแคตไอออนที่เป็นด่างสูง ประกอบกับมีการใส่วัสดุปรับปรุงดิน เช่น ปูนขาว

Copyright by Mahidol University

อย่างต่อเนื่อง จึงอาจมีผลทำให้มีการสะสมของเกลือแคลเซียมทั้งที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระและในรูปของสารละลายดินเป็นจำนวนมาก จึงมีผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ในดินโดยเฉพาะไส้เดือนดิน ซึ่งต้องใช้สารประกอบแคลเซียมในการย่อยอาหาร

10. ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (cation exchange capacity : CEC)

ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน เป็นสมบัติที่มีผลต่อการดูดซับธาตุอาหาร ซึ่งส่วนใหญ่มีประจุบวกไว้ให้จุลินทรีย์ได้นำไปใช้ การช่วยดูดซับ H^+ ที่เกิดขึ้นในสารละลายดินก็เป็นการช่วยปรับสมดุลของ H^+ ไว้ไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปอย่างกระทันหัน เปิดโอกาสให้จุลินทรีย์สามารถปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมได้ง่ายขึ้น (117)

และการใส่ปุ๋ยหมักในพื้นที่ศึกษา จึงมีผลทำให้ค่า CEC ของดินเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่ดินมีค่า CEC เพิ่มขึ้น จะมีผลต่อการช่วยดูดซึมธาตุอาหารที่เป็นประจุบวกไม่ให้สูญเสียจากดินและปลดปล่อยให้เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งน่าจะมีผลอย่างใกล้ชิดต่อค่า pH , K , Ca และ Mg ในดิน นอกจากนี้ปุ๋ยหมักยังมีส่วนให้ปุ๋ยเคมีที่อยู่ในรูปของประจุบวกบางชนิดถูกดูดยึดไม่ให้สูญเสียไป ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยเคมีต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารต่อพืช(118)

11. ความอิ่มตัวด้วยด่างของดิน (base saturation)

ความอิ่มตัวด้วยด่างของดิน คือ ค่าของผลรวมของประจุธาตุจำพวกด่าง ได้แก่ Ca^{2+}, Mg^{2+} Na^{2+} และK^+ ที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวคอลลอยด์ของดิน(exchangeable cation) ซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ได้ทันที โดยค่าความอิ่มตัวด้วยด่างของดินนี้จะแตกต่างกันไปตามเนื้อดินและปริมาณอินทรียวัตถุในดิน จากการศึกษาพบว่าค่าความอิ่มตัวด้วยด่างของดินจะมีค่าสูงกว่า 100% แสดงว่า ดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา มีการสะสมของเกลือแคลเซียมอิสระจากหินปูนและยิปซั่มอยู่สูง (22) เนื่องจากในบริเวณพื้นที่ศึกษามีวัตถุต้นกำเนิดดินเป็นพวกหินปูนและเป็นดินร่วนทรายที่มีความคงทนต่อการสลายตัว ประกอบกับมีการใส่วัสดุปรับปรุงดิน เช่น ปูนขาว ติดต่อกันอย่างต่อเนื่อง ทำให้ดินในบริเวณพื้นที่ศึกษามีความอิ่มตัวด้วยแคลเซียมสูง ในขณะที่ CEC ต่ำ และpH ของดินอยู่ในระดับปานกลาง แต่พืชก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในดิน

Copyright by Mahidol University

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า สิ่งมีชีวิตในดินมีบทบาทที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อการเกิดโครงสร้างดิน กล่าวคือ พฤติกรรมการไชชอนกระจายของรากพืชลงในดิน จะผลักดันอนุภาคดินโดยรอบออกไปด้านข้างและการดูดน้ำของราก จะทำให้มวลดินรอบข้างหดปริมาตรลงและแยกตัวออกจากมวลดินรอบนอกกลายเป็นกลุ่มก้อนดินที่มีลักษณะเป็นเม็ดรอบรากและรากที่มีชีวิตยังปลดปล่อยสารอินทรีย์ออกจากราก(root exudate) ซึ่งมีลักษณะเป็นสารเหนียวมาเชื่อมอนุภาคดิน

ส่วนการขุดคุ้ยไชชอนดินของสัตว์ในดินจะทำให้เกิดช่องว่างจำนวนมากในดินที่ส่งผลทำให้ดินมีอัตราการซาบซึมน้ำสูงและมีการถ่ายเทอากาศดีขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายดินโดยการผสมคลุกเคล้าระหว่างดินบนกับดินล่าง ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นอินทรียวัตถุในดินและการกัดกินแทะเล็มเศษซากพืชซากสัตว์ที่เกิดขึ้น ทำให้ชิ้นส่วนอินทรียวัตถุมีขนาดเล็กลง มีพื้นที่ผิวสัมผัสให้จุลินทรีย์เข้าย่อยสลายได้ง่าย และสัตว์ในดินบางชนิดยังเป็นตัวห้ำ ช่วยทำลายแมลงศัตรูพืชและจุลินทรีย์สาเหตุโรคพืช จึงมีส่วนช่วยควบคุมสัดส่วนของจุลินทรีย์ดินให้อยู่ในภาวะที่สมดุลกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆในระบบนิเวศของดิน

สำหรับจุลินทรีย์ดินนอกจากจะมีส่วนช่วยในการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินแล้ว เส้นใยของรายังช่วยยึดอนุภาคดินขนาดเล็กให้จับตัวกันเป็นก้อนและจุลินทรีย์ยังมีส่วนในการหมุนเวียนของธาตุอาหารพืชและช่วยสร้างฮิวมัสให้แก่ดิน (119) นอกจากนี้จุลินทรีย์ดินยังช่วยย่อยสลายหรือแปรสภาพสารเคมีชนิดต่างๆที่ปนเปื้อนลงไปในดินได้อีกด้วย

จากความสำคัญของสิ่งมีชีวิตในดินดังกล่าว ถ้าหากได้มีการนำรูปแบบและวิธีการจัดการทางการเกษตรในระบบเกษตรยั่งยืนเข้ามาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการปรับปรุงดินในพื้นที่เสื่อมโทรมทางการเกษตร ก็ย่อมจะช่วยให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้นอีกทั้งยังเป็นผลดีต่อระบบนิเวศดิน ส่งผลให้เกิดการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดินต่อไป

Copyright by Mahidol University

4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน

การศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินนั้น ต้องพิจารณาหลายปัจจัยประกอบกัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินได้รับอิทธิพลจากหลายๆปัจจัยทั้งปัจจัยจากสภาพแวดล้อมที่อยู่บนดินและปัจจัยที่อยู่ในดิน จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินที่สำคัญ ได้แก่

4.5.1 รูปแบบและวิธีการจัดการทางการเกษตร

จากการศึกษาพบว่า การจัดการทางการเกษตรด้วยระบบเกษตรยั่งยืนโดยวิธีปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักในอัตราที่แตกต่างกัน 5 ตำรับการทดลอง ให้ผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินแตกต่างกัน กล่าวคือ การใส่ปุ๋ยหมัก 30 ตัน/ไร่ (ตำรับการทดลองที่ 2) และการใส่ปุ๋ยหมัก 15 ตัน/ไร่ (ตำรับการทดลองที่ 1) ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น ในขณะที่ตำรับการทดลองที่ 4 (ใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติ) และตำรับการทดลองที่ 5 (ใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติร่วมกับปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำของพืช) ทำให้เกิดความหลากหลายของสัตว์ในดิน แมลงเหนือผิวดิน ปริมาณจุลินทรีย์ดิน และการแพร่กระจายของรากพืชในดินสูงที่สุด ส่วนทางด้านผลผลิตของพืช พบว่า ตำรับการทดลองที่ 2 และ 5 จะให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด

จากผลการทดลองดังกล่าว สรุปได้ว่า ตำรับการทดลองที่ 2 มีความเหมาะสมมากที่สุดในด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน และมีผลต่อคุณภาพและผลผลิตของพืช แต่สำหรับเกษตรกรแล้วในทางปฏิบัติเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติ (ตำรับการทดลองที่ 4) และการใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติร่วมกับปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำของพืช (ตำรับการทดลองที่ 5) จึงมีความเหมาะสมมากกว่าอีกทั้งวิธีการดังกล่าวสามารถทำได้ง่ายและให้ผลใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้ยังพบว่า รูปแบบและวิธีการจัดการทางการเกษตรที่แตกต่างกันของแต่ละพื้นที่เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน และมีอิทธิพลต่อการคงอยู่ของสิ่งมีชีวิตในดิน กล่าวคือ การจัดการทางการเกษตรด้วยระบบเกษตรยั่งยืนบนดินร่วนทรายชุดมาบบอน โดยวิธีปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักและวัสดุปรับปรุงดิน เช่น ปูนขาว และภูไมท์ ในอัตรา 390 กรัม/แปลง ร่วมกับเทคนิคการคลุมดินด้วยเศษพืชและฟางข้าง สามารถรักษาระดับความชื้นของดินและช่วยเพิ่มระดับอินทรียวัตถุและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดินได้ใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมี ขณะเดียวกันก็ส่งผลต่อการส่งเสริมกิจกรรมต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตในดิน ส่วนการ

Copyright by Mahidol University

จัดระบบการปลูกพืชในรูปแบบการหมุนเวียนพืชแบบต่างชนิดผสมผสานอย่างต่อเนื่องติดต่อกัน ไม่เพียงแต่มีผลต่อความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดิน แต่มีผลต่อการจัดการศัตรูพืช โดยสามารถลดการแพร่กระจายของแมลงศัตรูพืช ส่งผลให้เกิดความสมดุลระหว่างแมลงศัตรูพืชและแมลงที่เป็นประโยชน์ในระบบนิเวศได้ (43)

นอกจากนี้ยังพบว่า การจัดการศัตรูพืชโดยใช้สารสกัดจากธรรมชาติ เช่น การใช้สารสกัดจากเมล็ดสะเดา 30 - 40 ซีซี / น้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่น 7 - 10 วัน ร่วมกับการใช้กับดักกาวเหนียวตลอดจนให้คนดูแลแปลงอย่างสม่ำเสมอโดยวิธีการจับทำลาย สามารถช่วยลดประชากรของแมลงศัตรูพืชลงได้โดยไม่มีผลในทางลบต่อสภาพแวดล้อม และแม้ว่าสภาพดินจะเป็นดินร่วนทรายที่มีความชื้นค่อนข้างต่ำ แต่ถ้ามีการจัดการระบบน้ำชลประทานเพื่อการเกษตรที่ดีและมีการคลุมดินจะสามารถอำนวยประโยชน์ต่อพื้นที่เพาะปลูกได้มาก

4.5.2 ชนิดของพืช

จากการศึกษา พบว่า ชนิดพืชที่มีผลทำให้คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดินเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น ทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต คือ แตงร้าน ในขณะที่ข้าวโพดหวาน ถั่วฝักยาว และมะระจีน จะมีค่าไม่แตกต่างกัน

นอกจากนี้ยังพบว่า ชนิดของพืชจะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆของดินและกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตอื่นๆในดิน โดยเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของรากพืชในดิน การดูดและการคายน้ำ การดูดยึดธาตุอาหาร การหายใจ การปลดปล่อยสารอินทรีย์ออกจากราก การย่อยสลายของราก ตลอดจนการแผ่กิ่งใบปกคลุมผิวดิน ซึ่งผลจากการกระทำของพืชก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในดินหลายประการ อาทิ การเกิดโครงสร้างดิน การเกิดช่องว่างจากการไชชอนของราก การอัดตัวของดินรอบๆราก การเปลี่ยนแปลงความชื้น การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของแก๊ส การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณธาตุอาหาร การเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศ การเคลื่อนย้ายของแร่ธาตุจากดินล่างสู่ดินบน การเปลี่ยนแปลงสภาพกรดด่างของดินอันเนื่องมาจากกระบวนการดูดธาตุอาหารของพืช การเปลี่ยนแปลงปริมาณและสัดส่วนของจุลินทรีย์และกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน หรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดิน เป็นต้น (106) ขณะเดียวกันพืชแต่ละชนิดยังให้เศษซากพืชที่มีคุณภาพแตกต่างกัน ซึ่งจะถูกย่อยสลายได้เร็วช้าไม่เหมือนกัน ทั้งยังแปรสภาพไปเป็นสารฮิวมิกได้ในปริมาณไม่เท่ากันด้วย

Copyright by Mahidol University

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า การจัดการทางการเกษตรด้วยระบบเกษตรยั่งยืนมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดินไปในทางที่ดีขึ้น ขณะเดียวกันก็มีแนวโน้มทำให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงที่มีประโยชน์เหนือผิวดิน นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม ดังนั้นหากมีการนำวิธีการดังกล่าวไปปรับใช้ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่อื่นๆต่อไป จะสามารถรักษาความหลากหลายทางชีวภาพของดินและระบบนิเวศให้ยั่งยืนได้ตลอดไป

Copyright by Mahidol University

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพภายหลังที่มีการจัดการทางการเกษตรด้วยระบบเกษตรยั่งยืน โดยศึกษาชนิด ปริมาณ และความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดิน ประกอบด้วย สัตว์ในดิน จุลินทรีย์ดิน รวมทั้งแมลงเหนือผิวดิน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ดินทางปฐพีวิทยา ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์ดินทางนิเวศวิทยาและจุลชีววิทยา พื้นที่ศึกษาเป็นแปลงสาธิตของโครงการวิจัยระบบเกษตรยั่งยืนในศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ อ. พนมสารคาม จ. ฉะเชิงเทรา ซึ่งเริ่มดำเนินการมาตั้งแต่ปี 2537 โดยวิธีปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักเปรียบเทียบปุ๋ยหมักธรรมชาติในพืชผัก บนดินชุดมาบบอนกลุ่มชุดดินที่ 35 โดยทำการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนปลูกพืชและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต แล้วนำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินในพื้นที่ใกล้เคียงซึ่งไม่มีการจัดการทางการเกษตร ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของกลุ่มตัวอย่างโดยวิธี DMRT จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในดินที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้ คือ

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนและพื้นที่ใกล้เคียง พบว่าคุณสมบัติของดินภายหลังที่มีการจัดการด้วยระบบเกษตรยั่งยืน มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงไปจากพื้นที่ใกล้เคียงเพิ่มขึ้น พิจารณาจากค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน สภาพกรดด่างของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดิน และค่าความอิ่มตัวด้วยด่างของดิน เหล่านี้ที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

และเมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนโดยเปรียบเทียบก่อนการเพาะปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า คุณสมบัติของดินในช่วงหลังเก็บเกี่ยวมีแนวโน้มของการ

Copyright by Mahidol University

เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงก่อนปลูก พิจารณาจากการเพิ่มขึ้นของค่าความชื้นดินปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน และปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดิน และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ตำรับการทดลองที่ 2 (ใส่ปุ๋ยหมัก 30 ตัน/ไร่) จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าสมบัติของดินไปในทางที่ดีขึ้นสูงที่สุด รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 1, 3, 5 และ 4 ตามลำดับ ส่วนชนิดพืชที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าสมบัติของดินไปในทางที่ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัดทั้ง 2 ช่วงปลูก คือ แตงร้าน ส่วนข้าวโพดหวาน ถั่วฝักยาว และมะระจีน จะมีค่าไม่แตกต่างกัน

5.1.2 ความหลากหลายของสัตว์ในดิน

จากการแยกสัตว์ในดิน พบว่า ในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนมีสัตว์ในดินทั้งตัวเต็มวัยและตัวอ่อน รวมทั้งสิ้น 25833 ตัว 14 ชนิด โดยพบสัตว์ในดินในช่วงก่อนปลูก 9436 ตัว 14 ชนิด และ 16397 ตัว 13 ชนิด ในช่วงหลังเก็บเกี่ยว ส่วนในพื้นที่ใกล้เคียงที่ไม่มีการจัดการทางการเกษตรจะพบสัตว์ในดินเพียงชนิดเดียว คือ มด จำนวน 7 ตัวเท่านั้น และจากการจำแนกชนิดของสัตว์ในดินที่พบในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ไส้เดือนพวก Enchytracid เป็นชนิดของสัตว์ในดินที่พบมากที่สุด รองลงมาคือ ไส้เดือนดิน พวกแมลงกลุ่มต่างๆ ตะขาบ แมงมุม และกิ้งกือ ตามลำดับ ซึ่งสัตว์ในดินที่พบส่วนใหญ่จัดว่าเป็นดัชนีชี้วัดความสมบูรณ์ทางชีวภาพของคุณภาพดิน

และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองของสัตว์ในดินทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ตำรับการทดลองที่ 2 มีความหนาแน่นของสัตว์ในดินมากที่สุดและน้อยที่สุดในตำรับการทดลองที่ 5 ส่วนตำรับการทดลองที่ 1, 3, 4 ไม่แตกต่างกัน ส่วนชนิดพืชที่มีความหนาแน่นของสัตว์ในดินมากที่สุดทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต คือ มะระจีน รองลงมาคือ ถั่วฝักยาว แตงร้าน และข้าวโพดหวาน

และเมื่อพิจารณาถึงความหลากหลายของสัตว์ในดินพบว่า ในช่วงก่อนปลูกจะมีความหลากหลายของสัตว์ในดินมากกว่าในช่วงหลังเก็บเกี่ยว โดยตำรับการทดลองที่ 4 และที่ 5 จะมีค่าความหลากหลายของสัตว์ในดินมากกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ ส่วนชนิดพืชที่มีค่าหลากหลายของสัตว์ในดินมากที่สุด คือ แตงร้านและข้าวโพดหวาน ส่วนถั่วฝักยาว และมะระจีน ไม่แตกต่างกัน

Copyright by Mahidol University

5.1.3 ความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดิน

จากผลการสุ่มตัวอย่างแมลงเหนือผิวดินในแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน โดยใช้กับดักกาวเหนียว (Sticky traps) จำนวน 90 อัน พบแมลงรวมทั้งสิ้น 2985 ตัว 12 Order โดยแมลงเหนือผิวดินที่พบมากที่สุดจัดอยู่ใน Order Coleoptera รองลงมาคือ Order Homoptera Order Diptera และ Order Orthoptera

และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองและชนิดพืช พบว่า ตำรับการทดลองที่ 4 มีความหนาแน่นของแมลงมากที่สุด รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 2 , 5 , 3 และ 1 ตามลำดับ ส่วนชนิดพืชที่มีความหนาแน่นของแมลงมากที่สุดคือ แตงร้าน รองลงมาคือ ถั่วฝักยาว มะระจีน และข้าวโพดหวาน และเมื่อพิจารณาถึงความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดิน พบว่า ตำรับการทดลองที่ 1 และที่ 5 จะมีค่าความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดินมากกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ ส่วนชนิดพืชที่มีค่าความหลากหลายของแมลงเหนือผิวดินมากที่สุด คือ ข้าวโพดหวาน และน้อยที่สุดในชนิดพืชถั่วฝักยาว

นอกจากนี้ยังพบว่าแมลงเหนือผิวดินที่พบส่วนใหญ่เป็นแมลงที่มีประโยชน์ต่อระบบนิเวศเกษตร โดยมีบทบาทเป็นแมลงห้ำ (Predator) แมลงเบียน (Parasites) และแมลงผสมเกสร (Insect as pollinators) ซึ่งสามารถนำแมลงที่มีประโยชน์เหล่านี้ มาใช้ควบคุมแมลงศัตรูทางการเกษตร ซึ่งเรียกว่า การควบคุมโดยชีววิธี (Biological Control)

5.1.4 ความหลากหลายของจุลินทรีย์ดิน

จากการตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในดิน พบว่า พื้นที่ใกล้เคียงซึ่งไม่มีการจัดการทางการเกษตรจะมีปริมาณจุลินทรีย์ในดิน (แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยสีท) ต่ำกว่าพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน ส่วนพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ดินไม่แตกต่างกันทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต

และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างตำรับการทดลองและชนิดพืช พบว่า ในช่วงก่อนปลูกตำรับการทดลองที่ 5 จะมีปริมาณแบคทีเรีย และแอคติโนมัยสีทมากที่สุด ส่วนตำรับการทดลองที่ 4 จะมีปริมาณรามากที่สุด และเมื่อดำเนินการทดลองไปจนถึงช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ตำรับการทดลองที่ 4 จะมีปริมาณแบคทีเรียมากที่สุด และตำรับการทดลองที่ 1 มีปริมาณแอคติโนมัยสีทมากที่สุด ส่วนปริมาณราในดินจะพบมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณแบคทีเรีย แอคติโนมัยสีท และรา จะพบน้อยที่สุดในตำรับการทดลอง

Copyright by Mahidol University

ที่ 3 ทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต ส่วนชนิดพืชที่มีปริมาณแบคทีเรียในดินมากที่สุด คือ แตงร้านและมะระจีน และชนิดพืชที่มีปริมาณแอคติโนมัยสีทและราในดินมากที่สุด คือ ข้าวโพดหวาน และเมื่อทำการศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ที่แยกได้จากตัวอย่างดินในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน พบว่า มีแบคทีเรียในดิน 24 ชนิด (พิจารณาจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการย้อมสีแกรม) แอคติโนมัยสีทในดิน 3 ชนิด และราในดิน 13 ชนิด ซึ่งเมื่อทำการจำแนกชนิดของราและแอคติโนมัยสีทที่พบในดินตัวอย่าง พบว่า ราที่พบในดินส่วนใหญ่จัดเป็นราในกลุ่ม *Aspergillus spp.* , *Penicillium spp* และ *Trichoderma spp.* ตามลำดับ ส่วนแอคติโนมัยสีทที่พบในดินตัวอย่าง ได้แก่ พวก *Streptomyces spp.*

5.1.5 ปริมาณของรากพืชและผลผลิตของพืช

จากการเก็บตัวอย่างพืชเพื่อวิเคราะห์ปริมาณของรากพืชในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน โดยเก็บข้อมูลความกว้างและความยาวของราก มวลของรากโดยน้ำหนักสดและแห้ง พบว่า ตำรับการทดลองที่ 4 ของทุกชนิดพืช จะมีความกว้างและความยาวของรากมากที่สุด ส่วนน้ำหนักสดของราก พบว่า ตำรับการทดลองที่ 2 ของพืชข้าวโพดหวานและมะระจีน จะมีน้ำหนักสดของรากมากที่สุด ส่วนในพืชถั่วฝักยาวและแตงร้านน้ำหนักสดของรากจะมีมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 5 และ 4 นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำหนักแห้งของรากข้าวโพดหวานและถั่วฝักยาวจะมีมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 5 ส่วนในพืชมะระจีนจะมีน้ำหนักแห้งของรากมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 2 และในพืชแตงร้านจะมีน้ำหนักแห้งของรากมากที่สุดในตำรับการทดลองที่ 4 สำหรับผลผลิตพืชในแต่ละตำรับการทดลองของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน พบว่า ตำรับการทดลองที่ 2 มีผลทำให้ผลผลิตของพืชสูงที่สุด รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ 5 , 4 , 1 และ 3

จากผลการศึกษาดังกล่าวสรุปได้ว่า ตำรับการทดลองที่ 2 (ใส่ปุ๋ยหมัก 30 ตัน/ไร่) และตำรับการทดลองที่ 1 (ใส่ปุ๋ยหมัก 15 ตัน/ไร่) ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น ในขณะที่ตำรับการทดลองที่ 4 (ใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติ) และตำรับการทดลองที่ 5 (ใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติร่วมกับปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำของพืช) ทำให้เกิดความหลากหลายของสัตว์ในดิน แมลงเหนือผิวดิน ปริมาณจุลินทรีย์ดิน และปริมาณของรากพืชสูงที่สุด ส่วนทางด้านผลผลิตของพืช พบว่า ตำรับการทดลองที่ 2 และที่ 5 จะให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด จะเห็นได้ว่า ตำรับการทดลองที่ 2 มีความเหมาะสมมากที่สุดในด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินและมีผลต่อคุณภาพและผลผลิตของพืช แต่สำหรับเกษตรกรแล้ว

Copyright by Mahidol University

ในทางปฏิบัติเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติและการใส่ปุ๋ยหมักธรรมชาติร่วมกับปุ๋ยเคมีครึ่งหนึ่งของอัตราแนะนำของพืช จึงมีความเหมาะสมมากกว่า อีกทั้งวิธีการดังกล่าวสามารถทำได้ง่ายและให้ผลใกล้เคียงกัน ส่วนชนิดพืชที่มีผลทำให้คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดินเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น คือ แตงร้าน

และจากการศึกษายังพบว่า การปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักธรรมชาติในอัตราที่แตกต่างกันติดต่อกันอย่างต่อเนื่องตามแนวทางเกษตรยั่งยืนในดินร่วนทรายชุดมาบบอน มีแนวโน้มที่แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินไปในทางที่ดีขึ้น กล่าวคือ ปุ๋ยหมักช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้น การระบายอากาศของดินเพิ่มขึ้น ทำให้ระบบรากของพืชสามารถแพร่กระจายในดินได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการปลดปล่อยสารอินทรีย์ (root exudate) ที่มีประโยชน์ต่อการเพิ่มปริมาณและกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน การใส่ปุ๋ยหมักยังช่วยให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินดีขึ้น ช่วยรักษาความชื้นในดิน และช่วยเพิ่มความต้านทานการเปลี่ยนแปลงสภาพกรดด่างของดิน นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง ตลอดจนธาตุอาหารเสริมต่างๆให้แก่ดิน ทำให้พืชและสิ่งมีชีวิตในดินสามารถนำไปใช้ได้ตลอดระยะเวลาของการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินแสดงแนวโน้มของความสัมพันธ์แบบแปรผันตามกับการเปลี่ยนแปลงความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดิน กล่าวคือ ถ้าคุณสมบัติของดินมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางเพิ่มความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น สิ่งมีชีวิตในดินจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยพบสิ่งมีชีวิตในดินและเหนือดินที่เป็นตัวชี้วัดความสมบูรณ์ทางชีวภาพของคุณภาพดิน คือ ไส้เดือนดิน รองลงมาคือ พวกแมลงกลุ่มต่างๆ ตะขาบ แมงมุม และกิ้งกือ ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบว่า การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินได้รับอิทธิพลจากหลายๆปัจจัย ซึ่งนอกจากปัจจัยจากสภาพแวดล้อมที่อยู่บนดินและปัจจัยที่อยู่ในดินแล้ว รูปแบบและวิธีการจัดการทางการเกษตรที่แตกต่างกันของแต่ละพื้นที่ ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินและมีอิทธิพลต่อการคงอยู่ของสิ่งมีชีวิตในดิน กล่าวคือ การจัดการดินโดยวิธีปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักและวัสดุปรับปรุงดิน เช่น ปูนขาวและภูไมท์ ร่วมกับเทคนิคการคลุมดินด้วยเศษพืชและฟางข้าว สามารถรักษาระดับความชื้นของดินและช่วยเพิ่มระดับอินทรียวัตถุและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดินได้ใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมี ขณะเดียวกันก็ส่งผลต่อการส่งเสริมกิจกรรมต่างๆของสิ่งมีชีวิตในดิน ส่วนการจัดระบบการปลูกพืชในรูปแบบการหมุนเวียนพืชแบบต่างชนิดผสมผสานอย่างต่อเนื่องติดต่อกันและการใช้สารสกัดจากธรรมชาติ เช่น เมล็ดสะเดาร่วมกับการใช้กับดักกาวเหนียวในการควบคุมศัตรูพืช ไม่เพียงแต่มีผลต่อความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในดิน แต่ยังมีผลต่อการจัดการศัตรูพืช โดยสามารถลดการแพร่กระจายของแมลง

Copyright by Mahidol University

ศัตรูพืช ส่งผลให้เกิดความสมดุลระหว่างแมลงศัตรูพืชและแมลงที่เป็นประโยชน์ในระบบนิเวศได้ และแม้ว่าสภาพดินจะเป็นดินร่วนทรายที่มีความชื้นค่อนข้างต่ำ แต่ถ้ามีการจัดการระบบน้ำชลประทานเพื่อการเกษตรที่ดีและมีการคลุมดิน จะสามารถอำนวยประโยชน์ต่อพื้นที่เพาะปลูกได้มาก ส่วนชนิดของพืชก็มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติดิน และกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตอื่นๆในดิน โดยเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของรากพืชในดิน การดูดและการคายน้ำ การดูดยึดธาตุอาหาร การหายใจ การปลดปล่อยสารอินทรีย์ออกจากราก การย่อยสลายของราก ตลอดจนการแผ่กิ่งใบปกคลุมผิวดิน ซึ่งผลจากการกระทำของพืชก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในดินหลายประการ อาทิ การเกิดโครงสร้างดิน การเกิดช่องว่างจากการไชชอนของราก การอัดตัวของดินรอบๆราก การเปลี่ยนแปลงความชื้น การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของแก๊ส การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณธาตุอาหาร การเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศ การเคลื่อนย้ายของแร่ธาตุจากดินล่างสู่ดินบน การเปลี่ยนแปลงสภาพกรดด่างของดินอันเนื่องมาจากกระบวนการดูดธาตุอาหารของพืช การเปลี่ยนแปลงปริมาณและสัดส่วนของจุลินทรีย์และกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน หรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดิน เป็นต้น ขณะเดียวกันพืชแต่ละชนิดยังให้เศษซากพืชที่มีคุณภาพแตกต่างกัน ซึ่งจะถูกย่อยสลายได้เร็วช้าไม่เหมือนกัน ทั้งยังแปรสภาพไปเป็นสารฮิวมิกได้ในปริมาณไม่เท่ากันด้วย

จะเห็นได้ว่า การจัดการทางการเกษตรในระบบเกษตรยั่งยืนส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดินในเชิงบวก ขณะเดียวกันก็มีแนวโน้มทำให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดิน รวมทั้งแมลงที่มีประโยชน์เหนือผิวดินเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม ดังนั้นหากมีการนำวิธีการดังกล่าวไปปรับใช้ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่อื่นๆต่อไป ก็ย่อมจะช่วยให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น สามารถรักษาความหลากหลายทางชีวภาพของดินและระบบนิเวศให้ยั่งยืนได้ตลอดไป

Copyright by Mahidol University

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

- ควรมีการติดตามตรวจสอบและมีการศึกษาวิจัยในเรื่องความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดินอย่างต่อเนื่องต่อไป เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว และนำไปสู่การวางแผนจัดการดินในพื้นที่อื่นๆต่อไป

- ควรมีการเผยแพร่ให้แก่เกษตรกรและผู้สนใจทั่วไป ได้รับทราบข้อมูลผลการศึกษาวิจัย เพื่อให้เกิดความรู้ในเรื่องการปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักตามแนวทางเกษตรยั่งยืน และสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้เป็นแนวทางในการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดินต่อไป

5.2.2 ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไป

- ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินบางชนิด อย่างเช่น N_2- fixing microorganisms , Rhizobium , Mycorrhizae และ Algae เป็นต้น

- ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตในดินบริเวณ Rhizosphere

- ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความเป็นพิษของดินที่มีผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในดิน

- ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลของการจัดการของมนุษย์ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพของดิน จนถึงระดับที่ไปลดความสัมพันธ์ของกระบวนการเกิดดิน

- ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในลักษณะเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของระบบนิเวศระหว่างความหลากหลายทางชีวภาพของดินกับความหลากหลายทางชีวภาพของสังคมพืชบนดินตลอดจนผลผลิตของพืช

Copyright by Mahidol University

รายการอ้างอิง

1. Clive A. Edwards, Rattan Lal, Patrick Madden, Robert H. Miller Gar House.Sustainable Agricultural system. America: St.Lucie Press, 1990.
2. Drift J.V. Analysis of the animal community in a Beech Forest Floor. Meded Toegep. Biol.Onderz.Nat. 9: 1-168,1951.
3. Hatfield,J.L. Stewart,B.A. Soil biology: Effect on soil quality. America: Lewis Publishers,1994.
4. David C. Coleman, D.A.Crossley,Jr. Fundamentals of soil ecology. London: Academic Press Inc, 1995.
5. Wallwork,J.A. Ecology of soil animals. London: Mc Graw-hill,Inc, 1970.
6. Alison Leadley Brown. Ecology of soil organisms.London: Heinemann,1978.
7. Friedrich Schaller. Soil animals. America: Ann Arbor Science Library The university of Michigan Press, 1968.
8. Edwards C.A. and Lofty J.R. Biology of earthworms. New york: Chapman and Hall, John wiley and Sons,Inc,1977.
9. Lal R. Effects of macrofauna on soil properties in tropical ecosystem. Agriculture Ecosystems and environment. 24:101-116p, 1988.
10. Nyle C. Brady, Ray R. Weil. The nature and properties of soils. (11Ed). America: Prentice Hall, 1996.
11. Gero Benckiser. Fauna in soil ecosystems. America: Marcel Dekker,Inc,1997.
12. จรียา ยิ้มรัตนบวร. การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของสัตว์ในดินและอิทธิพลที่มีต่อการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในสวนป่าสักที่จ.พิษณุโลก.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต.สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2536.
13. Brussaard Lijbert. Soil ecology in Sustainable Agricultural system. America: Lewis Publishers america, 1997.
14. Pankhurst C.E.,Doube B.M.,Gupta V.V.S.R. Biological indicators of soil health. America: CAB International Wallingford, 1997.

Copyright by Mahidol University

รายการอ้างอิง (ต่อ)

15. Paoletti M.G., Foissner W., Coleman D. Soil Biota, Nutrient cycling , and Farming systems. America: Lewis Publishers,1993.

16.พีรพัฒน์ โกศลศักดิ์สกุล. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินในนาข้าวเนื่องจากการเปลี่ยนจากระบบเกษตรกรรมเคมีมาเป็นระบบเกษตรกรรมธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต.สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล ,2540.

17. เสาวภา สนธิไชย, อารยา จะติเสถียร, ไลวรรณ อังคีรส. การศึกษาอาร์โทรปอดในดินระหว่างดินในป่าธรรมชาติและดินในพื้นที่เพาะปลูกบนดอยสุเทพ-ปุย. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ,2539.

18. Glenn Orating Sopsop. Effect of land use patterns on Soil habiting Arthropods in Doi Suthep-Pui National Park. Master of science in Environmental Risk Assessment for tropical ecosystems. Graduate school . Chiang mai University, 1996.

19. Kisworo. Soil inhabiting arthropod communities as bioindicators for Assessment of soil contamination in the surrounding area of Mae Moh Power Plant Lampang Province. Master of science in Environmental Risk Assessment for tropical ecosystems. Graduate school . Chiang mai University, 1999.

20. William A. Andrews. Soil ecology. Canada: Prentice Hall of canada, n.d.

21. Lee K.E. Earthworms their ecology and relationships with soils and land use. Australia: Academic Press, 1985.

22. Henry D.Foth. Fundamentals of soil science. (8Ed).America: John wiley and Sons,Inc,1990.

23. Ken Killham. Soil Ecology. Great Britain: Cambridge University Press, 1995.

24. Burges A. and Raw F. Soil Biology. London: Academic Press Inc, 1967.

25. McE. Kevan,D.K. Soil animals. London: H.F.&G.Witherby Ltd, 1968.

26. Anderson J.M.,Ingram J.S.I.Tropical Soil Biology and Fertility.(A handbook of Methods). (2Ed)America: CAB International,1993.

27. Nit Kirtibutr, Takuya Abe. Biology and Ecology of Termites. Thailand: Kasetsart University Thailand and Kyoto University Japan August10-31,organized byDIWPA, 1997.

28. Gray,T.R.G.and Williams,S.T. Soil Microorganisms. London: Longman Group Ltd, 1971.

Copyright by Mahidol University

รายการอ้างอิง (ต่อ)

29. F.Blaine Metting,Jr. Soil microbial ecology: applications in agricultural and environmental management. America: Marcel Dekker,Inc,1993.

30. Alexander, M. Introduction to soil microbiology.New york: John wiley& sons, 1977.

31. Jan Dirk van Elsas, Jack T. Trevors, Elizabeth M.H.Wellington. Modern soil microbiology. America: John wiley& sons,Inc, 1997.

32. David M. Sylvia, Jeffry J.Fuhrmann, Peter G.Hartel, David A.Zuberer. Principles and applications of soil microbiology. Canada: Prentice Hall of canada, 1998.

33. Jensen V.,Kjqller A., Sqrensen L.H. Microbial communities in soil. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1986.

34. Michael J.Pelczar, Jr, E.C.S.Chan,Noel R.Krieg.International Edition Microbiology concepts and application. America: Mc Graw-hill,Inc, 1993.

35. ลมัย ชูเกียรติวัฒนา. ผลกระทบของการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างต่อเนื่องต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินและการย่อยสลายของโมโนโครโตฟอสโดยใช้นิวเคลียร์เทคนิค.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,2540.

36. ชวลิต ฮงประยูร,ไพบูลย์ ประพฤติธรรม. การศึกษาผลกระทบของการจัดการสวนผักและสวนผลไม้ของเกษตรกรต่อสภาพแวดล้อมและผู้บริโภค:ต่อจุลินทรีย์ดินในสวนผักและสวนผลไม้ในเขตอ.ดำเนินสะดวกจ.ราชบุรี ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,2538.

37. James G.Cappuccino, Natalie Sherman. Microbiology A Laboratory Manual.(3Ed)America: California, The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1992.

38.ศูนย์ประสานงานการพัฒนาสังคม. การพัฒนาการเกษตรแบบยั่งยืนเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตของเกษตรกรและความมั่นคงของชาติ. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ประสานงานการพัฒนาสังคม ,2538.

39. ดิสทัต โรจนาลักษณ์ (แปล) ชิมเป มูราคามิ (เขียน). สู่สำนึกธรรมชาติ คู่มือเกษตรกรรมนิเวศในเขตร้อน. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เกษตรกรรมธรรมชาติ ,2538.

40. โมษิต ปั้นเปี่ยมรัษฎ์. การฟื้นฟูการเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ. กรุงเทพมหานคร: มูลนิธิส่งเสริมการพัฒนาที่ยั่งยืน ,2535.

Copyright by Mahidol University

รายการอ้างอิง (ต่อ)

41. วีรบูรณ์ วิสารทสกุล. กระบวนการยอมรับการทำเกษตรทางเลือกในหมู่บ้านภาคตะวันออกเฉียงเหนือกรณีศึกษา:หมู่บ้านหนองใหญ่.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล ,2538.

42. Altieri, M.A. "Toward Sustainable Agriculture" Agroecology: The scientific basis of Alternative Agriculture. Westview Press, 1987, p.195-199.

43. กรมวิชาการเกษตร. เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาระบบการทำฟาร์มครั้งที่11ระบบเกษตรกรรมเพื่อเกษตรกร สิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน 12-15 มี.ค.2539 ณ.โรงแรมรีเจ้นท์ชะอำบีทรีสอร์ท อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี.กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย ,2539.

44. ประทีป วีระพัฒนนิรันด์. การเกษตรยั่งยืน อนาคตของการเกษตรไทย. กรุงเทพมหานคร: กรมวิชาการเกษตร.2536. หน้า 21-31.

45. กรมวิชาการเกษตร. ทางเลือกสู่เกษตรกรรมยั่งยืน. กรุงเทพมหานคร: กรมวิชาการเกษตร,2538.

46. สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ(RDPB) เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ.การเกษตรแบบยั่งยืน:มิติใหม่เพื่อความอยู่รอด11-14 พค.2536 กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (RDPB),2536.

47. วิฑูรย์ ปัญญากุล. แนวคิดและความหมายของเกษตรกรรมทางเลือก เกษตรกรรมทางเลือก: หนทางรอดของเกษตรกรรมไทย. กรุงเทพมหานคร: เครือข่ายเกษตรกรรมทางเลือก ,2535.

48. วิฑูรย์ เลี่ยนจำรูญ. เกษตรกรรมทางเลือกหนทางรอดของเกษตรกรรมไทย. กรุงเทพมหานคร: เครือข่ายเกษตรกรรมทางเลือก,2535.

49. เดชา ศิริภัทร. ปัจจุบันและอนาคตของระบบเกษตรกรรมทางเลือกในประเทศไทย การพัฒนาแบบยั่งยืน. วราพร ศรีสุพรรณ(บก.). นครปฐม: คณะสังคมศาสตร์และมนุษย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล,2534.

50. ชนวน รัตนวราหะ.(บก). เกษตรยั่งยืน เกษตรกรรมกับธรรมชาติ. กรุงเทพมหานคร:กรมวิชาการเกษตร,2540.

51. Conway, G.R. Agriculture Analysis for research and development. Winrock International. Institute for agricultural development Bangkok , Thailand, 1986, 111p.

Copyright by Mahidol University

รายการอ้างอิง (ต่อ)

52. Gips, T. Breaking the Pesticide Habit. Malaysia, 1984.

53. Poincelot, R.P. Toward More Sustainable Agriculture. Connectient: AVI Publishing Company, 1986.

54. Committee on the role of alternative farming methods in modern production agriculture. Alternative Agriculture. Washington D.C. : National acadamy press, 1989.

55. Jan Bay-Petersen.(Ed). Sustainable Agriculture for the Asian and Pacific Book series No. 44. Taiwan: FFTC, 1992.

56.ธวัช ทองมณี. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจยอมรับนวัตกรรมเกษตรยั่งยืน: กรณีศึกษาเทคนิคการปลูกผักปลอดสารพิษ ต.บางเหรียง อ.ควนเนียง จ.สงขลา. วิทยานิพนธ์สังคมวิทยาและมานุษยวิทยามหาบัณฑิต (สังคมวิทยา).คณะสังคมวิทยาและมานุษยวิทยา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,2539.

57. กรมพัฒนาที่ดิน. กองแผนงาน. รายงานการประชุมเชิงปฏิบัติการ การพัฒนาเกษตรยั่งยืนครั้งที่ 2 18-22 เมษายน 2537.กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน,2537.

58. รสนา โตสิตระกูล. ปฏิวัติยุคสมัยด้วยฟางเส้นเดียว ทางออกของเกษตรกรรมและอารยธรรมมนุษย์(แปล) พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มูลนิธิโกมลคีมทอง ,2541.

59. มูลนิธิเพื่อการวิจัยและพัฒนาเกษตรธรรมชาติสากล. มุ่งสู่ศตวรรษที่ 21 เกษตรธรรมชาติเพื่อสร้างเสริมการเกษตรที่สมบูรณ์และส่งเสริมโภชนาการที่ถูกหลักอนามัย. นนทบุรี: มูลนิธิเพื่อการวิจัยและพัฒนาเกษตรธรรมชาติสากล,2536.

60. พูลสวัสดิ์ อาจละกะ,สมพร อิศรานุรักษ์,รัศมี คีรีทวีป. ระบบเกษตรกรรมที่นำไปสู่เกษตรยั่งยืน "เกษตรยั่งยืน"อนาคตของการเกษตรไทย.กรุงเทพมหานคร:กรมวิชาการเกษตร,2538.

61. Bill Mollison. Introduction to Permaculture. Australia: Tagari Publications Tyalgum Australia, 1991.

62. กรมพัฒนาที่ดิน. กองแผนงาน. รายงานการประชุมเชิงปฏิบัติการ การพัฒนาเกษตรยั่งยืนครั้งที่ 3 4-7 กรกฎาคม 2538.กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน,2538.

63. C.S. Smith & E.T. Mc Dendald. Assessing the Sustainability of Agriculture at the planning stage. Journal of Environmental Management, 1998: 52:15-37.

Copyright by Mahidol University

รายการอ้างอิง (ต่อ)

64. วราพร ศรีสุพรรณ และ อรทัย อาจอ่ำ. รายงานการวิจัยประเมินผลโครงการสนับสนุนระบบเกษตรกรรมยั่งยืนของศูนย์เทคโนโลยีเพื่อสังคม. นครปฐม: คณะสังคม ศาสตร์และมนุษยศาสตร์และสถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล,2536.

65. IBSRAM/DLD. Framework of Evaluation of Sustainable Land Management. A case study of Ban Phaduea Mae Fhalouang Districts, Chaingrai Province,14-19;1998.

66. ณัฐวุฒิ ภายยะวรรณ และคนอื่นๆ. การวิเคราะห์ความยั่งยืนของระบบเกษตรผสมผสานโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปRestore.วารสารวิจัยและพัฒนาการเกษตร.สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่1จ.เชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร, 5(1) ม.ย.-มิ.ย. ,2541.

67. ธวัชชัย ณ นคร , มล. จักรานพคุณ ทองใหญ่ , ดวงใจ เฉยไสย , ธรรมนูญ แก้วคงคา. การปลูกข้าวโพดโดยไม่มีการไถพรวนดิน.กรุงเทพมหานคร:กลุ่มงานวิจัยปฐพีกายภาพ กองปฐพีวิทยา,2538.

68. วรรณา ประยุกต์วงศ์. ปัจจัยที่มีผลต่อการคงอยู่ในระบบเกษตรกรรมทางเลือกของเกษตรกร: ศึกษาเฉพาะกรณีใน จ. ขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาเศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,2540.

69. กำราบ พานทอง. การศึกษาเปรียบเทียบมูลค่าทางเศรษฐกิจที่เกิดจากการจัดการทรัพยากรแบบยั่งยืนในระบบวนเกษตรกับระบบสวนพืชเชิงเดี่ยว(ยางพารา):กรณีสวนนายหรน หมัดหลีกับสวนยางพาราพันธุ์ดีชนิดให้ผลผลิตสูงสุดและพันธุ์ดีชนิดให้ผลผลิตเฉลี่ยทั่วประเทศ. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,2534.

70. สะอาด โยธาผล. เกษตรธรรมชาติช่วยเกษตรได้จริงหรือ. เอกสารสรุปประสบการณ์การสรุปบทเรียนอาสาสมัครรุ่น 12 มูลนิธิอาสาสมัครเพื่อสังคม. กรุงเทพมหานคร: มูลนิธิอาสาสมัครเพื่อสังคม,2534.

71. จตุรงค์ บุณยรัตนสุนทร. การศึกษาเปรียบเทียบเกษตรกรรมทางเลือกกับเกษตรกรรมเชิงเดี่ยว :ศึกษากรณีเกษตรกรบ้านอุดมพัฒนา อ.หนองบัว จ.นครสวรรค์.วิทยานิพนธ์ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2537.

72. Watanabe,Ko."Cost-Benefit Analysis of Integrated Farming: A case study of Northeasthern Thailand."Master Degree Thesis, Faculty of Economics,Thammasart University Thailand, 1995.

Copyright by Mahidol University

รายการอ้างอิง (ต่อ)

73. Arunee Wiengsang. " Economic Viability of Alternative Rice Production System in Rainfed Lowland of Northeast Thailand". Master Degree Thesis. Agricultural Faculty. Chiengmai University, 1996.

74. Current Dean, Ernst Lutz, Sara J. Scherr.(Ed). The Cost Benefits and Adoption of Agroforestry Project Experiences in Central America and the Caribbean. Washington D.C.: The World Bank,1995.

75. เบญจมาศ จันทร์แก้ว. การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจของการผลิตผักโดยการใช้สารธรรมชาติและสารเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาเศรษฐศาสตร์เกษตร ภาควิชาเศรษฐศาสตร์เกษตรและทรัพยากร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,2538.

76.จิระศักดิ์ อรุณศรี ,อัจฉรา นันทกิจ,เริงชัย ชุ่มภิรมย์. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์กับพืชตระกูลถั่วที่เป็นพืชผัก. กรุงเทพมหานคร:กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร,2538.

77. วิชิต ถิ่นวัฒนากูล. ผลกระทบของเกษตรแผนใหม่.เอกสารประกอบการสัมมนาเกษตรกรรมทางเลือกในภาคเหนือ สำนักงานเกษตรภาคเหนือ,2536.

78. พนมพร ขันธวิไชย. รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาสภาพปัญหาและแนวความคิดของเกษตรกรเกี่ยวกับเกษตรกรรมธรรมชาติ:กรณีศึกษาหมู่บ้านจ.สกลนคร.กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิจัยเชิงคุณภาพแห่งประเทศไทย,2536.

79. เกียรติพิบูล แสงสี. การยอมรับระบบเกษตรแบบผสมผสานของครัวเรือนชนบทใน อ. คลองหลวง จ.ปทุมธานี . วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตร์มหาบัณฑิต.สาขาวิชานโยบายและการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกริก,2540.

80. สุชิน ฉิมไทย. ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจทำการเกษตรแบบผสมผสานของเกษตรกรในเขตชลประทานจ.มหาสารคาม. วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตร์มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น,2536.

81. อัจฉรีย์ รุจวิชัย,มรว. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำเกษตรยั่งยืนในพื้นที่ต้นน้ำภาคเหนือตอนบน กรณีศึกษาลุ่มน้ำแม่เกาะต.สะลวงอ.แม่ริมจ.เชียงใหม่วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,2538.

Copyright by Mahidol University

รายการอ้างอิง (ต่อ)

82. ลีศึก ฤทธิ์เนติกุล. ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับระบบการเกษตรกรรมผสมผสานบนที่สูงของชาวเขาเผ่าม้งบ้านช่างเคี่ยน-ดอยปุยจ.เชียงใหม่ วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตร์สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,2538.

83.เพ็ญสุดา สอนบุญ. การเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ระบบการผลิตแบบเกษตรทางเลือกของเกษตรกรในชนบท. วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการศึกษานอกระบบ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,2539.

84. สัมพันธ์ เตชะอธิกและคนอื่นๆ. บทบาทขององค์กรพัฒนาเอกชนต่อการพัฒนาภูมิภาคอีสาน:ศึกษาเฉพาะกรณีบทบาทต่อการพัฒนาการเกษตรแบบผสมผสาน.ขอนแก่น: สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยขอนแก่น,2537.

85. กรมพัฒนาที่ดิน. กองวางแผนการใช้ที่ดิน. แผนการใช้ที่ดินบริเวณพื้นที่โครงการศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริและหมู่บ้านบริเวณรอบศูนย์ อ. พนมสารคาม จ. ฉะเชิงเทรา. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน,2531.

86. กรมทรัพยากรธรณี. กองธรณีวิทยา. แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดฉะเชิงเทรามาตราส่วน 1: 50,000,2539.

87. สิโรตม์ ศัลยพงษ์. แผนที่ธรณีวิทยาระวางอ.พนมสารคามจ.ฉะเชิงเทรา มาตราส่วน 1:50,000,2539.

88. กรมพัฒนาที่ดิน. กองสำรวจและจำแนกดิน. รายงานการสำรวจดินบริเวณพื้นที่บางส่วนของโครงการศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริรายงานการสำรวจดินฉบับที่ 358. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน,2526.

89. สุเมธ วัฒนธรรม, ปรีชา โพธิ์ปาน. รายงานผลการวิจัยเรื่อง การศึกษาการปรับปรุงบำรุงดินด้วยปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักธรรมชาติเพื่อปลูกพืชผักและพืชเศรษฐกิจบางชนิดในชุดดินมาบบอน (กลุ่มดินที่35). ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา,ม.ป.ป..

90. พจนีย์ มอญเจริญ. วิธีการวิเคราะห์ดิน น้ำและปุ๋ย ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ. กรุงเทพมหานคร: กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน,2531.

91. Daniel L. Dindal. Soil Biology Guide. New york: John wiley& sons,Inc, 1990.

92. Franz. Schinner. Methods in soil biology. America: Lewis Publishers.,1996.

Copyright by Mahidol University

รายการอ้างอิง (ต่อ)

93. Eltiti A.. Method for studying abundance and species diversity in arable soil. In : Field Method on the stydy of Environmental Effect of Pesticides. Churchill College, Cambridge, 1988, 159-166.

94. Donald J. Borror, Charles A. Triplehorn Norman F. Johnson. An Introduction to the study of insects 6nd, America: Saunders College Publishing, 1989.

95. คณาจารย์ภาควิชากีฏวิทยา.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. บทปฏิบัติการกีฏวิทยาทางการเกษตร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,2540.

96. เบญจภรณ์ ประภักดี. คู่มือปฏิบัติการจุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล,2542.

97. Leka Manoch and Siangjeaw Piriyaprin. Isolating fungi from soil and other organic materials. Application of soil Microorganisms in planting Stock Production. Thailand: ASEAN-Canada Forest Tree Seed Centre Project, 1993.

98. Ronald M. Atlas. Handbook of Microbiological Media. America: Lawrence C. Parks,1993.

99. S. Segoe Rd, Madison. Method of soil Analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties.America: Lewis Publishers,1982.

100. Domsch, K.H.,W. GAMS and T.H. Anderson. Compendium of soil fungi I, II. London: Academic Press,1993.

101. G.S. de hoog & J. Guarro. Atlas of Clinical Fungi. America: Central burean voor schimmelcultures.,1995.

102. Connie R. Mahon, George Manusclis, Jr. Text book of Diagnostic microbiology. America: WB. Saunders Company.,1995.

103. Deacan, J.W. Modern Mycology 3rd ed. America: Institute of cell & Molecular Biology, University of Ediburgh.,1997.

104. Raper, K.B. & D.I. Fennell. The genus Aspergillus. America: The williams & Wilkins, Bultimore,1965.

105. Anderson , Bjorn. Root cause analysis : simplified tools and techniques. America: Lewis Publishers,2000.

Copyright by Mahidol University

รายการอ้างอิง (ต่อ)

106. คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,2541.

107. กรมพัฒนาที่ดิน. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ. ความรู้เรื่องอินทรีย์วัตถุในดิน (คู่มือเจ้าหน้าที่รัฐ) กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน,2537.

108. Kim H. Tan. Environmental Soil Science. America: Marcel Dekker,Inc, 1994.

109. Neville J. Dix & John Webster. Fungal Ecology. London: Chapman&Hall, 1995.

110. Paul E.A.andClark F.E. Soil microbiology and biochemistry.(2Ed)London: Academic Press, 1996.

111.Robert L.TateIII. Soil organic matter Biological and Ecological Effects. America: John wiley& sons,Inc, 1987.

112. เลขา มาโนช, จินตนา ชะนะ. รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการการเก็บรวบรวมและเก็บรักษาสายพันธุ์เชื้อราในดินและน้ำ. ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,2540.

113. สุวิณา รัตนชัยวงศ์. เอกสารประกอบการบรรยายในการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การใช้เชื้อจุลินทรีย์ควบคุมศัตรูพืช. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.,2538.

114. Marianne H. DonKer, Herman Eijsackers, Fred Heimbach.Ecotoxicology of soil organisms. America: Lewis Publishers, 1994.

115. Lilian E. Hawker and Alan H. Linton. Microorganisms. America: John wiley& sons,Inc, 1979.

116. Millar,C.E.,Turk L.M.,Foth H.D. Foundamental of soil science.New york:John wiley& sons,Inc, 1951.

117. Michael J.Singer,Donald N.Munns. Soil an Introduction 3Ed. America: Prentice Hall, Inc, 1996.

118. Chen Y. and Aunimelech Y. The Role of organic matter in modern agriculture. Dordrecht netherlands: Martinus nijhoff Publishers, 1986.

119. Robert L.TateIII. Soil microbiology. America: John wiley& sons,Inc, 1995.

****

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก ก

สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก ก
สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ

1) Bacteria media (ดัดแปลงจาก Berg et al.1972)

Glucose	5.0	gm
Peptone	5.0	gm
$MgSO_4 .7H_2O$	0.5	gm
Yeast extract	0.5	gm
Agar	15.0	gm
Distilled water	1000	mL
Actidione	30	ppm

ละลายส่วนผสมทั้งหมดในน้ำกลั่น นำไปต้มจนวุ้นหลอมละลาย เทใส่ในภาชนะ ปิดปากภาชนะด้วยจุกสำลีแล้วห่อด้วยฟรอย์ จากนั้นนำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง Autoclave ที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที หลังจาก Autoclave อาหารแล้ว ใส่ 4 มิลลิลิตร ของ 30 ppm Actidione ลงในขวดอาหารเลี้ยงเชื้อ

Copyright by Mahidol University

2) Fungi media (Murao et al. 1979)

Glucose	6.0	gm
$(NH_4)_2SO_4$	2.0	gm
KH_2PO_4	0.6	gm
K_2HPO_4	0.4	gm
$MgSO_4 .7H_2O$	0.5	gm
Ferric citrate	10.0	mg
$ZnSO_4 .7H_2O$	4.4	mg
$MnSO_4 .4H_2O$	5.0	mg
$CaCl_2$	55.0	mg
$CoCl_2 .6H_2O$	1.0	mg
Thiamine hydrochloride	100.0	mg
Yeast extract	1.0	gm
Agar	15.0	gm
Distilled water	1000	mL
Streptomycin	30	ppm

ละลายส่วนผสมทั้งหมดในน้ำกลั่น นำไปต้มจนวุ้นหลอมละลาย เทใส่ในภาชนะ ปิดปากภาชนะด้วยจุกสำลีแล้วห่อด้วยฟรอย์ จากนั้นนำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง Autoclave ที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที หลังจาก Autoclave อาหารแล้วใส่ 4 มิลลิลิตรของ 30 ppm Streptomycin ลงในขวดอาหารเลี้ยงเชื้อ

Copyright by Mahidol University

3) Actinomycetes media (Murao et al. 1979)

Glucose	6.0	gm
$(NH_4)_2SO_4$	1.0	gm
KH_2PO_4	0.8	gm
K_2HPO_4	0.2175	gm
$Na_2HPO_4 .7H_2O$	0.334	gm
$MgSO_4 .7H_2O$	0.5	gm
$CuSO_4 .5H_2O$	0.001	gm
$FeSO_4 .7H_2O$	0.001	gm
$MnSO_4 .7H_2O$	0.001	gm
$ZnSO_4 .nH_2O$	0.001	gm
Yeast extract	0.1	gm
Agar	15.0	gm
Distilled water	1000	mL
Actidione	30	ppm

ละลายส่วนผสมทั้งหมดในน้ำกลั่น นำไปต้มจนวุ้นหลอมละลาย เทใส่ในภาชนะ ปิดปากภาชนะด้วยจุกสำลีแล้วห่อด้วยฟรอย์ จากนั้นนำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยเครื่อง Autoclave ที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที หลังจาก Autoclave อาหารแล้วใส่ 4 มิลลิลิตรของ 30 ppm Actidione ลงในขวดอาหารเลี้ยงเชื้อ

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก ข

- ข้อมูลคุณสมบัติดินก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว
- ข้อมูลสัตว์ในดินก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว
- ข้อมูลจุลินทรีย์ดินก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว

Copyright by Mahidol University

ตาราง ผ-1 ตำแหน่งแปลงทดลองในพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน

ตำรับ	ข้าวโพดหวาน				ถั่วฝักยาว				มะระจีน				แตงร้าน			
การทดลอง	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
T1	1	21	51	61	11	32	52	72	2	31	41	62	12	22	42	71
T2	13	23	44	74	14	24	54	73	3	33	43	63	4	34	53	64
T3	5	35	45	65	15	36	56	76	6	25	46	66	16	26	55	75
T4	17	38	48	78	7	28	58	68	18	27	57	67	8	37	47	77
T5	9	30	59	70	19	40	50	80	20	39	49	79	10	29	60	69

หมายเหตุ :
T1 = ตำรับการทดลองที่ 1
T2 = ตำรับการทดลองที่ 2
T3 = ตำรับการทดลองที่ 3
T4 = ตำรับการทดลองที่ 4
T5 = ตำรับการทดลองที่ 5
R1 = ซ้ำที่ 1
R2 = ซ้ำที่ 2
R3 = ซ้ำที่ 3
R4 = ซ้ำที่ 4

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

แปลงที่	*Soil Physic*		*Soil Chemistry*												
	WHC	Moisture	pH	O.M.	C/N ratio	CEC	Total N	Exchangeable (meq/100g)					EXTRACTABLE (ppm)		
	(%/ g dry soil)	(%/ g dry soil)		(%/ g dry soil)		(meq/100g)	(%)	Ca	Mg	Na	K	% Base saturation	P	K	Ca	Mg
Control	20.84	9.57	7.4	1.91	11.07	6.56	0.10	13.04	1.17	0.72	0.46	234.54	322	69	1487	139
1	34.27	10.88	6.6	3.32	11.35	6.38	0.17	13.52	0.39	0.64	0.24	231.90	1264	106	2272	215
2	32.84	10.65	6.8	3.00	11.60	6.90	0.15	11.96	1.00	0.24	0.20	194.17	1289	93	2192	154
3	38.85	18.09	6.6	3.85	11.73	7.98	0.19	12.83	0.22	0.54	0.41	177.37	1619	120	1964	170
4	37.20	14.95	6.5	3.72	11.36	7.40	0.19	13.75	0.94	0.80	0.38	214.50	1828	107	1854	166
5	28.57	6.90	6.8	2.45	11.83	4.51	0.12	12.94	1.19	0.54	0.23	330.32	978	85	2092	86
6	28.88	5.08	6.9	1.88	12.11	5.24	0.09	11.27	0.16	0.38	0.14	228.07	835	57	2052	64
7	26.47	6.45	6.9	1.82	11.77	5.22	0.09	11.40	0.11	0.36	0.29	232.87	709	120	1930	77
8	28.04	10.18	7.0	2.13	11.27	6.42	0.11	16.22	1.17	0.37	0.35	282.19	723	145	2463	124
9	26.57	5.44	6.9	1.77	11.44	5.36	0.09	11.79	0.17	0.33	0.22	233.38	803	91	2157	68
10	27.34	5.98	6.8	2.64	11.76	4.43	0.13	13.97	0.18	0.33	0.38	335.32	953	135	2071	87
11	34.62	6.28	7.1	2.46	11.91	8.63	0.12	17.68	1.46	0.34	0.25	228.55	894	81	2293	110
12	36.70	11.73	6.7	3.19	11.56	7.68	0.16	14.73	0.99	0.32	0.27	215.12	1470	108	2293	172
13	37.47	10.24	6.8	2.98	11.53	6.42	0.15	11.70	1.12	0.32	0.26	208.73	1552	120	2438	181
14	35.64	9.27	6.8	3.08	11.93	8.75	0.15	14.89	0.82	0.33	0.27	186.38	1017	113	2495	204
15	30.77	4.86	6.9	1.78	11.44	5.76	0.09	13.73	0.15	0.37	0.22	251.11	981	81	1882	78
16	30.99	5.65	6.9	2.40	11.58	5.88	0.12	12.82	0.31	0.33	0.24	232.94	1016	97	2003	94
17	27.31	5.44	7.0	1.78	11.44	4.01	0.09	11.54	0.09	0.34	0.22	303.98	787	89	1823	62

Copyright© by Chiang Mai University

ตารางผ-2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

แปลงที่	*Soil Physic*		*Soil Chemistry*													
	WHC	Moisture	pH	O.M.	C/N ratio	CEC	Total N	Exchangeable (meq/100g)				% Base saturation	EXTRACTABLE (ppm)			
	(%/ g dry soil)	(%/ g dry soil)		(%/ g dry soil)		(meq/100g)	(%)	Ca	Mg	Na	K		P	K	Ca	Mg
18	26.25	6.63	7.1	1.74	11.22	4.61	0.09	13.46	0.21	0.37	0.38	312.63	731	145	2104	75
19	27.39	5.71	7.1	1.84	11.88	4.37	0.09	12.78	0.04	0.41	0.32	309.97	802	135	1859	62
20	27.09	5.29	7.2	1.63	11.87	4.33	0.08	13.27	0.28	0.37	0.38	330.15	854	125	2006	76
21	30.75	5.53	6.9	2.76	11.42	8.61	0.14	16.57	1.01	0.35	0.23	210.89	935	91	2604	143
22	32.97	4.42	6.7	2.94	11.40	6.56	0.15	16.47	1.07	0.38	0.20	276.21	1402	74	2169	126
23	33.21	6.14	6.9	2.87	11.92	7.74	0.14	15.35	0.72	0.35	0.32	216.12	924	101	2029	120
24	34.85	8.17	6.7	3.11	11.25	6.56	0.16	16.28	1.39	0.35	0.24	278.21	1398	97	2755	197
25	29.06	4.62	6.9	2.45	11.83	5.64	0.12	11.90	0.32	0.36	0.15	225.67	967	63	2035	84
26	27.67	4.65	6.8	2.38	11.50	4.69	0.12	9.86	0.06	0.33	0.17	222.23	854	74	1617	65
27	26.06	5.18	7.1	1.63	11.87	4.37	0.08	12.91	0.12	0.37	0.21	311.47	741	91	2008	74
28	24.91	3.05	7.1	1.53	11.12	4.13	0.08	12.70	0.11	0.25	0.21	321.07	673	90	1991	61
29	28.19	2.76	7.1	1.58	11.5	3.95	0.08	13.75	0.02	0.19	0.28	360.52	827	120	1735	55
30	27.29	3.84	7.2	1.89	12.22	6.22	0.09	13.12	0.27	0.19	0.41	225.00	903	155	1880	70
31	31.20	6.01	7.0	2.18	11.54	5.00	0.11	11.52	0.66	0.16	0.14	249.56	918	70	2251	116
32	29.34	5.24	7.1	2.49	12.00	5.50	0.12	15.73	1.23	0.33	0.19	317.63	910	64	1901	96
33	34.65	9.30	6.7	3.09	11.93	6.32	0.15	14.44	1.37	0.35	0.38	261.64	1534	130	2447	166
34	32.62	11.08	6.8	2.98	11.53	6.98	0.15	17.31	1.53	0.42	0.41	281.76	1475	155	2475	181
35	24.75	3.04	7.1	2.46	11.91	8.22	0.12	16.15	0.35	0.30	0.18	206.69	860	75	2388	79

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright by Chiang Mai University

ตารางผ-2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

แปลงที่	*Soil Physic*		*Soil Chemistry*												
	WHC	Moisture	pH	O.M.	C/N ratio	CEC	Total N	Exchangeable (meq/100g)					EXTRACTABLE (ppm)		
	(%/ g dry soil)	(%/ g dry soil)		(%/ g dry soil)		(meq/100g)	(%)	Ca	Mg	Na	K	% Base saturation	P	K	Ca	Mg
36	26.75	2.00	7.1	1.93	11.20	4.61	0.10	14.09	0.54	0.36	0.18	329.13	948	79	1814	72
37	23.55	1.77	7.2	1.51	11.00	3.65	0.08	14.78	0.15	0.30	0.21	423.08	710	97	1987	56
38	23.97	2.61	7.1	1.48	12.28	3.47	0.07	10.76	0.22	0.30	0.22	331.47	767	106	1976	60
39	24.43	1.90	7.1	1.42	11.71	4.47	0.07	15.06	0.24	0.29	0.24	354.20	815	104	1945	55
40	24.24	3.81	7.0	1.33	11.00	4.21	0.07	13.63	0.39	0.49	0.28	351.19	903	107	1896	58
41	36.2	6.59	6.9	3.04	11.73	7.40	0.15	16.36	1.23	0.32	0.22	245.03	1664	135	2535	188
42	37.58	8.72	6.8	3.27	11.87	6.18	0.16	19.86	1.47	0.32	0.21	353.84	1499	91	2808	186
43	32.13	8.73	6.7	2.90	11.20	8.37	0.15	15.35	1.08	0.32	0.23	202.88	1524	98	2054	134
44	34.11	5.54	7.0	3.43	11.70	7.64	0.17	18.49	1.81	0.37	0.38	275.42	1636	145	2707	200
45	24.64	2.86	7.2	1.99	11.50	4.21	0.10	13.47	0.44	0.30	0.12	340.44	908	63	1789	66
46	26.15	4.29	7.1	1.74	11.22	6.10	0.09	13.44	0.40	0.36	0.15	235.24	948	55	1625	66
47	26.86	4.65	7.1	1.71	11.00	4.45	0.09	15.85	0.57	0.35	0.24	382.16	678	86	1972	64
48	26.71	1.46	7.1	1.42	11.71	5.28	0.07	12.34	0.14	0.34	0.44	251.03	778	130	1959	60
49	28.28	1.88	7.1	1.56	11.37	3.51	0.08	9.94	0.17	0.32	0.18	302.26	1044	94	1939	65
50	28.86	2.20	7.2	1.63	11.87	5.86	0.08	12.66	0.43	0.34	0.41	236.21	933	140	1859	64
51	34.90	3.98	7.2	2.42	11.66	7.10	0.12	13.53	0.92	0.31	0.17	210.31	1160	120	2798	187
52	33.64	7.41	6.9	2.97	11.46	8.22	0.15	16.30	1.08	0.36	0.19	218.15	1320	79	2485	138
53	38.32	18.53	6.7	3.41	11.64	10.23	0.17	17.53	1.95	0.34	0.41	197.77	1867	155	2485	247

Copyright© by Mahidol University

ตารางผ-2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

แปลงที่	*Soil Physic*		*Soil Chemistry*													
	WHC	Moisture	pH	O.M.	C/N ratio	CEC	Total N	Exchangeable (meq/100g)					EXTRACTABLE (ppm)			
	(%/ g dry soil)	(%/ g dry soil)		(%/ g dry soil)		(meq/100g)	(%)	Ca	Mg	Na	K	% Base saturation	P	K	Ca	Mg
54	36.45	10.68	6.8	3.58	11.55	8.35	0.18	15.63	1.35	0.17	0.25	208.39	1226	88	1724	141
55	26.36	5.22	7.0	2.88	11.92	5.96	0.14	18.71	0.75	0.35	0.25	336.36	1484	91	1153	84
56	26.85	3.36	7.3	1.57	11.37	4.99	0.08	19.67	0.70	0.19	0.15	414.98	846	63	2176	76
57	24.86	2.31	7.3	1.30	10.71	4.29	0.07	15.84	0.61	0.44	0.17	397.37	845	65	1911	69
58	25.68	2.57	7.3	1.34	11.14	3.77	0.07	16.75	0.54	0.24	0.18	469.76	859	76	2367	69
59	26.75	2.69	7.2	2.11	11.09	4.27	0.11	12.65	0.34	0.41	0.17	317.67	816	68	1504	48
60	25.63	5.49	7.1	2.14	11.27	6.16	0.11	15.86	0.49	0.21	0.38	274.96	852	130	1997	61
61	32.52	4.46	7.0	3.13	11.37	6.78	0.16	19.64	1.26	0.26	0.18	314.80	1424	81	2374	162
62	31.76	5.48	7.0	2.64	11.76	6.22	0.13	19.33	1.46	0.28	0.20	341.92	1573	74	2241	111
63	39.12	12.36	6.7	4.40	11.59	9.79	0.22	20.18	1.67	0.54	0.25	231.24	894	96	2384	164
64	37.75	9.34	6.6	3.37	11.52	9.95	0.17	16.57	2.04	0.32	0.27	192.93	1487	125	2111	241
65	28.36	3.53	7.1	1.69	12.25	5.38	0.08	16.40	0.82	0.40	0.18	330.92	953	69	2390	64
66	26.26	4.18	7.2	2.10	11.09	4.83	0.11	17.60	0.78	0.41	0.14	391.86	1001	63	1266	77
67	25.98	0.85	7.2	1.48	12.28	4.81	0.07	14.34	0.59	0.70	0.13	327.62	744	56	1852	66
68	25.49	3.20	7.4	1.66	12.00	5.04	0.08	14.84	0.79	0.40	0.38	325.56	740	145	1772	84
69	25.65	2.00	7.2	1.73	11.11	4.67	0.09	13.66	0.68	0.14	0.19	314.18	742	91	1667	65
70	23.76	1.92	7.0	1.62	11.75	7.94	0.08	13.69	0.46	0.15	0.11	181.39	768	57	1695	45
71	28.41	3.80	7.0	2.57	11.46	6.32	0.13	14.80	1.32	0.25	0.14	261.23	947	66	2654	163

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

แปลงที่	*Soil Physic*		*Soil Chemistry*												
	WHC	Moisture	pH	O.M.	C/N ratio	CEC	Total N	Exchangeable (meq/100g)					EXTRACTABLE (ppm)		
	(%/ g dry soil)	(%/ g dry soil)		(%/ g dry soil)		(meq/100g)	(%)	Ca	Mg	Na	K	% Base saturation	P	K	Ca	Mg
72	29.31	5.07	7.2	2.16	11.36	4.49	0.11	16.17	0.82	0.35	0.15	389.58	970	60	2010	109
73	32.50	6.58	7.0	2.76	11.42	5.72	0.14	16.87	1.50	0.20	0.22	328.46	924	90	2747	173
74	30.49	5.69	7.1	2.54	11.30	6.04	0.13	17.54	1.38	0.17	0.19	319.31	1043	87	2273	129
75	26.77	3.06	7.1	1.82	11.77	4.79	0.09	14.56	0.64	0.22	0.15	325.03	924	64	1674	71
76	28.53	1.58	7.0	2.11	11.09	4.33	0.11	11.45	0.52	0.17	0.18	284.55	1039	87	1714	67
77	28.68	2.22	7.3	1.73	11.11	8.59	0.09	15.39	0.59	0.24	0.17	190.83	985	57	1594	52
78	28.17	0.25	7.2	0.73	10.50	6.88	0.04	14.60	0.60	0.27	0.14	226.92	810	41	1252	36
79	28.01	3.49	7.1	2.27	12.00	4.95	0.11	11.12	0.72	0.18	0.17	246.24	914	65	1409	55
80	26.69	3.00	7.2	1.67	12.12	6.04	0.08	8.37	0.52	0.17	0.25	154.22	895	140	1569	60

Copyright by Mahidol University

ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาผลประโยชน์ทางการค้า

ตาราง ผ-3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

แปลงที่	*Soil Physic*		*Soil Chemistry*													
	WHC	Moisture	pH	O.M.	C/N ratio	CEC	Total N	Exchangeable (meq/100g)				%Base saturation	EXTRACTABLE (ppm)			
	(%/ g dry soil)	(%/ g dry soil)		(%/ g dry soil)		(meq/100g)	(%)	Ca	Mg	Na	K		P	K	Ca	Mg
Control	20.84	9.57	7.4	1.91	11.07	6.56	0.10	13.04	1.16	0.72	0.16	230.09	322	69	1487	139
1	27.18	13.91	7.2	3.18	11.53	4.97	0.16	12.24	1.50	0.07	0.15	281.28	1674	48	< 1	118
2	24.74	12.59	7.4	2.30	11.12	4.37	0.12	12.07	1.27	0.08	0.12	310.36	1601	49	< 1	128
3	30.13	16.30	6.9	3.75	11.45	5.96	0.19	12.04	1.51	0.07	0.11	230.55	1935	45	< 1	164
4	32.81	19.37	6.8	4.88	11.79	8.39	0.24	13.14	1.82	0.07	0.19	181.64	2342	91	< 1	265
5	23.48	6.31	7.1	2.81	11.64	4.63	0.14	9.76	0.88	0.07	0.19	235.91	1910	80	< 1	74
6	23.90	8.68	7.1	2.27	11.96	5.04	0.11	14.05	0.75	0.13	0.09	298.13	1694	36	< 1	84
7	24.73	9.00	7.3	2.48	11.98	4.31	0.12	14.58	0.84	0.13	0.21	365.92	1183	77	< 1	84
8	24.20	9.19	7.2	2.33	11.26	4.49	0.12	14.40	0.84	0.13	0.22	347.41	1229	95	< 1	103
9	23.14	8.65	7.1	3.77	11.51	5.48	0.19	12.69	0.57	0.10	0.28	249.15	1353	11	< 1	59
10	24.73	4.77	7.2	3.30	11.26	4.11	0.17	9.20	0.79	0.07	0.22	250.55	1416	10	< 1	86
11	30.46	11.04	7.2	3.11	11.27	5.40	0.16	13.57	1.20	0.06	0.13	277.26	1931	58	< 1	126
12	31.39	14.06	7.0	4.00	11.60	7.00	0.20	11.95	1.50	0.06	0.16	195.51	2282	69	< 1	174
13	33.91	16.21	7.0	4.08	11.83	7.50	0.20	14.50	1.95	0.05	0.24	223.33	2219	11	< 1	239
14	33.52	15.88	6.9	4.35	11.45	7.06	0.22	12.08	2.09	0.05	0.22	204.73	2254	90	< 1	223
15	22.67	7.26	7.2	2.49	11.11	4.99	0.13	10.08	0.91	0.04	0.11	223.61	1611	47	< 1	80
16	25.67	7.56	7.1	2.44	11.79	3.91	0.12	9.26	0.95	0.01	0.14	265.43	1389	69	< 1	86
17	24.80	6.87	7.3	2.08	12.06	3.59	0.10	9.41	0.81	0.13	0.24	295.19	1017	102	< 1	69

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University

ตาราง ผ-3 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

แปลงที่	*Soil Physic*		*Soil Chemistry*													
	WHC	Moisture	pH	O.M.	C/N ratio	CEC	Total N	Exchangeable (meq/100g)					EXTRACTABLE (ppm)			
	(%/ g dry soil)	(%/ g dry soil)		(%/ g dry soil)		(meq/100g)	(%)	Ca	Mg	Na	K	%Base saturation	P	K	Ca	Mg
18	23.96	9.43	7.3	1.97	11.42	4.07	0.10	10.09	0.66	0.03	0.16	269.30	1086	80	< 1	67
19	25.08	8.52	7.2	1.72	11.08	4.15	0.09	10.07	0.73	0.05	0.20	266.57	1209	94	< 1	76
20	26.10	6.98	7.2	2.20	11.60	4.11	0.11	9.55	0.75	0.03	0.19	256.31	1385	81	< 1	69
21	28.82	9.98	7.1	3.46	11.80	6.02	0.17	13.02	1.58	0.13	0.20	248.37	1581	83	< 1	170
22	29.27	12.54	7.1	3.76	11.47	6.06	0.19	11.71	1.08	0.11	0.13	215.28	1986	72	< 1	134
23	30.57	21.90	7.2	3.67	11.82	5.46	0.18	15.35	1.78	0.12	0.24	320.68	2150	100	< 1	183
24	35.54	13.19	6.9	3.79	11.57	7.60	0.19	14.36	2.03	0.16	0.19	220.49	2076	82	< 1	204
25	27.57	7.14	7.1	2.72	11.26	4.93	0.14	10.82	1.12	0.13	0.11	247.52	1827	48	< 1	92
26	27.89	7.04	7.2	4.34	11.44	4.77	0.22	11.05	0.90	0.20	0.18	258.96	1667	85	< 1	84
27	23.80	5.28	7.3	1.45	12.01	3.25	0.07	10.70	0.56	0.14	0.16	356.26	1019	62	< 1	59
28	23.08	3.69	7.3	1.56	11.30	3.49	0.08	10.08	0.55	0.12	0.11	311.78	932	56	< 1	53
29	25.23	6.83	7.4	1.84	11.86	3.85	0.09	10.76	0.68	0.20	0.19	307.73	1457	86	< 1	63
30	24.16	7.12	7.3	2.24	11.81	4.35	0.11	11.50	0.80	0.18	0.28	293.81	1441	110	< 1	71
31	27.70	7.33	7.0	2.51	11.19	5.02	0.13	9.67	1.04	0.11	0.08	217.51	1501	42	< 1	105
32	31.84	9.88	7.2	3.30	11.26	6.04	0.17	13.84	1.35	0.16	0.13	256.72	2054	58	< 1	139
33	33.46	12.33	6.9	1.35	11.19	7.36	0.07	12.89	1.86	0.23	0.18	206.22	2397	84	< 1	206
34	35.87	13.35	6.8	4.78	11.55	7.18	0.24	12.04	1.65	0.11	0.18	195.01	2250	89	< 1	193
35	26.42	2.18	7.1	2.61	11.64	3.91	0.13	10.55	0.93	0.14	0.24	303.72	1595	102	< 1	84

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง ผ-3 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

แปลงที่	*Soil Physic*		*Soil Chemistry*													
	WHC	Moisture	pH	O.M.	C/N ratio	CEC	Total N	Exchangeable (meq/100g)				%Base saturation	EXTRACTABLE (ppm)			
	(%/ g dry soil)	(%/ g dry soil)		(%/ g dry soil)		(meq/100g)	(%)	Ca	Mg	Na	K		P	K	Ca	Mg
36	23.55	4.27	7.1	2.69	12.00	5.00	0.13	10.89	0.92	0.11	0.13	241.28	1501	54	< 1	74
37	22.89	3.90	7.4	1.63	11.81	3.83	0.08	12.38	0.80	0.16	0.17	353.45	1053	70	< 1	59
38	23.82	4.88	7.3	1.78	11.47	3.17	0.09	11.49	0.91	0.13	0.22	402.52	973	82	< 1	61
39	21.69	5.30	7.4	1.71	11.01	3.33	0.09	9.57	0.85	0.14	0.15	322.46	1113	73	< 1	57
40	22.91	5.79	7.2	1.98	11.48	4.27	0.10	10.45	0.60	0.12	0.16	265.86	1411	71	< 1	61
41	32.79	9.92	7.1	1.91	11.07	5.90	0.10	14.50	1.81	0.19	0.13	282.05	1844	55	< 1	149
42	33.80	11.29	6.9	4.20	11.60	5.60	0.21	13.41	1.55	0.14	0.13	272.35	2333	57	< 1	128
43	37.98	11.84	6.9	4.40	11.60	7.86	0.22	17.80	2.05	0.14	0.23	257.58	1614	81	< 1	191
44	35.94	14.41	7.1	3.97	11.51	7.96	0.20	14.04	1.93	0.29	0.22	207.26	1535	110	< 1	231
45	26.80	7.80	7.3	2.62	11.68	6.58	0.13	16.06	1.21	0.13	0.34	270.08	1225	45	< 1	88
46	26.16	7.10	7.2	2.12	11.17	7.78	0.11	11.59	1.05	0.22	0.13	167.31	923	55	< 1	67
47	22.37	4.15	7.4	1.89	10.96	3.99	0.10	9.59	0.72	0.17	0.11	266.04	807	55	< 1	59
48	24.96	4.07	7.4	2.02	11.71	4.01	0.10	15.99	1.03	0.13	0.24	434.30	884	63	< 1	53
49	23.61	2.88	7.3	1.68	12.18	3.99	0.08	12.35	0.94	0.13	0.16	340.80	1015	63	< 1	59
50	24.70	3.81	7.2	1.79	11.53	4.05	0.09	13.16	1.04	0.13	0.24	360.14	997	87	< 1	63
51	30.35	6.39	7.2	2.86	11.84	5.08	0.14	13.94	1.38	0.14	0.16	307.97	1077	72	< 1	118
52	29.91	8.52	7.1	3.41	11.63	5.78	0.17	16.48	1.63	0.16	0.15	318.98	1048	64	< 1	155
53	43.03	20.66	6.7	5.50	11.39	9.17	0.28	17.76	2.87	0.16	0.26	229.76	1585	125	< 1	300

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University

ตาราง ผ-3 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

แปลงที่	*Soil Physic*		*Soil Chemistry*													
	WHC	Moisture	pH	O.M.	C/N ratio	CEC	Total N	Exchangeable (meq/100g)					EXTRACTABLE (ppm)			
	(%/ g dry soil)	(%/ g dry soil)		(%/ g dry soil)		(meq/100g)	(%)	Ca	Mg	Na	K	%Base saturation	P	K	Ca	Mg
54	33.96	13.55	7.0	4.54	11.45	7.60	0.23	16.02	2.12	0.18	0.31	245.43	1320	155	< 1	252
55	27.60	6.51	7.2	2.66	11.86	7.98	0.13	11.45	1.04	0.20	0.23	164.03	1377	88	< 1	92
56	24.68	3.20	7.3	1.75	11.28	4.03	0.09	11.07	0.95	0.16	0.18	307.01	880	71	< 1	74
57	23.14	3.42	7.4	1.77	11.40	4.21	0.09	11.42	0.93	0.18	0.13	301.08	630	43	< 1	57
58	22.04	2.60	7.4	1.82	11.72	3.35	0.09	12.03	0.76	0.14	0.14	390.83	684	61	< 1	55
59	23.79	5.22	7.2	1.65	11.96	4.03	0.08	9.42	0.96	0.24	0.26	270.50	832	120	< 1	61
60	26.98	6.65	7.3	2.18	11.49	5.18	0.11	13.96	1.06	0.16	0.19	297.18	1139	80	< 1	78
61	31.79	7.11	7.2	4.19	11.57	6.30	0.21	14.15	1.55	0.20	0.19	255.79	1206	89	< 1	155
62	32.62	8.93	7.3	3.88	11.84	6.02	0.19	15.79	1.49	0.18	0.11	292.12	1325	54	< 1	149
63	38.20	11.97	7.2	5.41	11.62	7.10	0.27	17.10	1.98	0.20	0.26	275.32	1578	89	< 1	155
64	39.10	16.77	7.0	5.76	11.52	8.57	0.29	17.04	2.45	0.17	0.37	233.97	1490	130	< 1	227
65	26.05	5.96	7.2	3.48	11.87	4.49	0.17	11.18	1.10	0.17	0.20	282.05	968	79	< 1	84
66	25.20	3.43	7.4	2.69	11.14	5.48	0.14	11.50	1.05	0.20	0.15	235.52	911	58	< 1	55
67	23.59	3.42	7.4	2.32	11.21	3.15	0.12	9.96	0.76	0.17	0.13	350.46	621	50	< 1	57
68	21.71	2.75	7.5	1.84	11.86	3.29	0.09	10.72	0.82	0.15	0.15	360.58	594	71	< 1	63
69	24.88	2.65	7.2	2.41	11.64	3.43	0.12	9.67	0.77	0.19	0.18	315.46	670	70	< 1	55
70	25.35	5.71	7.3	2.41	11.64	3.51	0.12	10.21	1.07	0.17	0.16	331.28	659	68	< 1	53
71	34.12	12.55	7.0	5.07	11.76	6.90	0.25	14.88	1.69	0.20	0.16	245.68	1217	57	< 1	141

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University

ตาราง ผ-3 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

แปลงที่	*Soil Physic*		*Soil Chemistry*													
	WHC	Moisture	pH	O.M.	C/N ratio	CEC	Total N	Exchangeable (meq/100g)					EXTRACTABLE (ppm)			
	(%/ g dry soil)	(%/ g dry soil)		(%/ g dry soil)		(meq/100g)	(%)	Ca	Mg	Na	K	%Base saturation	P	K	Ca	Mg
72	33.85	11.16	7.3	4.10	11.32	6.56	0.21	16.68	1.51	0.25	0.13	283.29	1213	47	< 1	122
73	34.61	12.03	7.1	5.49	15.92	7.78	0.20	16.31	2.65	0.29	0.34	252.01	1560	200	< 1	256
74	31.05	11.72	7.2	4.53	11.42	5.56	0.23	14.87	2.29	0.27	0.34	319.9	1254	145	< 1	160
75	27.51	6.21	7.3	3.69	11.26	4.71	0.19	11.95	1.28	0.22	0.21	290.42	1115	76	< 1	92
76	27.42	3.14	7.2	2.77	11.47	4.35	0.14	10.30	1.02	0.17	0.16	268.21	915	68	< 1	88
77	25.72	5.15	7.3	2.58	11.51	4.79	0.13	12.03	0.83	0.16	0.13	274.79	771	47	< 1	61
78	24.18	2.93	7.4	2.45	11.84	3.77	0.12	11.84	0.92	0.21	0.169	348.99	969	62	< 1	65
79	24.33	7.53	7.4	2.64	11.78	5.26	0.13	11.09	1.04	0.16	0.16	237.21	764	60	< 1	74
80	25.19	5.35	7.4	2.74	11.35	6.22	0.14	10.39	1.23	0.22	0.21	194.08	895	91	< 1	88

Copyright© by Mahidol University

ตารางผ-4 ชนิดและจำนวนตัวที่พบของสัตว์ในดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่ศึกษาในช่วงก่อนปลูก

แปลงที่	ชนิดพืช	MACROFAUNA							MESOFAUNA							อื่นๆ
		Earthworms	Enchytraeids	Milliped	Centiped	Snail	Beetles	Mole cricket	Spider	Earwing	Collembola	Termite	Blattids	Diplurans	Ants	
Control		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	
1		0	65	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	
2		0	82	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
3		2	172	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	
4		1	224	1	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
5		0	144	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2	
6		0	202	0	1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	
7		1	232	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	6	
8		0	104	4	2	0	3	0	1	0	0	0	2	0	0	
9		0	170	0	15	0	3	0	0	0	0	1	0	0	32	จิ้งหรีด-1
10		4	103	1	4	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	
11		3	137	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	มวนแดง-1
12		1	219	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	
13		6	172	1	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	10	
14		1	202	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	
15		1	187	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
16		0	274	0	4	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	
17		1	287	0	4	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	
18		1	147	2	7	0	1	0	0	1	0	0	0	1	2	มวนแดง-1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยมหิดล ขอสงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-4 (ต่อ) ชนิดและจำนวนตัวที่พบของสัตว์ในดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่ศึกษาในช่วงก่อนปลูก

แปลงที่	ชนิดพืช	MACROFAUNA							MESOFAUNA							อื่นๆ
		Earthworms	Enchytraeids	Milliped	Centiped	Snail	Beetles	Mole cricket	Spider	Earwing	Collembola	Termite	Blattis	Diplurans	Ants	
19		4	95	4	2	0	2	0	0	0	0	2	0	0	3	
20		4	111	0	3	0	0	1	0	0	0	0	3	0	1	
21		4	134	0	2	0	7	0	0	0	0	4	1	0	6	
22		7	60	0	3	0	2	0	1	0	0	0	0	0	5	
23		6	51	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	
24		3	79	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	0	4	
25		0	50	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	ไข่แมลงวัน-1
26		0	64	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	ดางดก-1
27		1	52	0	4	0	5	0	2	1	0	2	0	1	11	
28		0	41	0	3	0	2	0	0	0	0	2	0	0	1	
29		0	45	1	2	0	3	0	0	0	0	1	0	0	3	
30		0	30	2	1	0	2	0	0	0	0	1	4	0	0	
31		3	47	0	2	0	6	0	0	0	0	0	0	0	3	
32		3	45	0	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	3	
33		0	49	0	0	0	5	0	0	1	0	2	0	0	7	
34		2	80	2	2	0	12	0	0	0	0	0	0	0	3	ตัวสามง่าม-1
35		2	36	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	39	0	
36		0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	ไข่แมลงวัน-17
37		4	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-4 (ต่อ) ชนิดและจำนวนตัวที่พบของสัตว์ในดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่ศึกษาในช่วงก่อนปลูก

แปลงที่	ชนิดพืช	MACROFAUNA							MESOFAUNA							อื่นๆ
		Earthworms	Enchytraeids	Milliped	Centiped	Snail	Beetles	Mole cricket	Spider	Earwing	Collembola	Termite	Blattis	Diplurans	Ants	
38		3	73	1	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	
39		3	75	0	1	0	3	0	0	0	0	0	2	0	2	
40		0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
41		0	43	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
42		0	281	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
43		5	178	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5	
44		4	149	1	0	0	0	0	2	1	0	1	0	0	3	
45		4	99	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	3	จิ้งหรีด-1
46		4	100	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	10	จิ้งหรีด-1
47		5	48	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	2	
48		8	52	0	1	1	2	0	2	0	1	0	0	0	2	
49		7	44	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
50		4	56	0	1	1	2	0	0	0	0	0	3	0	0	
51		0	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
52		2	183	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
53		0	97	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	2	
54		2	95	1	1	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	
55		0	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
56		3	78	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	

Copyright© by Maejo University

ตารางผ-4 (ต่อ) ชนิดและจำนวนตัวที่พบของสัตว์ในดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่ศึกษาในช่วงก่อนปลูก

แปลงที่	ชนิดพืช	MACROFAUNA							MESOFAUNA							อื่นๆ
		Earthworms	Enchytraelds	Milliped	Centiped	Snail	Beetles	Mole cricket	Spider	Earwing	Collembola	Termite	Blattis	Diplurans	Ants	
57		5	69	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	
58		5	65	0	2	0	3	0	1	0	0	0	0	0	2	ดางดก-1
59		6	77	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
60		7	82	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
61		4	90	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	
62		2	196	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	จิ้งหรีด-1
63		3	104	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	หนอนผีเสื้อ-1
64		2	166	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	ดางดก-1
65		2	44	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
66		0	96	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	5	
67		0	153	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
68		19	16	0	3	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	
69		8	62	2	1	0	4	0	0	0	0	2	1	0	3	
70		5	72	4	1	0	2	0	0	0	0	1	2	0	6	
71		6	70	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	จิ้งหรีด-1
72		0	50	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
73		5	99	0	0	0	4	0	0	0	0	5	0	0	0	
74		5	142	0	0	0	0	0	1	2	0	2	0	1	3	
75		2	111	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	3	

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-4 (ต่อ) ชนิดและจำนวนตัวที่พบของสัตว์ในดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่ศึกษาในช่วงก่อนปลูก

แปลงที่	ชนิดพืช	MACROFAUNA							MESOFAUNA							อื่นๆ
		Earthworms	Enchytraelds	Milliped	Centiped	Snail	Beetles	Mole cricket	Spider	Earwing	Collembola	Termite	Blattis	Diplurans	Ants	
76		7	145	1	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	3	
77		4	167	0	32	0	2	0	4	0	0	0	0	0	4	
78		3	71	0	0	3	0	0	0	1	0	1	0	0	4	
79		9	151	1	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3	
80		8	146	2	5	0	3	0	1	0	0	1	0	0	6	

Copyright by Mahidol University

ตาราง ผ-5 ชนิดและจำนวนตัวที่พบของสัตว์ในดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่ศึกษาในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

แปลงที่	ชนิดพืช	MACROFAUNA							MESOFAUNA							อื่นๆ
		Earthworms	Enchytraeids	Milliped	Centiped	Snail	Beetles	Mole cricket	Spider	Earwing	Collembola	Termite	Blattids	Diplurans	Ants	
1	ข้าวโพด	6	143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	มะระจีน	1	309	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	
3	มะระจีน	1	314	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	แตงร้าน	0	390	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	
5	ข้าวโพด	1	249	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	มะระจีน	1	187	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	ถั่วฝักยาว	3	188	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
8	แตงร้าน	1	181	1	5	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	
9	ข้าวโพด	3	99	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	
10	แตงร้าน	1	114	1	2	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	
11	ถั่วฝักยาว	3	323	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	แตงร้าน	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	ข้าวโพด	0	444	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	ถั่วฝักยาว	1	560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	ถั่วฝักยาว	2	372	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
16	แตงร้าน	0	246	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	
17	ข้าวโพด	3	154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	มะระจีน	2	207	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	มวนแดง-1
19	ถั่วฝักยาว	5	152	0	4	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	

Copyright© by Mahidol University

ตาราง ผ-5 (ต่อ) ชนิดและจำนวนตัวที่พบของสัตว์ในดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่ศึกษาในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

แปลงที่	ชนิดพืช	MACROFAUNA							MESOFAUNA							ชื่นๆ
		Earthworms	Enchytraeids	Milliped	Centiped	Snail	Beetles	Mole cricket	Spider	Earwing	Collembola	Termite	Blattids	Diplurans	Ants	
20	มะระจีน	1	126	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	ข้าวโพด	3	158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	แตงร้าน	0	313	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
23	ข้าวโพด	0	351	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
24	ถั่วฝักยาว	0	243	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	มะระจีน	0	370	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
26	แตงร้าน	1	276	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	
27	มะระจีน	3	196	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28	ถั่วฝักยาว	6	167	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
29	แตงร้าน	1	138	7	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	
30	ข้าวโพด	3	145	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
31	มะระจีน	2	126	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	
32	ถั่วฝักยาว	0	194	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	
33	มะระจีน	4	396	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34	แตงร้าน	9	185	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
35	ข้าวโพด	1	135	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
36	ถั่วฝักยาว	3	81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
37	แตงร้าน	19	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
38	ข้าวโพด	15	56	1	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	

Copyright by Mahidol University

ตาราง ผ-5 (ต่อ) ชนิดและจำนวนตัวที่พบของสัตว์ในดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่ศึกษาในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

แปลงที่	ชนิดพืช	MACROFAUNA							MESOFAUNA							อื่นๆ
		Earthworms	Enchytraeids	Milliped	Centiped	Snail	Beetles	Mole cricket	Spider	Earwing	Collembola	Termite	Blattids	Diplurans	Ants	
39	มะระจีน	15	69	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
40	ถั่วฝักยาว	7	60	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
41	มะระจีน	4	298	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
42	แตงร้าน	2	277	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
43	มะระจีน	7	232	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
44	ข้าวโพด	2	420	1	0	0	0	0	0	1	0	5	0	0	0	
45	ข้าวโพด	3	279	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
46	มะระจีน	3	288	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
47	แตงร้าน	5	126	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
48	ข้าวโพด	2	60	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
49	มะระจีน	6	55	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
50	ถั่วฝักยาว	10	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
51	ข้าวโพด	0	166	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
52	ถั่วฝักยาว	2	223	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	
53	แตงร้าน	1	346	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
54	ถั่วฝักยาว	2	225	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
55	แตงร้าน	0	297	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
56	ถั่วฝักยาว	1	158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
57	มะระจีน	5	80	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University

ตาราง ผ-5 (ต่อ) ชนิดและจำนวนตัวที่พบของสัตว์ในดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่ศึกษาในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

แปลงที่	ชนิดพืช	MACROFAUNA							MESOFAUNA							อื่นๆ
		Earthworms	Enchytraeids	Milliped	Centiped	Snail	Beetles	Mole cricket	Spider	Earwing	Collembola	Termite	Blattids	Diplurans	Ants	
58	ถั่วฝักยาว	12	107	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	
59	ข้าวโพด	13	95	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
60	แตงร้าน	3	72	1	3	0	1	0	0	0	0	0	3	0	1	
61	ข้าวโพด	1	213	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	
62	มะระจีน	0	186	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
63	มะระจีน	0	434	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
64	แตงร้าน	3	300	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
65	ข้าวโพด	0	208	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	
66	มะระจีน	0	171	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	4	
67	มะระจีน	4	88	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
68	ถั่วฝักยาว	0	81	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
69	แตงร้าน	2	62	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
70	ข้าวโพด	10	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
71	แตงร้าน	1	162	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
72	ถั่วฝักยาว	1	162	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	
73	ถั่วฝักยาว	1	344	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	
74	ข้าวโพด	2	266	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	
75	แตงร้าน	0	186	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	
76	ถั่วฝักยาว	0	276	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Copyright by Khon Kaen University

ตาราง ผ-5 (ต่อ) ชนิดและจำนวนตัวที่พบของสัตว์ในดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่ศึกษาในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

แปลงที่	ชนิดพืช	MACROFAUNA							MESOFAUNA							อื่นๆ
		Earthworms	Enchytraeids	Milliped	Centiped	Snail	Beetles	Mole cricket	Spider	Earwing	Collembola	Termite	Blattids	Diplurans	Ants	
77	แตงร้าน	1	78	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
78	ข้าวโพด	8	55	0	1	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	
79	มะระจีน	3	82	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	
80	ถั่วฝักยาว	8	65	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	

Copyright by Mahidol University

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำนักหอสมุด

ตาราง ผ-6 เปรียบเทียบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต

แปลงที่	ชนิดพืช	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในดิน (โคโลนี/กรัมของดิน)					
		รา		แอคติโนมัยสีท		แบคทีเรีย	
		ก่อนปลูก	หลังเก็บเกี่ยว	ก่อนปลูก	หลังเก็บเกี่ยว	ก่อนปลูก	หลังเก็บเกี่ยว
Control	-	3.5×10^{4}	-	4.1×10^{6}	-	5.2×10^{9}	-
1	ข้าวโพดหวาน	3.6×10^{5}	7.9×10^{5}	3.4×10^{7}	3.8×10^{6}	3.4×10^{9}	3.0×10^{7}
2	มะระจีน	3.4×10^{5}	3.5×10^{5}	4.2×10^{7}	5.2×10^{6}	3.0×10^{7}	3.1×10^{7}
3	มะระจีน	7.3×10^{5}	3.8×10^{5}	4.0×10^{7}	3.0×10^{6}	3.4×10^{7}	3.4×10^{7}
4	แตงร้าน	5.4×10^{5}	9.9×10^{4}	4.5×10^{7}	3.0×10^{6}	2.4×10^{9}	3.2×10^{8}
5	ข้าวโพดหวาน	3.5×10^{5}	5.4×10^{5}	3.0×10^{7}	3.3×10^{6}	3.5×10^{7}	3.0×10^{7}
6	มะระจีน	5.6×10^{5}	3.5×10^{5}	3.8×10^{7}	3.8×10^{6}	3.3×10^{9}	3.1×10^{7}
7	ถั่วฝักยาว	4.1×10^{5}	6.8×10^{5}	4.3×10^{7}	4.5×10^{6}	3.4×10^{7}	3.1×10^{7}
8	แตงร้าน	5.4×10^{5}	5.6×10^{5}	3.0×10^{7}	4.2×10^{6}	3.0×10^{9}	3.4×10^{7}
9	ข้าวโพดหวาน	7.3×10^{5}	5.2×10^{5}	3.4×10^{7}	4.6×10^{6}	3.0×10^{8}	3.2×10^{7}
10	แตงร้าน	4.1×10^{5}	8.1×10^{5}	3.6×10^{8}	5.7×10^{6}	7.1×10^{10}	3.2×10^{7}
11	ถั่วฝักยาว	3.9×10^{5}	3.9×10^{5}	3.1×10^{7}	3.8×10^{6}	3.7×10^{7}	3.0×10^{7}
12	แตงร้าน	4.3×10^{5}	4.0×10^{5}	4.6×10^{8}	3.5×10^{6}	4.6×10^{7}	3.1×10^{7}
13	ข้าวโพดหวาน	4.0×10^{5}	4.4×10^{5}	3.9×10^{7}	3.4×10^{6}	3.1×10^{7}	3.3×10^{7}
14	ถั่วฝักยาว	5.8×10^{5}	6.1×10^{4}	3.1×10^{8}	5.3×10^{6}	3.9×10^{7}	4.2×10^{7}
15	ถั่วฝักยาว	4.9×10^{5}	4.4×10^{4}	3.4×10^{7}	3.3×10^{6}	3.0×10^{9}	3.1×10^{7}
16	แตงร้าน	4.6×10^{5}	4.1×10^{4}	3.4×10^{7}	3.9×10^{6}	3.6×10^{7}	3.3×10^{7}
17	ข้าวโพดหวาน	5.7×10^{5}	3.0×10^{5}	3.4×10^{7}	3.6×10^{6}	3.1×10^{10}	3.4×10^{7}
18	มะระจีน	5.9×10^{5}	4.1×10^{4}	3.1×10^{7}	4.6×10^{6}	3.7×10^{7}	3.3×10^{7}
19	ถั่วฝักยาว	4.2×10^{5}	3.3×10^{5}	4.5×10^{7}	3.4×10^{6}	3.1×10^{7}	3.0×10^{7}
20	มะระจีน	9.0×10^{5}	3.2×10^{5}	6.1×10^{7}	3.9×10^{6}	1.8×10^{11}	5.0×10^{10}
21	ข้าวโพดหวาน	3.7×10^{5}	5.7×10^{5}	4.8×10^{8}	3.8×10^{8}	3.9×10^{8}	3.8×10^{7}
22	แตงร้าน	4.3×10^{5}	7.2×10^{5}	3.3×10^{7}	3.3×10^{8}	3.1×10^{8}	3.0×10^{7}
23	ข้าวโพดหวาน	6.2×10^{5}	6.5×10^{5}	3.5×10^{8}	5.8×10^{8}	3.0×10^{8}	3.3×10^{7}
24	ถั่วฝักยาว	3.0×10^{5}	6.5×10^{5}	4.4×10^{7}	6.9×10^{8}	2.04×10^{11}	3.8×10^{8}
25	มะระจีน	6.7×10^{5}	4.7×10^{5}	5.9×10^{7}	6.3×10^{7}	3.4×10^{8}	5.3×10^{7}
26	แตงร้าน	1.05×10^{6}	4.9×10^{5}	4.0×10^{8}	3.7×10^{7}	3.9×10^{9}	3.5×10^{8}

Copyright by Mahidol University

ตาราง ผ-6 (ต่อ) เปรียบเทียบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน ทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต

แปลงที่	ชนิดพืช	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในดิน (โคโลนี/กรัมของดิน)					
		รา		แอคติโนมัยสีท		แบคทีเรีย	
		ก่อนปลูก	หลังเก็บเกี่ยว	ก่อนปลูก	หลังเก็บเกี่ยว	ก่อนปลูก	หลังเก็บเกี่ยว
27	มะระจีน	7.4×10^5	3.5×10^5	8.4×10^7	3.7×10^8	3.5×10^8	3.0×10^8
28	ถั่วฝักยาว	7.7×10^5	4.3×10^5	9.1×10^7	4.5×10^6	3.9×10^8	3.0×10^7
29	แตงร้าน	1.46×10^6	3.9×10^5	3.4×10^8	4.9×10^8	3.3×10^{10}	4.5×10^8
30	ข้าวโพดหวาน	7.9×10^5	7.1×10^5	1.03×10^9	3.0×10^8	4.2×10^8	4.0×10^8
31	มะระจีน	7.9×10^5	5.5×10^5	4.0×10^7	3.4×10^6	4.0×10^8	3.5×10^7
32	ถั่วฝักยาว	8.7×10^5	4.6×10^5	3.4×10^7	3.6×10^6	3.8×10^9	3.5×10^7
33	มะระจีน	8.1×10^5	4.5×10^5	5.7×10^6	3.8×10^6	3.2×10^8	3.3×10^7
34	แตงร้าน	1.46×10^6	7.0×10^5	3.7×10^8	3.5×10^6	4.0×10^8	3.4×10^7
35	ข้าวโพดหวาน	8.0×10^5	3.2×10^5	6.2×10^6	3.9×10^6	3.3×10^7	3.3×10^9
36	ถั่วฝักยาว	5.5×10^5	6.0×10^5	3.4×10^7	4.0×10^6	3.5×10^7	3.2×10^9
37	แตงร้าน	8.4×10^5	5.2×10^5	5.8×10^6	3.1×10^6	3.6×10^7	3.2×10^7
38	ข้าวโพดหวาน	1.54×10^6	6.0×10^5	4.3×10^8	3.4×10^6	4.0×10^8	3.1×10^7
39	มะระจีน	8.0×10^5	3.6×10^5	8.4×10^6	3.0×10^6	3.5×10^9	3.0×10^8
40	ถั่วฝักยาว	1.23×10^6	8.8×10^5	3.3×10^7	5.0×10^7	5.1×10^7	3.0×10^7
41	มะระจีน	7.8×10^5	6.2×10^4	3.3×10^7	4.5×10^8	4.0×10^8	3.4×10^7
42	แตงร้าน	8.8×10^5	4.7×10^4	6.4×10^6	3.6×10^8	5.1×10^8	3.0×10^7
43	มะระจีน	1.42×10^6	3.1×10^5	6.6×10^6	5.4×10^7	3.7×10^7	3.2×10^7
44	ข้าวโพดหวาน	1.01×10^6	3.0×10^4	3.7×10^7	3.9×10^7	3.2×10^8	3.7×10^{10}
45	ข้าวโพดหวาน	1.03×10^6	3.9×10^4	3.0×10^7	5.5×10^7	4.2×10^7	3.3×10^7
46	มะระจีน	1.62×10^6	3.0×10^4	5.8×10^8	4.7×10^6	7.9×10^8	3.7×10^7
47	แตงร้าน	2.51×10^6	3.0×10^5	4.1×10^8	4.0×10^8	5.1×10^8	3.3×10^7
48	ข้าวโพดหวาน	2.09×10^6	3.1×10^4	5.6×10^7	3.8×10^8	2.4×10^7	3.1×10^8
49	มะระจีน	1.42×10^6	3.8×10^4	3.3×10^8	3.3×10^7	1.75×10^{11}	3.1×10^8
50	ถั่วฝักยาว	1.71×10^6	3.7×10^5	7.9×10^7	7.2×10^7	4.1×10^7	3.0×10^8
51	ข้าวโพดหวาน	9.1×10^5	6.0×10^4	5.1×10^7	4.0×10^8	4.0×10^9	5.0×10^{10}
52	ถั่วฝักยาว	8.2×10^5	6.0×10^3	3.7×10^7	4.4×10^8	3.6×10^9	3.9×10^{10}
53	แตงร้าน	7.7×10^5	5.7×10^3	3.8×10^7	5.0×10^8	4.1×10^7	2.45×10^{11}

Copyright by Mahidol University

ตาราง ผ-6 (ต่อ) เปรียบเทียบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในดินแต่ละแปลงย่อยของพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืน ทั้งในช่วงก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต

แปลงที่	ชนิดพืช	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในดิน (โคโลนี/กรัมของดิน)					
		รา		แอคติโนมัยสีท		แบคทีเรีย	
		ก่อนปลูก	หลังเก็บเกี่ยว	ก่อนปลูก	หลังเก็บเกี่ยว	ก่อนปลูก	หลังเก็บเกี่ยว
54	ถั่วฝักยาว	1.39×10^{6}	3.6×10^{4}	3.4×10^{7}	3.0×10^{8}	3.3×10^{8}	3.5×10^{8}
55	แตงร้าน	1.35×10^{6}	3.1×10^{4}	5.0×10^{7}	5.7×10^{7}	3.0×10^{7}	6.0×10^{10}
56	ถั่วฝักยาว	9.0×10^{5}	3.1×10^{4}	3.1×10^{7}	3.4×10^{8}	3.4×10^{8}	8.5×10^{8}
57	มะระจีน	4.8×10^{5}	3.0×10^{4}	3.0×10^{7}	5.0×10^{8}	3.1×10^{7}	4.8×10^{10}
58	ถั่วฝักยาว	1.20×10^{6}	3.7×10^{4}	4.7×10^{7}	3.2×10^{8}	3.2×10^{7}	7.0×10^{7}
59	ข้าวโพดหวาน	9.5×10^{5}	6.8×10^{3}	3.3×10^{7}	3.8×10^{8}	3.0×10^{7}	4.1×10^{10}
60	แตงร้าน	8.4×10^{5}	3.9×10^{4}	5.3×10^{7}	3.3×10^{8}	3.5×10^{7}	4.0×10^{9}
61	ข้าวโพดหวาน	9.9×10^{5}	3.4×10^{4}	5.2×10^{7}	4.1×10^{8}	4.1×10^{9}	5.9×10^{11}
62	มะระจีน	6.0×10^{5}	4.4×10^{3}	3.0×10^{7}	6.0×10^{8}	3.5×10^{7}	3.0×10^{10}
63	มะระจีน	7.3×10^{5}	6.9×10^{5}	5.3×10^{7}	3.9×10^{6}	4.5×10^{10}	1.42×10^{12}
64	แตงร้าน	7.8×10^{5}	7.7×10^{5}	7.2×10^{6}	3.3×10^{7}	3.5×10^{8}	3.8×10^{11}
65	ข้าวโพดหวาน	8.5×10^{5}	4.3×10^{4}	4.7×10^{7}	3.0×10^{6}	3.2×10^{8}	3.1×10^{11}
66	มะระจีน	9.5×10^{5}	4.0×10^{3}	4.8×10^{7}	3.2×10^{6}	5.0×10^{7}	4.2×10^{8}
67	มะระจีน	1.05×10^{6}	3.0×10^{5}	6.9×10^{8}	3.0×10^{6}	4.3×10^{8}	8.4×10^{11}
68	ถั่วฝักยาว	4.0×10^{5}	3.5×10^{5}	3.3×10^{7}	3.1×10^{6}	3.1×10^{10}	6.2×10^{11}
69	แตงร้าน	5.7×10^{5}	4.3×10^{4}	6.5×10^{6}	3.0×10^{6}	3.0×10^{7}	7.0×10^{11}
70	ข้าวโพดหวาน	1.37×10^{6}	4.7×10^{4}	5.3×10^{7}	3.0×10^{6}	3.3×10^{7}	4.5×10^{11}
71	แตงร้าน	6.8×10^{5}	6.2×10^{3}	5.2×10^{7}	3.7×10^{6}	4.0×10^{8}	8.0×10^{11}
72	ถั่วฝักยาว	6.4×10^{5}	3.4×10^{4}	3.0×10^{7}	3.1×10^{7}	4.7×10^{7}	8.4×10^{11}
73	ถั่วฝักยาว	7.4×10^{5}	3.0×10^{5}	3.4×10^{7}	3.7×10^{6}	3.4×10^{7}	5.6×10^{11}
74	ข้าวโพดหวาน	6.9×10^{5}	3.8×10^{4}	4.2×10^{7}	3.2×10^{6}	3.0×10^{9}	3.4×10^{11}
75	แตงร้าน	8.2×10^{5}	4.6×10^{5}	4.2×10^{6}	3.4×10^{6}	3.6×10^{7}	7.6×10^{11}
76	ถั่วฝักยาว	6.3×10^{5}	3.2×10^{5}	5.1×10^{8}	3.1×10^{8}	3.2×10^{8}	3.4×10^{9}
77	แตงร้าน	1.17×10^{6}	3.6×10^{4}	3.8×10^{7}	3.6×10^{8}	1.69×10^{11}	3.4×10^{11}
78	ข้าวโพดหวาน	8.9×10^{5}	3.8×10^{5}	1.2×10^{9}	4.6×10^{8}	3.7×10^{9}	1.31×10^{12}
79	มะระจีน	8.4×10^{5}	3.3×10^{5}	4.1×10^{8}	6.7×10^{7}	3.4×10^{9}	4.4×10^{11}
80	ถั่วฝักยาว	1.22×10^{6}	3.2×10^{5}	3.3×10^{8}	3.8×10^{8}	1.22×10^{11}	3.2×10^{11}

Copyright by Mahidol University



ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

WHC (%)	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	34.27	34.62	32.84	36.70	32.94	28.41	37.58	2.7237
T1R2	30.75	29.34	31.20	32.97				
T1R3	34.90	33.64	36.20	37.58				
T1R4	32.52	29.31	31.76	28.41				
T2R1	37.47	35.64	38.85	37.20	35.34	30.49	39.12	2.6667
T2R2	33.21	34.85	34.65	32.62				
T2R3	34.11	36.45	32.13	38.32				
T2R4	30.49	32.50	39.12	37.75				
T3R1	28.57	30.77	28.88	30.90	27.58	24.64	30.9	1.8508
T3R2	24.75	26.75	29.06	27.67				
T3R3	24.64	26.85	26.15	26.36				
T3R4	28.36	28.53	26.26	26.77				
T4R1	27.31	26.47	26.25	28.04	26.187	23.55	28.68	1.4541
T4R2	23.97	24.91	26.06	23.55				
T4R3	26.71	25.68	24.86	26.86				
T4R4	28.17	25.49	25.98	28.68				
T5R1	26.57	27.39	27.09	27.34	26.636	23.76	28.86	1.5173
T5R2	27.29	24.24	24.43	28.19				
T5R3	26.75	28.86	28.28	25.63				
T5R4	23.76	26.69	28.01	25.65				
$\bar{X}$	29.2285	29.449	29.903	30.3595	29.735	23.55	39.12	4.256
Min	23.76	24.24	24.43	23.55				
Max	37.47	36.45	39.12	38.32				
S.D.	4.0255	3.8762	4.5192	4.7818				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	1095.3927	4	273.8482	55.51000	1.684E-19	2.52521		
Columns	15.1312	3	5.0437	1.02239	3.892E-01	2.75808		
Interaction	24.4525	12	2.0377	0.41305	9.528E-01	1.91740		
Within	295.9988	60	4.9333					
Total	1430.9752	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของความชื้นดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลอง ในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

Moisture(%)	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	10.88	6.28	10.65	11.73	6.64	3.8	11.73	2.5461
T1R2	5.53	5.24	6.01	4.42				
T1R3	3.98	7.41	6.59	8.72				
T1R4	4.46	5.07	5.48	3.80				
T2R1	10.24	9.27	18.09	14.95	10.29	5.54	18.53	4.0006
T2R2	6.14	8.17	9.30	11.08				
T2R3	5.54	10.68	8.73	18.53				
T2R4	5.69	6.58	12.36	9.34				
T3R1	6.90	4.86	5.08	5.65	4.06	1.58	6.9	1.3903
T3R2	3.04	2.00	4.62	4.65				
T3R3	2.86	3.36	4.29	5.22				
T3R4	3.53	1.58	4.18	3.06				
T4R1	5.44	6.45	6.63	10.18	3.676	0.25	10.18	2.5856
T4R2	2.61	3.05	5.18	1.77				
T4R3	1.46	2.57	2.31	4.65				
T4R4	0.25	3.20	0.85	2.22				
T5R1	5.44	5.71	5.29	5.98	3.525	0.9	5.98	1.6215
T5R2	3.84	3.81	0.90	2.76				
T5R3	2.69	2.20	1.88	5.49				
T5R4	1.92	3.00	3.49	2.00				
$\bar{X}$	4.622	5.0245	6.0955	6.81	5.638	0.25	18.53	3.632
Min	0.25	1.58	0.85	1.77				
Max	10.88	10.68	18.09	18.53				
S.D.	2.6597	2.5418	4.1486	4.5765				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	535.91307	4	133.97827	21.6951	4.142E-11	2.52521		
Columns	59.83057	3	19.94352	3.2295	0.0285721	2.75808		
Interaction	75.66329	12	6.30527	1.0210	0.4419078	1.91740		
Within	370.53055	60	6.17551					
Total	1041.93748	79						

Copyright by Mahidol University

รางผ-9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของสภาพกรดด่างของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับกาช ทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

pH	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	6.6	7.1	6.8	6.7	6.93	6.6	7.2	0.1778
T1R2	6.9	7.1	7.0	6.7				
T1R3	7.20	6.9	6.9	6.8				
T1R4	7.0	7.2	7.0	7.0				
T2R1	6.8	6.8	6.6	6.5	6.78	6.5	7.1	0.1612
T2R2	6.9	6.7	6.7	6.8				
T2R3	7.0	6.8	6.7	6.7				
T2R4	7.1	7.0	6.7	6.6				
T3R1	6.8	6.9	6.9	6.9	7.03	6.8	7.3	0.1483
T3R2	7.1	7.1	6.9	6.8				
T3R3	7.2	7.3	7.1	7.0				
T3R4	7.1	7.0	7.2	7.1				
T4R1	7.0	6.9	7.1	7.0	7.150	6.9	7.4	0.1317
T4R2	7.1	7.1	7.1	7.2				
T4R3	7.1	7.3	7.3	7.1				
T4R4	7.2	7.4	7.2	7.3				
T5R1	6.9	7.1	7.2	6.8	7.094	6.8	7.2	0.1181
T5R2	7.2	7.0	7.1	7.1				
T5R3	7.2	7.2	7.1	7.1				
T5R4	7.0	7.2	7.1	7.2				
$\bar{X}$	7.02	7.055	6.985	6.92	6.995	6.5	7.4	0.197
Min	6.6	6.7	6.6	6.50				
Max	7.2	7.4	7.3	7.30				
S.D.	0.1642	0.1849	0.2007	0.2215				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	535.9131	4	133.97827	21.69510	4.142E-11	2.52521		
Columns	59.8306	3	19.94352	3.22945	0.0285721	2.75808		
Interaction	75.6633	12	6.30527	1.02101	0.4419078	1.91740		
Within	370.5306	60	6.17551					
Total	1041.9375	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณอินทรียวัตถุในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรชั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

O.M.(%)	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\overline{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	3.32	2.46	3.00	3.19	2.78	2.16	3.32	0.3763
T1R2	2.76	2.49	2.18	2.94				
T1R3	2.42	2.97	3.04	3.27				
T1R4	3.13	2.16	2.64	2.57				
T2R1	2.98	3.08	3.85	3.72	3.25	2.54	4.4	0.4701
T2R2	2.87	3.11	3.09	2.98				
T2R3	3.43	3.58	2.90	3.41				
T2R4	2.54	2.76	4.40	3.37				
T3R1	2.45	1.78	1.88	2.40	2.10	1.57	2.88	0.3652
T3R2	2.46	1.93	2.45	2.38				
T3R3	1.99	1.57	1.74	2.88				
T3R4	1.69	2.11	2.10	1.82				
T4R1	1.78	1.82	1.74	2.13	1.562	0.73	2.13	0.3033
T4R2	1.48	1.53	1.63	1.51				
T4R3	1.42	1.34	1.30	1.71				
T4R4	0.73	1.66	1.48	1.73				
T5R1	1.77	1.84	1.63	2.64	1.802	1.33	2.64	0.3398
T5R2	1.89	1.33	1.42	1.58				
T5R3	2.11	1.63	1.56	2.14				
T5R4	1.62	1.67	2.27	1.73				
$\overline{X}$	2.242	2.141	2.315	2.51	2.30075	0.73	4.4	0.731
Min	0.73	1.33	1.3	1.51				
Max	3.43	3.58	4.4	3.72				
S.D.	0.7129	0.6597	0.8497	0.6930				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	31.63286	4	7.90821	60.16672	2.513E-20	2.52521		
Columns	1.41786	3	0.47262	3.59574	0.01856	2.75808		
Interaction	1.24814	12	0.10401	0.79134	0.65730	1.91740		
Within	7.88630	60	0.13144					
Total	42.18516	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อน

C/Nratio	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	11.35	11.91	11.60	11.56	11.59	11.35	12	0.2103
T1R2	11.42	12.0	11.54	11.40				
T1R3	11.66	11.46	11.73	11.87				
T1R4	11.37	11.36	11.76	11.46				
T2R1	11.53	11.93	11.73	11.36	11.57	11.2	11.93	0.2330
T2R2	11.92	11.25	11.93	11.53				
T2R3	11.70	11.55	11.20	11.64				
T2R4	11.30	11.42	11.59	11.52				
T3R1	11.83	11.44	12.11	11.58	11.60	11.09	12.25	0.3596
T3R2	11.91	11.20	11.83	11.50				
T3R3	11.50	11.37	11.22	11.92				
T3R4	12.25	11.09	11.09	11.77				
T4R1	11.44	11.77	11.22	11.27	11.401	10.5	12.28	0.5323
T4R2	12.28	11.12	11.87	11.00				
T4R3	11.71	11.14	10.71	11.00				
T4R4	10.50	12.00	12.28	11.11				
T5R1	11.44	11.88	11.87	11.76	11.623	11	12.22	0.3785
T5R2	12.22	11.00	11.71	11.50				
T5R3	11.09	11.87	11.37	11.27				
T5R4	11.75	12.12	12.00	11.11				
$\bar{X}$	11.6085	11.544	11.618	11.46	11.55675	10.5	12.28	0.361
Min	10.5	11	10.71	11.00				
Max	12.28	12.12	12.28	11.92				
S.D.	0.4194	0.3590	0.3848	0.2703				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	0.507518	4	0.126879	0.937584	0.448472	2.525212		
Columns	0.332845	3	0.110948	0.819861	0.488003	2.758078		
Interaction	1.363242	12	0.113604	0.839482	0.610321	1.917396		
Within	8.119550	60	0.135326					
Total	10.323155	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

N (%)	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	0.17	0.12	0.15	0.16	0.14	0.11	0.17	0.0195
T1R2	0.14	0.12	0.11	0.15				
T1R3	0.12	0.15	0.15	0.16				
T1R4	0.16	0.11	0.13	0.13				
T2R1	0.15	0.15	0.19	0.19	0.16	0.13	0.22	0.0233
T2R2	0.14	0.16	0.15	0.15				
T2R3	0.17	0.18	0.15	0.17				
T2R4	0.13	0.14	0.22	0.17				
T3R1	0.12	0.09	0.09	0.12	0.11	0.08	0.14	0.0175
T3R2	0.12	0.10	0.12	0.12				
T3R3	0.10	0.08	0.09	0.14				
T3R4	0.08	0.11	0.11	0.09				
T4R1	0.09	0.09	0.09	0.11	0.079	0.04	0.11	0.0153
T4R2	0.07	0.08	0.08	0.08				
T4R3	0.07	0.07	0.07	0.09				
T4R4	0.04	0.08	0.07	0.09				
T5R1	0.09	0.09	0.08	0.13	0.090	0.07	0.13	0.0167
T5R2	0.09	0.07	0.07	0.08				
T5R3	0.11	0.08	0.08	0.11				
T5R4	0.08	0.08	0.11	0.09				
$\bar{X}$	0.112	0.1075	0.1155	0.13	0.115375	0.04	0.22	0.036
Min	0.04	0.07	0.07	0.08				
Max	0.17	0.18	0.22	0.19				
S.D.	0.0362	0.0329	0.0420	0.0338				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	0.078458	4	0.019614	62.185601	1.142E-20	2.525212		
Columns	0.003944	3	0.001315	4.167768	0.009527	2.758078		
Interaction	0.003262	12	0.000272	0.861955	0.588513	1.917396		
Within	0.018925	60	0.000315					
Total	0.104589	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่ปลูกเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

P(ppm)	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	1264	984	1289	1470	1233.06	910	1664	260.211
T1R2	935	910	918	1402				
T1R3	1160	1320	1664	1499				
T1R4	1424	970	1573	947				
T2R1	1552	1017	1619	1828	1371.75	894	1867	324.078
T2R2	924	1398	1534	1475				
T2R3	1636	1226	1524	1867				
T2R4	1043	924	894	1487				
T3R1	978	981	835	1016	971.38	835	1484	150.238
T3R2	860	948	967	854				
T3R3	908	846	948	1484				
T3R4	953	1039	1001	924				
T4R1	787	709	731	723	767.500	673	985	78.729
T4R2	767	673	741	710				
T4R3	778	859	845	678				
T4R4	810	740	744	985				
T5R1	803	802	854	953	864.000	742	1044	77.274
T5R2	903	903	815	827				
T5R3	816	933	1044	852				
T5R4	768	895	914	742				
$\bar{X}$	1003.45	953.85	1072.7	1136.15	1041.5375	673	1867	302.486
Min	767	673	731	678.00				
Max	1636	1398	1664	1867.00				
S.D.	266.318	185.830	327.092	384.611				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	4116176.20	4	1029044.05	27.98797	3.9333E-13	2.52521		
Columns	381247.64	3	127082.55	3.45639	0.021860	2.75808		
Interaction	524867.80	12	43738.98	1.18961	0.311362	1.91740		
Within	2206042.25	60	36767.37					
Total	7228333.89	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณไพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

K(ppm)	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	106	81	93	108	87.06	60	135	21.1738
T1R2	91	64	70	74				
T1R3	120	79	135	91				
T1R4	81	60	74	66				
T2R1	120	113	120	107	114.19	87	155	22.8625
T2R2	101	97	130	155				
T2R3	145	88	98	155				
T2R4	87	90	96	125				
T3R1	85	81	57	97	72.88	55	97	12.7063
T3R2	75	79	63	74				
T3R3	63	63	55	91				
T3R4	69	87	63	64				
T4R1	89	120	145	145	96.188	41	145	33.4190
T4R2	106	90	91	97				
T4R3	130	76	65	86				
T4R4	41	145	56	57				
T5R1	91	135	125	135	109.813	57	155	29.9115
T5R2	155	107	104	120				
T5R3	68	140	94	130				
T5R4	57	140	65	91				
$\bar{X}$	94	96.75	89.95	103.40	96.025	41	155	28.759
Min	41	60	55	57.00				
Max	155	145	145	155.00				
S.D.	29.4243	26.9734	28.9564	30.1023				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	18179.95	4	4544.9875	7.4672	5.9772E-05	2.52521		
Columns	1918.45	3	639.4833	1.0506	0.376873	2.75808		
Interaction	8722.05	12	726.8375	1.1942	0.308264	1.91740		
Within	36519.5	60	608.6583					
Total	65339.95	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

Ca(ppm)	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	2272	2293	2192	2293	2367.50	1901	2808	261.3702
T1R2	2604	1901	2251	2169				
T1R3	2798	2485	2535	2808				
T1R4	2374	2010	2241	2654				
T2R1	2438	2495	1964	1854	2308.88	1724	2755	319.9793
T2R2	2029	2755	2447	2475				
T2R3	2707	1724	2054	2485				
T2R4	2273	2747	2384	2111				
T3R1	2092	1882	2052	2003	1854.38	1153	2390	349.4098
T3R2	2388	1814	2035	1617				
T3R3	1789	2176	1625	1153				
T3R4	2390	1714	1266	1674				
T4R1	1823	1930	2104	2463	1935.063	1252	2463	275.4556
T4R2	1976	1991	2008	1987				
T4R3	1959	2367	1911	1972				
T4R4	1252	1772	1852	1594				
T5R1	2157	1859	2006	2071	1824.250	1409	2157	210.1503
T5R2	1880	1896	1945	1735				
T5R3	1504	1859	1939	1997				
T5R4	1695	1569	1409	1667				
$\bar{X}$	2120	2061.95	2011	2039.10	2058.0125	1153	2808	364.770
Min	1252	1569	1266	1153.00				
Max	2798	2755	2535	2808.00				
S.D.	398.7713	347.3766	313.9985	410.1095				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	4319109.55	4	1079777.388	13.256159	8.4641E-08	2.52521		
Columns	128516.24	3	42838.746	0.525921	0.666158	2.75808		
Interaction	1176606.95	12	98050.579	1.203743	0.301815	1.91740		
Within	4887286.25	60	81454.771					
Total	10511518.99	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

Mg(ppm)	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	215	110	154	172	148.50	96	215	35.3591
T1R2	143	96	116	126				
T1R3	187	138	188	186				
T1R4	162	109	111	163				
T2R1	181	204	170	166	175.88	120	247	36.3683
T2R2	120	197	166	181				
T2R3	200	141	134	247				
T2R4	129	173	164	241				
T3R1	86	78	64	94	74.56	64	94	9.1795
T3R2	79	72	84	65				
T3R3	66	76	66	84				
T3R4	64	67	77	71				
T4R1	62	77	75	124	68.063	36	124	18.6493
T4R2	60	61	74	56				
T4R3	60	69	69	64				
T4R4	36	84	66	52				
T5R1	68	62	76	87	62.125	45	87	10.3142
T5R2	70	58	55	55				
T5R3	48	64	65	61				
T5R4	45	60	55	65				
$\bar{X}$	104.05	99.8	101.45	118.00	105.825	36	247	53.169
Min	36	58	55	52.00				
Max	215	204	188	247.00				
S.D.	57.785	46.555	44.727	63.479				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	176659.175	4	44164.7938	89.90899	1.2163E-24	2.52521		
Columns	4136.450	3	1378.8167	2.80694	0.04717	2.75808		
Interaction	13060.925	12	1088.4104	2.21574	0.02196	1.91740		
Within	29473.000	60	491.2167					
Total	223329.550	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของความชุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

CEC	ข้าวโพดหวาน	อัวฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	6.38	8.63	6.90	7.68	6.75	4.49	8.63	1.1912
T1R2	8.61	5.50	5.00	6.56				
T1R3	7.10	8.22	7.40	6.18				
T1R4	6.78	4.49	6.22	6.32				
T2R1	6.42	8.75	7.98	7.40	7.77	5.72	10.23	1.4130
T2R2	7.74	6.56	6.32	6.98				
T2R3	7.64	8.35	8.37	10.23				
T2R4	6.04	5.72	9.79	9.95				
T3R1	4.51	5.76	5.24	5.88	5.32	4.21	8.22	0.9814
T3R2	8.22	4.61	5.64	4.69				
T3R3	4.21	4.99	6.1	5.96				
T3R4	5.38	4.33	4.83	4.79				
T4R1	4.01	5.22	4.61	6.42	4.937	3.47	8.59	1.3493
T4R2	3.47	4.13	4.37	3.65				
T4R3	5.28	3.77	4.29	4.45				
T4R4	6.88	5.04	4.81	8.59				
T5R1	5.36	4.37	4.33	4.43	5.046	3.51	7.94	1.1383
T5R2	6.22	4.21	4.47	3.95				
T5R3	4.27	5.86	3.51	6.16				
T5R4	7.94	6.04	4.95	4.67				
$\bar{X}$	6.123	5.7275	5.7565	6.25	5.9635	3.47	10.23	1.635
Min	3.47	3.77	3.51	3.65				
Max	8.61	8.75	9.79	10.23				
S.D.	1.5213	1.5902	1.6236	1.8487				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	98.70128	4	24.67532	15.85912	6.5545E-09	2.525212		
Columns	4.08715	3	1.36238	0.87562	0.4588618	2.758078		
Interaction	14.98314	12	1.24859	0.80249	0.6464126	1.917396		
Within	93.35445	60	1.55591					
Total	211.12602	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของค่าความอิ่มตัวด้วยด่างของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

B.S.(%)	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	231.90	228.54	194.17	215.12	266.18	194.17	389.58	59.6522
T1R2	210.88	317.63	249.55	276.20				
T1R3	210.31	218.15	245.03	353.83				
T1R4	314.80	389.58	341.91	261.23				
T2R1	208.73	186.37	177.36	214.50	236.31	177.36	328.45	47.8004
T2R2	216.11	278.20	261.63	281.75				
T2R3	275.42	208.38	202.88	197.77				
T2R4	319.31	328.45	231.23	192.93				
T3R1	330.31	251.11	228.07	232.93	292.84	206.68	414.97	65.2811
T3R2	206.68	329.13	225.66	222.22				
T3R3	340.44	414.97	235.23	336.35				
T3R4	330.92	284.54	391.86	325.03				
T4R1	303.97	232.87	312.62	282.18	318.119	190.83	469.75	74.1954
T4R2	331.46	321.06	311.46	423.07				
T4R3	251.03	469.75	397.36	382.15				
T4R4	226.91	325.56	327.62	190.83				
T5R1	233.37	309.96	330.15	335.31	282.924	154.22	360.51	63.4033
T5R2	225.00	351.19	354.20	360.51				
T5R3	317.66	236.20	302.25	274.96				
T5R4	181.39	154.22	246.24	314.18				
$\bar{X}$	263.33	291.793	278.324	283.65	279.274875	154.22	469.75	66.942
Min	181.39	154.22	177.36	190.83				
Max	340.44	469.75	397.36	423.07				
S.D.	54.1458	79.6509	65.0542	68.3443				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	59574.5746	4	14893.6437	3.5449	0.0116	2.5252		
Columns	8620.2051	3	2873.4017	0.6839	0.5654	2.7581		
Interaction	33740.7801	12	2811.7317	0.6692	0.7735	1.9174		
Within	252086.1156	60	4201.4353					
Total	354021.6754	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

Exch.Ca	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	13.52	17.67	11.95	14.72	15.88	11.51	19.86	2.5106
T1R2	16.56	15.72	11.51	16.46				
T1R3	13.53	16.30	16.36	19.86				
T1R4	19.64	16.17	19.33	14.80				
T2R1	11.69	14.89	12.83	13.75	15.92	11.69	20.18	2.1513
T2R2	15.34	16.28	14.43	17.30				
T2R3	18.48	15.63	15.35	17.52				
T2R4	17.54	16.87	20.18	16.57				
T3R1	12.93	13.73	11.26	12.82	14.25	9.86	19.66	2.7761
T3R2	16.15	14.09	11.90	9.86				
T3R3	13.47	19.66	13.44	18.70				
T3R4	16.40	11.44	17.60	14.56				
T4R1	11.54	11.40	13.46	16.22	13.978	10.76	16.74	1.8641
T4R2	10.76	12.69	12.90	14.77				
T4R3	12.34	16.74	15.83	15.84				
T4R4	14.59	14.83	14.34	15.39				
T5R1	11.79	12.77	13.27	13.96	12.828	8.36	15.86	1.8445
T5R2	13.12	13.63	15.06	13.74				
T5R3	12.65	12.66	9.93	15.86				
T5R4	13.68	8.36	11.12	13.65				
$\bar{X}$	14.286	14.5765	14.1025	15.32	14.570625	8.36	20.18	2.503
Min	10.76	8.36	9.93	9.86				
Max	19.64	19.66	20.18	19.86				
S.D.	2.4704	2.5880	2.7378	2.2030				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	112.27626	4	28.069066	5.017817	0.001481	2.525212		
Columns	17.16018	3	5.720061	1.022557	0.389091	2.758078		
Interaction	29.92905	12	2.494087	0.445860	0.937414	1.917396		
Within	335.63277	60	5.593880					
Total	494.99827	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

Exch.Mg	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	0.39	1.45	0.99	0.98	1.08	0.39	1.47	0.2962
T1R2	1.01	1.22	0.66	1.07				
T1R3	0.92	1.08	1.22	1.47				
T1R4	1.25	0.82	1.45	1.31				
T2R1	1.12	0.81	0.21	0.94	1.30	0.21	2.03	0.4790
T2R2	0.71	1.38	1.37	1.53				
T2R3	1.80	1.35	1.08	1.95				
T2R4	1.38	1.50	1.67	2.03				
T3R1	1.19	0.14	0.16	0.30	0.50	0.06	1.19	0.2951
T3R2	0.35	0.53	0.32	0.06				
T3R3	0.44	0.69	0.39	0.74				
T3R4	0.81	0.52	0.77	0.63				
T4R1	0.08	0.11	0.20	1.17	0.408	0.08	1.17	0.3168
T4R2	0.21	0.10	0.12	0.15				
T4R3	0.13	0.53	0.60	0.56				
T4R4	0.60	0.79	0.59	0.59				
T5R1	0.17	0.04	0.28	0.17	0.334	0.02	0.71	0.2043
T5R2	0.27	0.38	0.24	0.02				
T5R3	0.33	0.43	0.17	0.48				
T5R4	0.46	0.52	0.71	0.68				
$\bar{X}$	0.681	0.7195	0.66	0.84	0.7255	0.02	2.03	0.508
Min	0.08	0.04	0.12	0.02				
Max	1.8	1.5	1.67	2.03				
S.D.	0.4838	0.4749	0.4853	0.5974				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	12.18811	4	3.04703	26.53992	1.08E-12	2.525212		
Columns	0.39525	3	0.13175	1.14756	0.337326	2.758078		
Interaction	0.91107	12	0.07592	0.66130	0.780709	1.917396		
Within	6.88855	60	0.11481					
Total	20.38298	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในแต่ละซ้ำ ของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

Exch.Na	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	0.64	0.33	0.24	0.32	0.32	0.15	0.64	0.1014
T1R2	0.34	0.33	0.15	0.38				
T1R3	0.31	0.35	0.32	0.32				
T1R4	0.26	0.34	0.27	0.25				
T2R1	0.32	0.33	0.53	0.80	0.36	0.17	0.8	0.1548
T2R2	0.34	0.34	0.34	0.41				
T2R3	0.37	0.17	0.32	0.33				
T2R4	0.17	0.20	0.53	0.32				
T3R1	0.53	0.36	0.38	0.33	0.33	0.17	0.53	0.0879
T3R2	0.30	0.35	0.35	0.33				
T3R3	0.30	0.19	0.35	0.34				
T3R4	0.40	0.17	0.40	0.21				
T4R1	0.33	0.35	0.36	0.37	0.348	0.23	0.69	0.1077
T4R2	0.30	0.25	0.37	0.30				
T4R3	0.33	0.24	0.43	0.34				
T4R4	0.27	0.40	0.69	0.23				
T5R1	0.33	0.40	0.36	0.33	0.277	0.13	0.48	0.1068
T5R2	0.19	0.48	0.28	0.19				
T5R3	0.40	0.33	0.32	0.20				
T5R4	0.14	0.17	0.18	0.13				
$\bar{X}$	0.3285	0.304	0.3585	0.32	0.328125	0.13	0.8	0.115
Min	0.14	0.17	0.15	0.13				
Max	0.64	0.48	0.69	0.80				
S.D.	0.1125	0.0885	0.1224	0.1335				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	0.069063	4	0.017266	1.541172	0.201827	2.525212		
Columns	0.030974	3	0.010325	0.921598	0.435950	2.758078		
Interaction	0.271407	12	0.022617	2.018875	0.037887	1.917396		
Within	0.672175	60	0.011203					
Total	1.043619	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

Exch.K	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	0.23	0.25	0.19	0.26	0.19	0.13	0.26	0.0389
T1R2	0.23	0.18	0.14	0.19				
T1R3	0.16	0.18	0.22	0.21				
T1R4	0.18	0.14	0.19	0.13				
T2R1	0.26	0.27	0.40	0.37	0.30	0.18	0.4	0.0767
T2R2	0.31	0.23	0.37	0.40				
T2R3	0.37	0.24	0.23	0.40				
T2R4	0.18	0.21	0.24	0.26				
T3R1	0.23	0.22	0.13	0.23	0.17	0.11	0.24	0.0398
T3R2	0.17	0.18	0.14	0.16				
T3R3	0.11	0.15	0.15	0.24				
T3R4	0.18	0.17	0.13	0.15				
T4R1	0.22	0.28	0.37	0.34	0.241	0.12	0.44	0.0929
T4R2	0.21	0.20	0.21	0.21				
T4R3	0.44	0.18	0.16	0.24				
T4R4	0.14	0.37	0.12	0.17				
T5R1	0.21	0.31	0.37	0.37	0.266	0.1	0.4	0.0965
T5R2	0.40	0.27	0.24	0.28				
T5R3	0.16	0.40	0.17	0.37				
T5R4	0.10	0.25	0.16	0.19				
$\bar{X}$	0.2245	0.234	0.2165	0.26	0.233375	0.1	0.44	0.085
Min	0.1	0.14	0.12	0.13				
Max	0.44	0.4	0.4	0.40				
S.D.	0.0919	0.0691	0.0906	0.0876				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	0.169370	4	0.042342	7.574122	5.2286E-05	2.525212		
Columns	0.019904	3	0.006635	1.186778	0.322428	2.758078		
Interaction	0.048290	12	0.004024	0.719833	0.726392	1.917396		
Within	0.335425	60	0.005590					
Total	0.572989	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในแต่ละซ้ำ ของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก)

WHC (%)	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	-10.09	-4.16	-8.10	-5.31	-2.461	-10.09	5.71	4.218
T1R2	-1.93	2.50	-3.50	-3.70				
T1R3	-4.55	-3.73	-3.41	-3.78				
T1R4	-0.73	4.54	0.86	5.71				
T2R1	-3.56	-2.12	-8.72	-4.39	-0.355	-8.72	5.85	3.681
T2R2	-2.64	0.69	-1.19	3.25				
T2R3	1.83	-2.49	5.85	4.71				
T2R4	0.56	2.11	-0.92	1.35				
T3R1	-5.09	-4.1	-4.98	-5.23	-1.544	-5.23	2.16	2.466
T3R2	1.67	-3.2	-1.49	0.22				
T3R3	2.16	-2.17	0.01	1.24				
T3R4	-2.31	-1.11	-1.06	0.74				
T4R1	-2.51	-1.74	-2.29	-3.84	-2.500	-4.49	-0.15	1.221
T4R2	-0.15	-1.83	-2.26	-0.66				
T4R3	-1.75	-3.64	-1.72	-4.49				
T4R4	-3.99	-3.78	-2.39	-2.96				
T5R1	-3.43	-2.31	-0.99	-2.61	-2.144	-4.67	1.59	1.785
T5R2	-3.13	-1.33	-2.74	-2.96				
T5R3	-2.96	-4.16	-4.67	1.35				
T5R4	1.59	-1.5	-3.68	-0.77				
$\bar{X}$	-2.0505	-1.6765	-2.3695	-1.1065	-1.801	-10.09	5.85	2.940
Min	-10.09	-4.16	-8.72	-5.31				
Max	2.16	4.54	5.85	5.71				
S.D.	2.9275	2.4177	3.0904	3.3223				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	51.1856	4	12.7964	1.3761	0.2530	2.5252		
Columns	17.6655	3	5.8885	0.6333	0.5965	2.7581		
Interaction	55.9610	12	4.6634	0.5015	0.9056	1.9174		
Within	557.9251	60	9.2988					
Total	682.7372	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของความชื้นของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก)

Moisture(%)	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	3.03	4.76	1.94	2.33	3.809	1.11	8.75	2.239
T1R2	4.45	4.64	1.32	8.12				
T1R3	2.41	1.11	3.33	2.57				
T1R4	2.65	6.09	3.45	8.75				
T2R1	5.97	6.61	-1.79	4.42	4.799	-1.79	15.76	4.033
T2R2	15.76	5.02	3.03	2.27				
T2R3	8.87	2.87	3.11	2.13				
T2R4	6.03	5.45	-0.39	7.43				
T3R1	-0.59	2.40	3.60	1.91	1.807	-0.86	4.94	1.658
T3R2	-0.86	2.27	2.52	2.39				
T3R3	4.94	-0.16	2.81	1.29				
T3R4	2.43	1.56	-0.75	3.15				
T4R1	1.43	2.55	2.80	-0.99	1.369	-0.99	2.93	1.375
T4R2	2.27	0.64	0.10	2.13				
T4R3	2.61	0.03	1.11	-0.50				
T4R4	2.68	-0.45	2.57	2.93				
T5R1	3.21	2.81	1.69	-1.21	2.335	-1.21	4.4	1.502
T5R2	3.28	1.98	4.40	4.07				
T5R3	2.53	1.61	1.00	1.16				
T5R4	3.79	2.35	4.04	0.65				
$\bar{X}$	3.8445	2.707	1.9945	2.75	2.824	-1.79	15.76	2.650
Min	-0.86	-0.45	-1.79	-1.21				
Max	15.76	6.61	4.4	8.75				
S.D.	3.5517	2.0926	1.6880	2.7416				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	132.2027	4	33.0507	7.9473	0.00003	2.5252		
Columns	34.9731	3	11.6577	2.8032	0.0474	2.7581		
Interaction	138.1060	12	11.5088	2.7674	0.0047	1.9174		
Within	249.5223	60	4.1587					
Total	554.8041	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของสภาพกรดด่างของดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ (หลังปลูก-ก่อนปลูก)

pH	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	0.6	0.1	0.6	0.3	0.213	0	0.6	0.189
T1R2	0.2	0.1	0	0.4				
T1R3	0	0.2	0.2	0.1				
T1R4	0.2	0.1	0.3	0				
T2R1	0.2	0.1	0.3	0.3	0.200	0	0.5	0.137
T2R2	0.3	0.2	0.2	0				
T2R3	0.1	0.2	0.2	0				
T2R4	0.1	0.1	0.5	0.4				
T3R1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.169	0	0.4	0.114
T3R2	0	0	0.2	0.4				
T3R3	0.1	0	0.1	0.2				
T3R4	0.1	0.2	0.2	0.2				
T4R1	0.3	0.4	0.2	0.2	0.200	0	0.4	0.097
T4R2	0.2	0.2	0.2	0.2				
T4R3	0.3	0.1	0.1	0.3				
T4R4	0.2	0.1	0.2	0				
T5R1	0.2	0.1	0	0.4	0.175	0	0.4	0.129
T5R2	0.1	0.2	0.3	0.3				
T5R3	0	0	0.2	0.2				
T5R4	0.3	0.2	0.3	0				
$\bar{X}$	0.19	0.145	0.225	0.205	0.19125	0	0.6	0.134
Min	0	0	0	0				
Max	0.6	0.4	0.6	0.4				
S.D.	0.1410	0.0999	0.1410	0.1468				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	0.0220	4	0.0055	0.2722	0.8948	2.5252		
Columns	0.0694	3	0.0231	1.1443	0.3386	2.7581		
Interaction	0.1200	12	0.0100	0.4948	0.9098	1.9174		
Within	1.2125	60	0.0202					
Total	1.4239	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณอินทรียวัตถุในดินในแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ (หลังปลูก-ก่อนปลูก)

O.M.(%)	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	-0.14	0.65	-0.70	0.81	0.669	-1.13	2.5	0.878
T1R2	0.70	0.81	0.33	0.82				
T1R3	0.44	0.44	-1.13	0.93				
T1R4	1.06	1.94	1.24	2.50				
T2R1	1.10	1.27	-0.10	1.16	1.136	-1.74	2.73	1.060
T2R2	0.80	0.68	-1.74	1.8				
T2R3	0.54	0.96	1.50	2.09				
T2R4	1.99	2.73	1.01	2.39				
T3R1	0.36	0.71	0.39	0.04	0.658	-0.22	1.96	0.658
T3R2	0.15	0.76	0.27	1.96				
T3R3	0.63	0.18	0.38	-0.22				
T3R4	1.79	0.66	0.59	1.87				
T4R1	0.30	0.66	0.23	0.2	0.436	-0.18	1.72	0.445
T4R2	0.30	0.03	-0.18	0.12				
T4R3	0.60	0.48	0.47	0.18				
T4R4	1.72	0.18	0.84	0.85				
T5R1	2.00	-0.12	0.57	0.66	0.464	-0.46	2	0.556
T5R2	0.35	0.65	0.29	0.26				
T5R3	-0.46	0.16	0.12	0.04				
T5R4	0.79	1.07	0.37	0.68				
$\bar{X}$	0.751	0.745	0.2375	0.957	0.673	-1.74	2.73	0.776
Min	-0.46	-0.12	-1.74	-0.22				
Max	2	2.73	1.5	2.5				
S.D.	0.683	0.659	0.757	0.857				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	5.0309	4	1.2577	2.4255	0.0577	2.5252		
Columns	5.6317	3	1.8772	3.6202	0.0180	2.7581		
Interaction	5.7962	12	0.4830	0.9315	0.5223	1.9174		
Within	31.1124	60	0.5185					
Total	47.5711	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก)

C/Nratio	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	0.17	-0.65	-0.49	0.04	-0.102	-0.75	0.38	0.371
T1R2	0.38	-0.75	-0.35	0.07				
T1R3	0.18	0.16	-0.66	-0.27				
T1R4	0.20	-0.04	0.082	0.3				
T2R1	0.30	-0.48	-0.29	0.43	0.246	-0.75	4.5	1.178
T2R2	-0.10	0.31	-0.75	0.02				
T2R3	-0.19	-0.11	0.40	-0.25				
T2R4	0.12	4.5	0.03	0				
T3R1	-0.20	-0.34	-0.15	0.21	-0.068	-0.57	0.8	0.346
T3R2	-0.28	0.8	-0.57	-0.06				
T3R3	0.18	-0.1	-0.05	-0.06				
T3R4	-0.38	0.38	0.05	-0.51				
T4R1	0.62	0.21	0.20	-0.02	0.191	-1.08	1.34	0.590
T4R2	-0.82	0.18	0.14	0.81				
T4R3	0	0.58	0.69	-0.04				
T4R4	1.34	-0.15	-1.08	0.39				
T5R1	0.06	-0.81	-0.27	-0.51	-0.053	-0.81	0.87	0.546
T5R2	-0.42	0.48	-0.70	0.35				
T5R3	0.87	-0.34	0.80	0.22				
T5R4	-0.11	-0.77	-0.23	0.53				
$\bar{X}$	0.096	0.153	-0.1599	0.0825	0.043	-1.08	4.5	0.676
Min	-0.82	-0.81	-1.08	-0.51				
Max	1.34	4.5	0.8	0.81				
S.D.	0.476	1.126	0.482	0.334				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	1.6881	4	0.4220	0.8858	0.4780	2.5252		
Columns	1.1528	3	0.3843	0.8066	0.4952	2.7581		
Interaction	4.6348	12	0.3862	0.8107	0.6384	1.9174		
Within	28.5845	60	0.4764					
Total	36.0602	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินในแต่ละซ้ำ ของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ (หลังปลูก-ก่อนปลูก)

N (%)	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	-0.01	0.04	-0.03	0.04	0.034	-0.05	0.12	0.042
T1R2	0.03	0.05	0.02	0.04				
T1R3	0.02	0.02	-0.05	0.05				
T1R4	0.05	0.1	0.06	0.12				
T2R1	0.05	0.07	0	0.05	0.049	-0.08	0.12	0.051
T2R2	0.04	-0.02	-0.08	0.09				
T2R3	0.03	0.05	0.07	0.11				
T2R4	0.1	0.06	0.05	0.12				
T3R1	0.02	0.04	0.02	0	0.034	-0.01	0.1	0.034
T3R2	0.01	0.03	0.02	0.1				
T3R3	0.03	0.01	0.02	-0.01				
T3R4	0.09	0.03	0.03	0.1				
T4R1	0.01	0.03	0.01	0.01	0.021	-0.01	0.08	0.022
T4R2	0.02	0	-0.01	0				
T4R3	0.03	0.02	0.02	0.01				
T4R4	0.08	0.01	0.05	0.04				
T5R1	0.10	0	0.03	0.04	0.024	-0.03	0.1	0.029
T5R2	0.02	0.03	0.02	0.01				
T5R3	-0.03	0.01	0	0				
T5R4	0.04	0.06	0.02	0.03				
$\bar{X}$	0.0365	0.032	0.0135	0.0475	0.032	-0.08	0.12	0.037
Min	-0.03	-0.02	-0.08	-0.01				
Max	0.1	0.1	0.07	0.12				
S.D.	0.034	0.028	0.036	0.044				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	0.0081	4	0.0020	1.6165	0.1818	2.5252		
Columns	0.0120	3	0.0040	3.1978	0.0297	2.7581		
Interaction	0.0150	12	0.0012	0.9932	0.4662	1.9174		
Within	0.0753	60	0.0013					
Total	0.1104	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก)

P(ppm)	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	410	947	312	812	384.000	-272	1144	441.143
T1R2	646	1144	583	584				
T1R3	-83	-272	180	834				
T1R4	-218	243	-248	270				
T2R1	667	1237	316	514	475.688	-282	1237	450.951
T2R2	1226	678	863	775				
T2R3	-101	94	90	-282				
T2R4	211	636	684	3				
T3R1	932	630	859	373	372.875	-124	932	394.839
T3R2	735	553	860	813				
T3R3	317	34	-25	-107				
T3R4	15	-124	-90	191				
T4R1	230	474	355	506	135.750	-215	506	242.417
T4R2	206	259	278	343				
T4R3	106	-175	-215	129				
T4R4	159	-146	-123	-214				
T5R1	550	407	531	463	245.750	-150	630	277.912
T5R2	538	508	298	630				
T5R3	16	64	-29	287				
T5R4	-109	0	-150	-72				
$\bar{X}$	322.65	359.55	266.45	342.6	322.813	-282	1237	381.150
Min	-218	-272	-248	-282				
Max	1226	1237	863	834				
S.D.	384.294	438.117	368.266	351.589				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	1128831.00	4	282207.75	1.8372	0.1335	2.5252		
Columns	98358.94	3	32786.31	0.2134	0.8867	2.7581		
Interaction	1033228.00	12	86102.33	0.5605	0.8646	1.9174		
Within	9216348.25	60	153605.80					
Total	11476766.19	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-30 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินแต่ละซ้ำ ของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ (หลังปลูก-ก่อนปลูก)

K(ppm)	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	-58	-23	-44	-39	-26.188	-80	8	23.187
T1R2	-8	-6	-28	-2				
T1R3	-48	-15	-80	-34				
T1R4	8	-13	-20	-9				
T2R1	-109	-23	-75	-16	-12.500	-109	110	54.730
T2R2	-1	-15	-46	-66				
T2R3	-35	67	-17	-30				
T2R4	58	110	-7	5				
T3R1	-5	-34	-21	-28	-6.563	-34	27	17.212
T3R2	27	-25	-15	11				
T3R3	-18	8	0	-3				
T3R4	10	-19	-5	12				
T4R1	13	-43	-65	-50	-28.938	-74	21	26.906
T4R2	-24	-34	-29	-27				
T4R3	-67	-15	-22	-31				
T4R4	21	-74	-6	-10				
T5R1	-80	-41	-44	-125	-36.375	-125	52	38.185
T5R2	-45	-36	-31	-34				
T5R3	52	-53	-31	-50				
T5R4	11	-49	-5	-21				
$\bar{X}$	-14.9	-16.65	-29.55	-27.35	-22.113	-125	110	35.540
Min	-109	-74	-80	-125				
Max	58	110	0	12				
S.D.	43.486	40.947	23.277	31.127				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	9612.925	4	2403.23125	2.07812	0.09485	2.52521		
Columns	3292.1375	3	1097.37917	0.94892	0.42280	2.75808		
Interaction	17490.175	12	1457.51458	1.26034	0.26577	1.91740		
Within	69386.75	60	1156.44583					
Total	99781.9875	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินแต่ละซ้ำ ของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ (หลังปลูก-ก่อนปลูก)

Ca(ppm)	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	-2271	-2292	-2191	-2292	-2366.500	-2807	-1900	261.370
T1R2	-2603	-1900	-2250	-2168				
T1R3	-2797	-2484	-2534	-2807				
T1R4	-2373	-2009	-2240	-2653				
T2R1	-2437	-2494	-1963	-1853	-2307.875	-2754	-1723	319.979
T2R2	-2028	-2754	-2446	-2474				
T2R3	-2706	-1723	-2053	-2484				
T2R4	-2272	-2746	-2383	-2110				
T3R1	-2091	-1881	-2051	-2002	-1853.375	-2389	-1152	349.410
T3R2	-2387	-1813	-2034	-1616				
T3R3	-1788	-2175	-1624	-1152				
T3R4	-2389	-1713	-1265	-1673				
T4R1	-1822	-1929	-2103	-2462	-1934.063	-2462	-1251	275.456
T4R2	-1975	-1990	-2007	-1986				
T4R3	-1958	-2366	-1910	-1971				
T4R4	-1251	-1771	-1851	-1593				
T5R1	-2156	-1858	-2005	-2070	-1823.250	-2156	-1408	210.150
T5R2	-1879	-1895	-1944	-1734				
T5R3	-1503	-1858	-1938	-1996				
T5R4	-1694	-1568	-1408	-1666				
$\bar{X}$	-2119	-2060.95	-2010	-2038.1	-2057.013	-2807	-1152	364.770
Min	-2797	-2754	-2534	-2807				
Max	-1251	-1568	-1265	-1152				
S.D.	398.771	347.377	313.998	410.109				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	4319109.550	4	1079777.39	13.2562	0.0000001	2.5252		
Columns	128516.238	3	42838.75	0.5259	0.6662	2.7581		
Interaction	1176606.950	12	98050.58	1.2037	0.3018	1.9174		
Within	4887286.250	60	81454.77					
Total	10511518.988	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินแต่ละซ้ำ ของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ(หลังปลูก-ก่อนปลูก)

Mg(ppm)	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	-97	16	-26	2	-10.313	-97	43	39.571
T1R2	27	43	-11	8				
T1R3	-69	17	-39	-58				
T1R4	-7	13	38	-22				
T2R1	58	19	-6	99	39.688	-14	111	37.938
T2R2	63	7	40	12				
T2R3	31	111	57	53				
T2R4	31	83	-9	-14				
T3R1	-12	2	20	-8	6.563	-22	22	13.406
T3R2	5	2	8	19				
T3R3	22	-2	1	8				
T3R4	20	21	-22	21				
T4R1	7	7	-8	-21	-4.000	-21	29	12.920
T4R2	1	-8	-15	3				
T4R3	-7	-14	-12	-5				
T4R4	29	-21	-9	9				
T5R1	-9	14	-7	-1	4.938	-10	28	11.012
T5R2	1	3	2	8				
T5R3	13	-1	-6	17				
T5R4	8	28	19	-10				
$\bar{X}$	5.75	17	0.75	6	7.375	-97	111	31.013
Min	-97	-21	-39	-58				
Max	63	111	57	99				
S.D.	36.885	31.285	23.653	30.853				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	23887.00	4	5971.7500	8.7101	0.00001	2.5252		
Columns	2821.25	3	940.4167	1.3717	0.2601	2.7581		
Interaction	8138.00	12	678.1667	0.9891	0.4698	1.9174		
Within	41136.50	60	685.6083					
Total	75982.75	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-33 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินแต่ละซ้ำ ของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ (หลังปลูก-ก่อนปลูก)

CEC	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	-1.41	-3.23	-2.53	-0.68	-0.934	-3.23	2.07	1.416
T1R2	-2.59	0.54	0.02	-0.50				
T1R3	-2.02	-2.44	-1.50	-0.58				
T1R4	-0.48	2.07	-0.20	0.58				
T2R1	1.08	-1.69	-2.02	0.99	-0.383	-2.69	2.06	1.409
T2R2	-2.28	1.04	1.04	0.20				
T2R3	0.32	-0.75	-0.51	-1.06				
T2R4	-0.48	2.06	-2.69	-1.38				
T3R1	0.12	-0.77	-0.20	-1.97	-0.160	-4.31	2.37	1.592
T3R2	-4.31	0.39	-0.71	0.08				
T3R3	2.37	-0.96	1.68	2.02				
T3R4	-0.89	0.02	0.65	-0.08				
T4R1	-0.42	-0.91	-0.54	-1.93	-1.139	-3.8	0.18	1.095
T4R2	-0.30	-0.64	-1.12	0.18				
T4R3	-1.27	-0.42	-0.08	-0.46				
T4R4	-3.11	-1.75	-1.66	-3.80				
T5R1	0.12	-0.22	-0.22	-0.32	-0.714	-4.43	0.48	1.230
T5R2	-1.87	0.06	-1.14	-0.10				
T5R3	-0.24	-1.81	0.48	-0.98				
T5R4	-4.43	0.18	0.31	-1.24				
$\bar{X}$	-1.1045	-0.4615	-0.547	-0.5515	-0.666	-4.43	2.37	1.372
Min	-4.43	-3.23	-2.69	-3.8				
Max	2.37	2.07	1.68	2.02				
S.D.	1.702	1.356	1.150	1.221				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	10.1511	4	2.5378	1.2318	0.3070	2.5252		
Columns	5.2275	3	1.7425	0.8458	0.4743	2.7581		
Interaction	9.7234	12	0.8103	0.3933	0.9608	1.9174		
Within	123.6081	60	2.0601					
Total	148.7101	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของค่าความอิ่มตัวด้วยด่างของดินแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ (หลังปลูก-ก่อนปลูก)

B.S.(%)	ข้าวโพดหวาน	อัญชันยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	49.38	48.72	116.19	-19.61	0.106	-106.29	116.19	70.126
T1R2	37.49	-60.91	-32.04	-60.92				
T1R3	97.66	100.83	37.02	-81.48				
T1R4	-59.01	-106.29	-49.79	-15.55				
T2R1	14.6	18.36	53.19	-32.86	1.429	-86.74	104.57	57.033
T2R2	104.57	-57.71	-55.41	-86.74				
T2R3	-68.16	37.05	54.70	31.99				
T2R4	0.59	-76.44	44.09	41.04				
T3R1	-94.4	-27.50	70.06	32.50	-39.141	-172.32	97.04	77.153
T3R2	97.04	-87.85	21.86	36.74				
T3R3	-70.36	-107.96	-67.92	-172.32				
T3R4	-48.87	-16.33	-156.34	-34.61				
T4R1	-8.78	133.05	-43.32	65.23	21.188	-116.11	183.27	87.554
T4R2	71.06	-9.28	44.80	-69.62				
T4R3	183.27	-78.92	-96.28	-116.11				
T4R4	122.08	35.02	22.84	83.96				
T5R1	15.78	-43.39	-73.84	-84.76	2.019	-85.33	149.89	70.340
T5R2	68.81	-85.33	-31.74	-52.78				
T5R3	-47.16	123.94	38.55	22.22				
T5R4	149.89	39.86	-9.03	1.28				
$\bar{X}$	30.774	-11.054	-5.6205	-25.62	-2.880	-172.32	183.27	73.964
Min	-94.4	-107.96	-156.34	-172.32				
Max	183.27	133.05	116.19	83.96				
S.D.	80.353	75.303	66.777	65.917				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	31129.60	4	7782.3994	1.3859	0.2496	2.5252		
Columns	34480.48	3	11493.4929	2.0468	0.1169	2.7581		
Interaction	29649.71	12	2470.8091	0.4400	0.9403	1.9174		
Within	336918.20	60	5615.3033					
Total	432177.98	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินแต่ละซ้ำ ของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ (หลังปลูก-ก่อนปลูก)

Exch.Ca	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	-1.28	-4.10	0.12	-2.77	-2.263	-6.45	0.51	2.228
T1R2	-3.54	-1.88	-1.84	-4.75				
T1R3	0.41	0.18	-1.86	-6.45				
T1R4	-5.49	0.51	-3.54	0.08				
T2R1	2.81	-2.81	-0.79	-0.61	-1.082	-5.26	2.81	2.234
T2R2	0.01	-1.92	-1.54	-5.26				
T2R3	-4.44	0.39	2.45	0.24				
T2R4	-2.67	-0.56	-3.08	0.47				
T3R1	-3.17	-3.65	2.79	-3.56	-2.903	-8.59	2.79	3.288
T3R2	-5.60	-3.20	-1.08	1.19				
T3R3	2.59	-8.59	-1.85	-7.25				
T3R4	-5.22	-1.14	-6.1	-2.61				
T4R1	-2.13	3.18	-3.37	-1.82	-2.308	-6.25	3.65	2.719
T4R2	0.73	-2.61	-2.20	-2.39				
T4R3	3.65	-4.71	-4.41	-6.25				
T4R4	-2.75	-4.11	-4.38	-3.36				
T5R1	0.90	-2.70	-3.72	-4.76	-1.951	-5.49	2.42	2.417
T5R2	-1.62	-3.18	-5.49	-2.98				
T5R3	-3.23	0.50	2.42	-1.90				
T5R4	-3.47	2.03	-0.03	-3.98				
$\bar{X}$	-1.6755	-1.9185	-1.875	-2.936	-2.101	-8.59	3.65	2.611
Min	-5.6	-8.59	-6.1	-7.25				
Max	3.65	3.18	2.79	1.19				
S.D.	2.813	2.670	2.532	2.423				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	28.3779	4	7.0945	0.9663	0.4327	2.5252		
Columns	19.2531	3	6.4177	0.8741	0.4596	2.7581		
Interaction	50.2986	12	4.1916	0.5709	0.8567	1.9174		
Within	440.5207	60	7.3420					
Total	538.4503	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-36 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินแต่ละซ้ำ ของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ (หลังปลูก-ก่อนปลูก)

Exch.Mg	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	1.11	-0.25	0.28	0.52	0.365	-0.25	1.11	0.324
T1R2	0.57	0.13	0.38	0.01				
T1R3	0.46	0.55	0.59	0.08				
T1R4	0.3	0.69	0.04	0.38				
T2R1	0.83	1.28	1.30	0.88	0.763	0.12	1.3	0.377
T2R2	1.07	0.65	0.49	0.12				
T2R3	0.13	0.77	0.97	0.92				
T2R4	0.91	1.15	0.31	0.42				
T3R1	-0.31	0.77	0.59	0.65	0.501	-0.31	0.84	0.294
T3R2	0.58	0.39	0.80	0.84				
T3R3	0.77	0.26	0.66	0.3				
T3R4	0.29	0.50	0.28	0.65				
T4R1	0.73	0.73	0.46	-0.33	0.388	-0.33	0.9	0.313
T4R2	0.70	0.45	0.44	0.65				
T4R3	0.90	0.23	0.33	0.16				
T4R4	0.32	0.03	0.17	0.24				
T5R1	0.40	0.69	0.47	0.62	0.533	0.09	0.77	0.187
T5R2	0.53	0.22	0.61	0.66				
T5R3	0.63	0.61	0.77	0.58				
T5R4	0.61	0.71	0.33	0.09				
$\bar{X}$	0.5765	0.528	0.5135	0.422	0.510	-0.33	1.3	0.330
Min	-0.31	-0.25	0.04	-0.33				
Max	1.11	1.28	1.3	0.92				
S.D.	0.336	0.364	0.291	0.332				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	1.6039	4	0.4010	4.2253	0.0044	2.5252		
Columns	0.2501	3	0.0834	0.8783	0.4575	2.7581		
Interaction	1.0550	12	0.0879	0.9264	0.5271	1.9174		
Within	5.6941	60	0.0949					
Total	8.6030	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-37 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินแต่ละซ้ำ ของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนเปรียบเทียบ (หลังปลูก-ก่อนปลูก)

Exch.Na	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	-0.57	-0.27	-0.16	-0.26	-0.182	-0.57	-0.04	0.128
T1R2	-0.21	-0.17	-0.04	-0.27				
T1R3	-0.17	-0.19	-0.13	-0.18				
T1R4	-0.06	-0.09	-0.09	-0.05				
T2R1	-0.27	-0.28	-0.46	-0.73	-0.204	-0.73	0.1	0.205
T2R2	-0.22	-0.18	-0.11	-0.30				
T2R3	-0.08	0.01	-0.18	-0.17				
T2R4	0.10	0.09	-0.33	-0.15				
T3R1	-0.46	-0.32	-0.25	-0.32	-0.187	-0.46	0.01	0.123
T3R2	-0.16	-0.24	-0.22	-0.13				
T3R3	-0.17	-0.03	-0.13	-0.14				
T3R4	-0.23	0	-0.20	0.01				
T4R1	-0.20	-0.22	-0.33	-0.24	-0.205	-0.52	-0.06	0.111
T4R2	-0.17	-0.13	-0.23	-0.14				
T4R3	-0.20	-0.10	-0.25	-0.17				
T4R4	-0.06	-0.25	-0.52	-0.07				
T5R1	-0.23	-0.35	-0.33	-0.26	-0.134	-0.36	0.06	0.147
T5R2	-0.01	-0.36	-0.14	0.01				
T5R3	-0.16	-0.20	-0.19	-0.04				
T5R4	0.03	0.05	-0.02	0.06				
$\bar{X}$	-0.175	-0.1615	-0.2155	-0.177	-0.182	-0.73	0.1	0.145
Min	-0.57	-0.36	-0.52	-0.73				
Max	0.1	0.09	-0.02	0.06				
S.D.	0.152	0.133	0.129	0.170				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	0.0537	4	0.0134	0.6605	0.6219	2.5252		
Columns	0.0323	3	0.0108	0.5305	0.6631	2.7581		
Interaction	0.3640	12	0.0303	1.4936	0.1520	1.9174		
Within	1.2186	60	0.0203					
Total	1.6686	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(Two-way ANOVA) ของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินแต่ละซ้ำของแต่ละตำรับการทดลองในแต่ละชนิดพืชบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรชั่งยืนเปรียบเทียบ (หลังปลูก-ก่อนปลูก)

Exch.K	ข้าวโพดหวาน	ถั่วฝักยาว	มะระจีน	แตงร้าน	$\bar{X}$	Min	Max	S.D.
T1R1	-0.08	-0.12	-0.07	-0.10	-0.051	-0.12	0.03	0.043
T1R2	-0.03	-0.05	-0.06	-0.06				
T1R3	0	-0.03	-0.09	-0.08				
T1R4	0.01	-0.01	-0.08	0.03				
T2R1	-0.02	-0.05	-0.29	-0.18	-0.054	-0.29	0.16	0.133
T2R2	-0.07	-0.04	-0.19	-0.22				
T2R3	-0.15	0.07	0	-0.14				
T2R4	0.16	0.13	0.02	0.11				
T3R1	-0.04	-0.11	-0.04	-0.09	0.003	-0.11	0.23	0.078
T3R2	0.07	-0.05	-0.03	0.02				
T3R3	0.23	0.03	-0.02	-0.01				
T3R4	0.02	-0.01	0.02	0.06				
T4R1	0.02	-0.07	-0.21	-0.12	-0.074	-0.22	0.02	0.081
T4R2	0.01	-0.09	-0.05	-0.04				
T4R3	-0.20	-0.04	-0.03	-0.13				
T4R4	0.02	-0.22	0.01	-0.04				
T5R1	0.07	-0.11	-0.18	-0.15	-0.064	-0.18	0.1	0.091
T5R2	-0.12	-0.11	-0.09	-0.09				
T5R3	0.10	-0.16	-0.01	-0.18				
T5R4	0.06	-0.04	0	-0.01				
$\bar{X}$	0.003	-0.054	-0.0695	-0.071	-0.048	-0.29	0.23	0.092
Min	-0.2	-0.22	-0.29	-0.22				
Max	0.23	0.13	0.02	0.11				
S.D.	0.101	0.078	0.085	0.087				
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*		
Sample	0.0571	4	0.0143	1.8603	0.1292	2.5252		
Columns	0.0726	3	0.0242	3.1524	0.0313	2.7581		
Interaction	0.0731	12	0.0061	0.7940	0.6547	1.9174		
Within	0.4604	60	0.0077					
Total	0.6631	79						

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-39 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-Way ANOVA) ของความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
WHC	Between Groups	(Combined)		1095.393	4	273.848	61.203	.000
		Linear Term	Contrast	757.118	1	757.118	169.210	.000
			Deviation	338.275	3	112.758	25.201	.000
	Within Groups			335.582	75	4.474		
	Total			1430.975	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

water holding capacity

	Treatment	N	Subset for alpha = .05		
			1	2	3
Duncan	T4	16	26.1869		
	T5	16	26.6356		
	T3	16	27.5794		
	T1	16		32.9381	
	T2	16			35.3350
	Sig.		.082	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-40 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของความชื้นในดินของแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
moisture	Between Groups	(Combined)		535.913	4	133.978	19.857	.000
		Linear Term	Contrast	264.119	1	264.119	39.146	.000
			Deviation	271.794	3	90.598	13.428	.000
	Within Groups			506.024	75	6.747		
	Total			1041.937	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

moisture

	Treatment	N	Subset for alpha = .05		
			1	2	3
Duncan	T5	16	3.5250		
	T4	16	3.6763		
	T3	16	4.0550		
	T1	16		6.6406	
	T2	16			10.2931
	Sig.		.591	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-41 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของสภาพกรดด่างของดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
pH	Between Groups	(Combined)		1.394	4	.349	15.713	.000
		Linear Term	Contrast	.784	1	.784	35.342	.000
			Deviation	.610	3	.203	9.170	.000
	Within Groups			1.664	75	2.218E-02		
	Total			3.058	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

pH

	Treatment	N	Subset for alpha = .05			
			1	2	3	4
Duncan	T2	16	6.7750			
	T1	16		6.9313		
	T3	16		7.0250	7.0250	
	T5	16			7.0937	7.0937
	T4	16				7.1500
	Sig.		1.000	.079	.196	.289

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-42 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ของแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
O.M.	Between Groups	(Combined)		31.633	4	7.908	56.207	.000
		Linear Term	Contrast	21.389	1	21.389	152.022	.000
			Deviation	10.244	3	3.415	24.269	.000
	Within Groups			10.552	75	.141		
	Total			42.185	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

organic matter

	Treatment	N	Subset for alpha = .05			
			1	2	3	4
Duncan	T4	16	1.5619			
	T5	16	1.8019			
	T3	16		2.1019		
	T1	16			2.7837	
	T2	16				3.2544
	Sig.		.074	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-43 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
N	Between Groups	(Combined)		7.846E-02	4	1.961E-02	56.296	.000
		Linear Term	Contrast	5.329E-02	1	5.329E-02	152.949	.000
			Deviation	2.517E-02	3	8.389E-03	24.078	.000
	Within Groups			2.613E-02	75	3.484E-04		
	Total			.105	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

total nitrogen

	Treatment	N	Subset for alpha = .05			
			1	2	3	4
Duncan	T4	16	7.938E-02			
	T5	16	9.000E-02			
	T3	16		.1050		
	T1	16			.1394	
	T2	16				.1631
	Sig.		.112	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-44 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
P	Between Groups	(Combined)		4116176.200	4	1029044.050	24.799	.000
		Linear Term	Contrast	2883153.025	1	2883153.025	69.481	.000
			Deviation	1233023.175	3	411007.725	9.905	.000
	Within Groups			3112157.688	75	41495.436		
	Total			7228333.888	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

available phosphorus

	Treatment	N	Subset for alpha = .05		
			1	2	3
Duncan	T4	16	767.500		
	T5	16	864.000	864.000	
	T3	16		971.375	
	T1	16			1233.062
	T2	16			1371.750
	Sig.		.184	.140	.058

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-45 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินของแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
K	Between Groups	(Combined)		18179.950	4	4544.988	7.228	.000
		Linear Term	Contrast	1210.000	1	1210.000	1.924	.169
			Deviation	16969.950	3	5656.650	8.996	.000
	Within Groups			47160.000	75	628.800		
	Total			65339.950	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

extractable K

	Treatment	N	Subset for alpha = .05		
			1	2	3
Duncan	T3	16	72.8750		
	T1	16	87.0625	87.0625	
	T4	16		96.1875	96.1875
	T5	16			109.8125
	T2	16			114.1875
	Sig.		.114	.307	.058

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-46 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินของแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Ca	Between Groups	(Combined)		4319109.550	4	1079777.388	13.078	.000
		Linear Term	Contrast	3412020.156	1	3412020.156	41.325	.000
			Deviation	907089.394	3	302363.131	3.662	.016
	Within Groups			6192409.438	75	82565.459		
	Total			10511518.988	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Extractable Ca

	Treatment	N	Subset for alpha = .05	
			1	2
Duncan	T5	16	1824.2500	
	T3	16	1854.3750	
	T4	16	1935.0625	
	T2	16		2308.8750
	T1	16		2367.5000
	Sig.		.309	.566

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-47 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินของแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Mg	Between Groups	(Combined)		176659.175	4	44164.794	70.973	.000
		Linear Term	Contrast	125944.506	1	125944.506	202.395	.000
			Deviation	50714.669	3	16904.890	27.166	.000
	Within Groups			46670.375	75	622.272		
	Total			223329.550	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

extractable Mg

	Treatment	N	Subset for alpha = .05		
			1	2	3
Duncan	T5	16	62.1250		
	T4	16	68.0625		
	T3	16	74.5625		
	T1	16		148.5000	
	T2	16			175.8750
	Sig.		.188	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-48 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
CEC.	Between Groups	(Combined)		98.701	4	24.675	16.461	.000
		Linear Term	Contrast	62.138	1	62.138	41.453	.000
			Deviation	36.563	3	12.188	8.131	.000
	Within Groups			112.425	75	1.499		
	Total			211.126	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

CEC.

	Treatment	N	Subset for alpha = .05		
			1	2	3
Duncan	T4	16	4.9369		
	T5	16	5.0463		
	T3	16	5.3213		
	T1	16		6.7481	
	T2	16			7.7650
	Sig.		.408	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-49 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของค่าความอิ่มตัวด้วยด่างของดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
B.S.	Between Groups	(Combined)		59574.575	4	14893.644	3.794	.007
		Linear Term	Contrast	21270.544	1	21270.544	5.418	.023
			Deviation	38304.031	3	12768.010	3.252	.026
				294447.101	75	3925.961		
	Total			354021.675	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

base saturation

	Treatment	N	Subset for alpha = .05		
			1	2	3
Duncan	T2	16	236.3138		
	T1	16	266.1769	266.1769	
	T5	16		282.9244	282.9244
	T3	16		292.8406	292.8406
	T4	16			318.1188
	Sig.		.182	.262	.138

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-50 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินของแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
exch. Ca	Between Groups	(Combined)		112.276	4	28.069	5.501	.001
		Linear Term	Contrast	103.539	1	103.539	20.290	.000
			Deviation	8.737	3	2.912	.571	.636
	Within Groups			382.722	75	5.103		
	Total			494.998	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

exchangeable Ca

	Treatment	N	Subset for alpha = .05	
			1	2
Duncan	T5	16	12.8281	
	T4	16	13.9775	
	T3	16	14.2506	14.2506
	T1	16		15.8813
	T2	16		15.9156
	Sig.		.096	.051

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-51 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินของแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
exch. mg	Between Groups	(Combined)		12.188	4	3.047	27.887	.000
		Linear Term	Contrast	9.111	1	9.111	83.382	.000
			Deviation	3.077	3	1.026	9.388	.00
	Within Groups			8.195	75	.109		
	Total			20.383	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

exchangeable Mg

	Treatment	N	Subset for alpha = .05	
			1	2
Duncan	T5	16	.3344	
	T4	16	.4081	
	T3	16	.5025	
	T1	16		1.0806
	T2	16		1.3019
	Sig.		.179	.062

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-52 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินของแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงก่อนปลูก

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
exch. K	Between Groups	(Combined)		.169	4	4.234E-02	7.868	.000
		Linear Term	Contrast	1.332E-02	1	1.332E-02	2.476	.120
			Deviation	.156	3	5.202E-02	9.666	.000
	Within Groups			.404	75	5.382E-03		
	Total			.573	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

exchangeable K

	Treatment	N	Subset for alpha = .05			
			1	2	3	4
Duncan	T3	16	.1712			
	T1	16	.1925	.1925		
	T4	16		.2413	.2413	
	T5	16			.2656	.2656
	T2	16				.2963
	Sig.		.415	.064	.350	.241

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-53 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของปริมาณความชื้นในดินของแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
moisture	Between Groups	(Combined)		132.203	4	33.051	5.866	.000
		Linear Term	Contrast	65.102	1	65.102	11.554	.001
			Deviation	67.101	3	22.367	3.970	.011
	Within Groups			422.601	75	5.635		
	Total			554.804	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

moisture

	Treatment	N	Subset for alpha = .05		
			1	2	3
Duncan	T4	16	1.3694		
	T3	16	1.8069		
	T5	16	2.3350	2.3350	
	T1	16		3.8094	3.8094
	T2	16			4.7994
	Sig.		.283	.083	.242

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-54 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของปริมาณอินทรียวัตถุในดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
O.M.	Between Groups	(Combined)		5.031	4	1.258	2.217	.075
		Linear Term	Contrast	1.967	1	1.967	3.468	.066
			Deviation	3.064	3	1.021	1.801	.154
	Within Groups			42.540	75	.567		
	Total			47.571	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

organic matter

	Treatment	N	Subset for alpha = .05	
			1	2
Duncan	T4	16	.4363	
	T5	16	.4644	
	T3	16	.6575	.6575
	T1	16	.6688	.6688
	T2	16		1.1363
	Sig.		.434	.093

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-55 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
N	Between Groups	(Combined)		8.117E-03	4	2.029E-03	1.487	.215
		Linear Term	Contrast	4.000E-03	1	4.000E-03	2.932	.091
			Deviation	4.117E-03	3	1.372E-03	1.006	.395
	Within Groups			.102	75	1.364E-03		
	Total			.110	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

total nitrogen

	Treatment	N	Subset for alpha = .05
			1
Duncan	T4	16	2.063E-02
	T5	16	2.375E-02
	T3	16	3.375E-02
	T1	16	3.438E-02
	T2	16	4.937E-02
	Sig.		.051

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-56 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Ca	Between Groups	(Combined)		4319109.550	4	1079777.388	13.078	.000
		Linear Term	Contrast	3412020.156	1	3412020.156	41.325	.000
			Deviation	907089.394	3	302363.131	3.662	.016
	Within Groups			6192409.438	75	82565.459		
	Total			10511518.988	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

extractable Ca

	Treatment	N	Subset for alpha = .05	
			1	2
Duncan	T1	16	-2366.5000	
	T2	16	-2307.8750	
	T4	16		-1934.0625
	T3	16		-1853.3750
	T5	16		-1823.2500
	Sig.		.566	.309

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-57 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินของแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Mg	Between Groups	(Combined)		23887.000	4	5971.750	8.597	.000
		Linear Term	Contrast	278.256	1	278.256	.401	.529
			Deviation	23608.744	3	7869.581	11.329	.000
	Within Groups			52095.750	75	694.610		
	Total			75982.750	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

extractable Mg

	Treatment	N	Subset for alpha = .05	
			1	2
Duncan	T1	16	-10.3125	
	T4	16	-4.0000	
	T5	16	4.9375	
	T3	16	6.5625	
	T2	16		39.6875
	Sig.		.102	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-58 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินของแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
exch. mg	Between Groups	(Combined)		1.604	4	.401	4.297	.003
		Linear Term	Contrast	2.326E-03	1	2.326E-03	.025	.875
			Deviation	1.602	3	.534	5.721	.001
	Within Groups			6.999	75	9.332E-02		
	Total			8.603	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

exchangeable Mg

	Treatment	N	Subset for alpha = .05	
			1	2
Duncan	T1	16	.3650	
	T4	16	.3881	
	T3	16	.5013	
	T5	16	.5331	
	T2	16		.7625
	Sig.		.161	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ตารางผ-59 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(One-Way ANOVA) ของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินของแต่ละตำรับการทดลองบริเวณพื้นที่แปลงเกษตรยั่งยืนในช่วงหลังเก็บเกี่ยว

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
exch. K	Between Groups	(Combined)		5.710E-02	4	1.427E-02	1.766	.145
		Linear Term	Contrast	3.240E-03	1	3.240E-03	.401	.529
			Deviation	5.386E-02	3	1.795E-02	2.222	.093
	Within Groups			.606	75	8.081E-03		
	Total			.663	79			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

exchangeable K

	Treatment	N	Subset for alpha = .05	
			1	2
Duncan	T4	16	-7.3750E-02	
	T5	16	-6.3750E-02	-6.3750E-02
	T2	16	-5.3750E-02	-5.3750E-02
	T1	16	-5.1250E-02	-5.1250E-02
	T3	16		3.125E-03
	Sig.		.526	.057

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 16.000.

Copyright by Mahidol University

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาว ขนิษฐา เจริญพานิช
วัน เดือน ปีเกิด	3 เมษายน 2518
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ศึกษาศาสตร์-เกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2536-2540 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการวางแผนสิ่งแวดล้อมเพื่อพัฒนาชนบท) มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2540-2544
ทุนการศึกษา	โครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบายการจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย ซึ่งร่วมจัดตั้งโดย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ รหัสโครงการ BRT 543078

Copyright by Mahidol University

EFFECT OF AGRICULTURAL MANAGEMENT IN SUSTAINABLE AGRICULTURAL SYSTEMS ON SOIL PROPERTIES AND SOIL ORGANISMS

By
Kanitta Charoenpanit
M.Sc. (Technology of Environmental Planning for Rural Development)
Faculty of Graduate Studies, Mahidol University

ABSTRACT : The effect of agricultural management systems was assessed by evaluating changes to the soil properties and to the soil flora and fauna. Relationships between soil physico-chemical properties and soil organisms were determined and bio-indicator species of soil quality and health were identified. The experiment was conducted at Khao Hin Sorn Royal Development Study Center, Chachoengsao Province and began in 1994. The soil was that of the Mapbon soil series (group 35) and the soil properties measured were: soil water holding capacity; moisture content; organic matter; C/N ratio; total N; available P; exchangeable K; and base saturation. The soil organisms, in terms of species numbers and diversity, were assessed both above and below the soil surface. Five different soil surface mulching systems were tested. All the soil mulch systems tested improved the general quality of the soil. The most easily observable macro-organisms in decreasing order of abundance occurred as follows: earthworms; centipedes; spiders; and millipedes. In turn, these macro-organisms could be used as bio-indicators of soil health in the same order as given above. Soil surface insects that were found, in order of greatest diversity first, were: Order Coleoptera; Order Homoptera; Diptera; and Orthoptera. Most of these are beneficial insects such as insect predators, insect parasites, and plant pollinators. There were also beneficial soil micro-organisms found at significantly greater densities in the mulched plots compared to the control plot, with some of the species being absent in the control plots. Some of the beneficial micro-organisms found in the mulched plots included: *Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.*; *Trichoderma spp.*; and *Streptomyces spp.*

KEYWORDS : Sustainable Agriculture , Soil ecology , Soil fauna , Soil organisms

INTRODUCTION

Soil is the residence of several kinds of living beings such as soil microorganisms and fauna. Their ecology involves various activities which have and impact on soil qualities such as, decomposition and turnover of organic matter, nutrient mineralization , and aggregate stability and stabilization of soil structure. These activities directly depend on plant growth.(Edwards et al., 1990) However, many studies have found that much of the soil in Thailand has deteriorated. This has been largely due to unsuitable soil management in relation to soil potential. Examples of this include, bad plantations, and technology misuse,leading to deterioration of soil structure resulting in soil compaction, low water retention and reductions in the numbers of beneficial soil organisms.

A concept of adjusting the soil quality is created in order to be suitable for plants under the approach of sustainable agriculture. This method focusses on the natural fertility of the soil using organic matter and soil organisms in combination with organic amendments, such as organic fertilizers, green manure, and bio-fertilizer. Cropping system such as soil mulching, crop rotation, integrated farming and biological pest control such as biopesticide, insect predators, insect parasites,plant extracts are also used in this fashion. Those that do not damage the environment were accepted in order to reduce the use of chemical fertilizers and even increase the

Copyright by Mahidol University

efficiency of using them. Moreover, soil quality and soil structure did not get the bad effect.

The area of Khao Hin Sorn Royal Development Study Center, Panom Sarakam, Chachoengsao Province has the Mapbon soil series which is a loamy sand with low organic matter, low soil water holding capacity and soil element absorption. It is commonly used for growing field crops such as cassava and maize. When sustainable agriculture is applied, the physical and chemical characteristics of soil improve. Consequently, this results in diversity of land use patterns. Also, no studies about soil ecology have ever been conducted. It is therefore crucial to study this aspect in order to examine and understand the biodiversity of soil organisms in sustainable agricultural systems. The influences of various factors having an effect on soil quality change to be background information for improving soil quality in the other areas and also conserving their biodiversity of soil organisms.

OBJECTIVES

1. To examine the effects that plant and soil management practices in sustainable agricultural systems have on the changes in soil biological, chemical and physical properties.
2. To investigate the kinds and quantities of soil fauna and soil microorganisms as affected by soil management practices in sustainable agricultural systems.
3. To determine the relationships between soil organisms and soil properties as affected by plant and soil management practices in sustainable agricultural systems.

AREA OF STUDY

This study was conducted at Khao Hin Sorn Royal Development Study Center, Panom Sarakam, Chachoengsao Province. The 2 areas were divided as follows :

1) The area applied in sustainable agriculture at the experiment bed of soil improvement project with composed fertilizer compared with natural composed fertilizer in vegetables on Mapbon soil series. The project began in 1994. The RCB method was used consisting of 5 treatments and 4 replicates. Treatments were as follows:

Treatment 1 : Compost fertilizer at 15 ton per rai (1 ha = 6.25 rai)

Treatment 2 : Compost fertilizer at 30 ton per rai

Treatment 3 : Compost fertilizer at 8 ton per rai and chemical fertilizer ½ of suggested rate for plant

Treatment 4 : Natural compost fertilizer ; use crop residues 3200 kg per rai and then top with chicken manure 1600 kg per rai and next cover with more plant debris 3200 kg per rai and finally leave to ferment about 10-20 days before growing

Treatment 5 : Natural compost fertilizer and chemical fertilizer ½ of suggested rate for plant

The experiment is applied to 4 crop types : sweet corn , yard long bean, bitter gourd, and cucumber. Each kind is planted consecutively and also rotated as each time is over.

Copyright by Mahidol University

2) the area nearby using conventional management on the same soil series (Mapbon series)

METHODOLOGY

Soil physio-chemical properties

Soil sampling was done using a sampling at diagonal line with equal intervals , using a soil auger at depths of 0-15 cm. Each bed is randomly sampled 10 times making up a composite soil sample. This is repeated in all 80 beds. The samples were to analysed for, soil texture, water-holding capacity, soil moisture, soil pH, cation exchange capacity, C/N ratio, organic matter, total nitrogen, available phosphorous, extractable potassium, exchangeable cation, and base saturation.

Soil fauna sampling

Macro-fauna : the quadrant sampling method (60 x 60 cm) was used in each subplot. The shovel is used to seek soil fauna that can be seen at depth level of 0 -15 cm. Speamens were soaked in 70% alcohol before counting and classifying .

Meso-fauna : the quadrant sampling method (60 x 60 cm) was used in each subplot. The same sampling technique as used for macro-fauna sampling was used. Meso-fauna were extracted with a Tullgren funnel in the lab after about 5-7 days. This were than counted with a microscope and classified.

Soil surface insects : Insect sampling was done using sticky traps at 90 sites.

The total number of species present were counted and the density and diversity by species richness indices, species evenness indices and species diversity indices were assessed.

Soil microorganism sampling

The soil sampling is done in the same manner with soil sampling to study the physical and chemical properties of soil. The pour plate count method was then used to assess bacteria, fungi, and actinomycetes. with selected colonies being isolated for purification.

Root sampling and Plant production

Root sampling is done by digging the soil around the base of tree at a distance of about 30 cm. in the shape of soil block at the depth depending on the kinds of tree. The sample was then soaked in order to separate the soil from the root. The root mass, width, and length of root by weight.

Data analysis

The descriptive statistics and analytic statistics were then used to analyze the differences between soil properties in the plot managed with sustainable agriculture and in the area nearby using convitional management on the same soil series , the experimental procedure, the kind of plants, and duration that before and after the experiment by ANOVA. After the data are found significantly different, then done by Duncan's new multiple range test (DMRT) to verify which couple samplings are different. Finally, the findings are analyzed to find the relationships between soil organisms and soil properties.

Copyright by Mahidol University

RESULTS

The physical and chemical properties of soil

Further to the analysis of soil properties in sustainable agriculture area and the nearby area, it was found that the soil properties with sustainable agriculture management have more tendency of change than those with no the management. The water-holding water is taken into consideration which get an increase from 20.84 % on the nearby area to 29.73 % on the sustainable agriculture area. Moreover, soil pH moves from 7.4 on the nearby area to 6.9 on the sustainable agriculture area, soil organic matter increased from 1.91 % on the nearby area to 2.30 % on the sustainable agriculture area. The total nitrogen on both area is nearly the same as well as the available phosphorous. The extractable potassium changes from 69 ppm on the nearby area to 96.02 ppm on the sustainable agriculture area. Also, the extractable calcium increased from 1487 ppm to 2058 ppm. The base saturation has the higher level on both areas.

The comparison between before planting and after harvesting shows that soil properties after harvesting have more tendency of change than before planting. The soil moisture moves up from 5.63 % to 8.46 % . The organic matter changes from 2.30% at the moderate level to 2.97% at fairly high level. The total nitrogen increases from 0.11 % to 0.14% ; at the considerably high level the available phosphorous. The extractable magnesium moves up from 108.82 ppm to 113.20 ppm.

As the treatment, it was shown that the second one is the best but the first, the third, the fifth and the forth ones are placed beneath respectively. The kind of plants made the change of soil properties best on both duration is cucumber, but sweet corn, yard long bean, and bitter gourd have no difference.

The diversity of soil fauna

It is shown that 25833 of the adult and larva of soil fauna are found for 14 species; 9436 fauna , 14 species before planting ; 16397 fauna, 13 species after harvesting. However, only species on the area with no management are 7 ants. As the classification of kinds of soil fauna on the area with sustainable agriculture in both duration, Enchytraeid worms is found most and then earthworm, insects centipedes and spider respectively.

The comparison between the treatment before planting and after harvesting was found that the second one has the most density of soil fauna, whereas the fifth has the least. The first, third, forth have no difference. On the other hand, the bitter gourd has the most density of soil fauna; yard long bean, cucumber and sweet corn are placed beneath respectively.

In view of the diversity of soil fauna, there is more density of soil fauna before planting than after harvesting. The forth and fifth treatments have more diversity than the others on both duration. Cucumber and sweet corn is found most , however, yard long bean and bitter gourd have no difference.

The diversity of soil surface insects

Soil surface insects sampling in each subplot of sustainable agriculture was done using yellow sticky traps at 90 sites, It was shown that the 2985 insects altogether were found and then classified into 12 Order, namely; Order Araneida, Order Odonata, Order Orthoptera, Order Isoptera, Order Dermaptera, Order Hemiptera, Order Homoptera, Order Lepidoptera, Order Hymenoptera, Order

Copyright by Mahidol University

Thysanoptera, Order Coleoptera, and Order Diptera. The insects of Order Coleoptera are found most; those of Order Homoptera, Order Diptera and Order Orthoptera are placed beneath respectively.

In view of the treatment and the kinds of plants, it was shown that the forth one is the most density of insects i.e. 5.99 insects per sq.m. The second ,fifth, third, first ones are placed beneath i.e. 5.28, 4.19, 4.15, and 3.84 insects per sq.m. respectively. On the other hand, cucumber has the most density of insects; yard long bean, bitter, and sweet corn are 5.01, 4.93, 4.29 and 3.94 insects per sq.m. respectively.The first and fifth treatments have more density value than the others. Sweet corn has the most, whereas yard long bean the least.

In addition, it was found that most of the soil surface insects are beneficial towards agriculture ecology as natural predators, parasites, and plant pollinators. They can be used to control insects and pathogen by reducing the impact of the pests.

The diversity of soil microorganisms

The counting of soil microorganisms was shown that there are lower amount of microorganisms on the nearby area with no management than on that with sustainable agriculture.The amounts of bacteria, actinomycetes, and fungi are 5.20×10^9, 4.10×10^6, and 3.50×10^4 cfu/g dry soil respectively. On the other hand, the soil microorganisms on sustainable agriculture area has no difference between before planting and after harvesting; $1.00 \times 10^8 - 9.04 \times 10^{10}$, $2.63 \times 10^7 - 4.30 \times 10^8$ and $6.05 \times 10^5 - 1.27 \times 10^6$ cfu/ g dry soil before planting ; $1.30 \times 10^8 - 3.55 \times 10^{11}$,$1.61 \times 10^7 - 2.98 \times 10^8$ and $1.80 \times 10^5 - 4.75 \times 10^5$ cfu/ g dry soil after harvesting.

In view of the treatment and the kind of plants, it was found that before planting, there are the most amount of bacteria and actinomycetes in the fifth treatment. Fungi is found most in the forth one. As up to harvesting period, bacteria is found most in the forth one; actinomycetes in the first one, and fungi in the second one. The least amount of soil microorganisms is found in the third on both durations. Another view, cucumber and bitter gourd has the most amount of bacteria; sweet corn the most one of actinomycetes and fungi.

The identification of kinds of soil microorganisms on the area with sustainable agriculture was that 24 kinds of bacteria are found by morphological characteristics and gram stain as well as 3 kinds of actinomycetes and 13 kinds of fungi. Most of the fungi found are classified as *Aspergillus spp.* , *Penicillium spp*, and *Trichoderma spp.* The actinomycetes are *Streptomyces spp.* which can produce the biological substances to decompose the residue plants. The release of CO_2 , organic acids , cementing agents, nutrients i.e., nitrogen, phosphorous, sulfur, and humus etc. is then occurred back into ecology and makes it balance and increases soil fertility .

The quantity of plant root and plant production

Root sampling to analyze the amount of plant root on the area with sustainable agriculture by collecting its width and length, root mass by fresh and dry weight, it was found that in the view of width and length of root, the forth treatment of every kind of plants gives the best. In root mass by fresh and dry weight, the second one of sweet corn and bitter gourd gives the most fresh weight. while yard long bean and cucumber in the forth and fifth ones; in dry weight of roots of sweet corn and yard long bean in the fifth, bitter gourd in the second, and cucumber in the forth. On the other hand, plant production on the area with sustainable agriculture was found that in

Copyright by Mahidol University

the second experimental procedure gives the highest crop and the fifth, forth, first, and third are placed beneath i.e., 63.63, 60.17,45.28,43.14 and 41.01 kg / plot respectively.

DISCUSSION

The study reveals that the effect of change of soil properties in the experimental procedures is not different. The second treatment (compost fertilizer at 30 ton/rai) and the first treatment (compost fertilizer at 15 ton/rai) give a better change of physical and chemical properties. While the forth treatment (Natural compost fertilizer) and the fifth treatment (Natural compost fertilizer and chemical fertilizer ½ of suggested rate of plant) result in the abundance and diversity of soil fauna, soil surface insects, the amount of soil microorganisms, and the amount of plant root. In view of crop yield, the second and fifth treatments give the highest crop yield. From the above, the second treatment is the most suitable for the change of plant nutrient , quality and crop yield; however, it is difficult for farmer to take into practice. Therefore, the natural composed fertilizer and chemical fertilizer ½ of suggested rate of plant are more used and easier to make. They give the nearly equal amount of crop yield. The kind of plant experimented making a better effect of biological , physical and chemical properties is cucumber.

The soil improvement using compost fertilizer and natural compost fertilizer at the different rates continuously under sustainable agriculture on loamy sand, Mapbon series has a better tendency of change of soil properties.The compost fertilizers help improve a better physical properties, soil aeration and the expansion of plant root. This results in increasing efficiency of root exudates release and then more number and activities of soil microorganism. They help increase water-holding capacity; maintain soil moisture; increase buffering capacity; increase plant nutrients i.e. primary essential elements, secondary essential elements and trace elements, which plants and soil organisms can take for growth duration. In addition, the change of soil properties is directly proportional to the change of diversity of soil organisms; in other words, the more fertile the soil properties, the more amount the soil organisms that can be used as bio-indicators of soil health are earthworms, insects, centipedes, spiders, and millipedes.

Moreover, the change of soil properties depends on several factors, apart from on soil surface and underground, the cultivations have an effect on soil properties and living of soil organisms. The soil improvement using compost fertilizers and soil conditioner, such as white lime and pumite with soil mulching techniques can be maintained soil moisture and increases organic matters and nutrients equally compared with chemical fertilizers use. At the same time, it encourages the various activities of soil organisms. The multiple-cropping rotations and continuous integrated farming led to change in the soil community and plant extracts i.e. neem extract, and the use of sticky traps in controlling the pests not only have an effect on the diversity of soil organisms but also on the pest control i.e., to reduce pest eradications. This leads to the balance between the number of pests and that of beneficial insects on ecological environment. Even though the condition is loamy sand which has low moisture, if provided irrigation system and mulching, the area of planting will be better and better.

Copyright by Mahidol University

CONCLUSION

The study of effect of the change of soil properties after using the agricultural management in sustainable agricultural systems on the demonstration plot of sustainable agriculture research project using composed fertilizers compared with natural composed fertilizers on Mapbon series loamy sand (the 35th group) continuously about 7 years at Khao Hin Sorn Royal Development Study Center, Phanomsarakam, Chachoengsao Province has a better tendency of change of the biological, physical and chemical properties of soil. Also, the tendency of bio-diversity of beneficial soil surface insects is likely to be better. Moreover, it has an influence towards plant growth and crop yield directly and indirectly. Therefore, this system is implemented appropriately in the other areas, it can be maintained the soil biodiversity and ecosystem.

RECOMMENDATION

It is recommended that :

1) There should be an inspection and research on biodiversity of soil organisms continuously in order to analyze the tendency of change in a long-term study and then bring to soil management planning in the other areas.

2) There should be some publications for farmers and interested people to obtain the results of research on sustainable agriculture and take into practice for conservation of biodiversity of soil organisms.

3) There should be further study about soil microorganisms such as N_2 – fixing microorganisms, Rhizobium, Mycorrhizae, Algae etc. and soil organisms on plant rhizosphere and rhizoplane regions.

4) There should be additional study on the linkages between soil biodiversity and the biodiversity of above ground plant communities and plant production.

5) The further study should be able to predict what degree of human-induced disturbance on the soil is needed to reduce biodiversity to the point where soil functional processes proceed at reduced efficiency.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the TRF/ BIOTEC Special Program for Biodiversity Research and Training grant BRT 543078.

REFERENCES

BRUSSAARD LIJBERT. 1997. Soil ecology in Sustainable Agricultural system. Lewis Publishers America.: America.

CLIVE A. EDWARDS, RATTAN LAL, PATRICK MADDEN, ROBERT H. MILLER GAR HOUSE. 1990. Sustainable Agricultural system. America : St. Lucie Press : America .

DAVID C. COLEMAN, D.A. CROSSLEY, JR. 1995. Fundamentals of soil ecology. Academic Press Inc.:London.

Copyright by Mahidol University

HATFIELD, J.L. STEWART, B.A. 1994. Soil biology : Effect on soil quality. Lewis Publishers America:America.
PANKHURST C.E., DOUBE B.M., GUPTA V.V.S.R.1997. Biological indicators of soil health. CAB International Wallingford: America.

****



Copyright by Mahidol University