สำนักหอสมุด
อตฺตานํ อุปมา กเร
มหาวิทยาลัยมหิดล

การทดลองหาข้อกำหนดในกระบวนการผลิตถั่วงอก

THE EXPERIMENT ON CRITERIA FOR SPROUTING QUALITY IN MUNGBEAN SPROUT PRODUCTION

อุษณากร ศรีนพคุณ

อภินันทนาการ
จาก
บัณฑิตวิทยาลัย มหิดล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล
พ.ศ. 2538

วพ
ต๘๖๓ก
๒๕๓๘

Copyright by Mahidol University

วิทยานิพนธ์
เรื่อง
การทดลองหาข้อกำหนดในกระบวนการผลิตถั่วงอก

อุษณากร ศรีนพคุณ
.....

อุษณากร ศรีนพคุณ
ผู้วิจัย

.....

สมพงษ์ ธงไชย คอ.บ.,วท.ม.
ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....

พงศ์พิศน์ ปิยะพงศ์ วท.บ.,M.S.
กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....

นุกูล แสงพันธุ์ วท.บ.,วท.ม.
กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....

มันตรี จุลสมัย พ.บ., Ph.D
คณบดี
บัณฑิตวิทยาลัย

.....

เกษม กุลประดิษฐ์ ศศ.บ.,วท.ม.
ประธานคณะกรรมการประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร
คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

Copyright by Mahidol University

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การทดลองหาข้อกำหนดในกระบวนการผลิตถั่วงอก

ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

วันที่ 30 สิงหาคม 2538

อุษณากร ศรีนพคุณ

.....

อุษณากร ศรีนพคุณ

ผู้วิจัย

.....

เทพนม เมืองแมน B.A.,M.D.,M.P.H.,Dr.P.H.

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

สมพงษ์ ธงไชย คอ.บ.,วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

นุกูล แสงพันธุ์ วท.บ.,วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

พงศ์พิศน์ ปิยะพงศ์ วท.บ.,M.S.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

มันตรี จุลสมัย พ.บ., Ph.D

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

.....

เทพนม เมืองแมน B.A.,M.D.,M.P.H.,Dr.P.H.

คณบดี

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

Copyright by Mahidol University

ชื่อวิทยานิพนธ์	การทดลองหาข้อกำหนดในกระบวนการผลิตถั่วงอก
ผู้วิจัย	อุษณากร ศรีนพคุณ
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์	สมพงษ์ ธงไชย คอ.บ.,วท.ม. พงศ์พิศน์ ปิยะพงศ์ วท.บ.,M.S. นุกูล แสงพันธุ์ วท.บ.,วท.ม.
วันที่สำเร็จการศึกษา	30 สิงหาคม พ.ศ. 2538

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการผลิตถั่วงอก รวมไปถึงการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการผลิต เพื่อออกข้อกำหนดในกระบวนการผลิตถั่วงอก ตลอดจนวิเคราะห์ความเหมาะสมของกระบวนการผลิต ในการศึกษาได้มีการรวบรวมข้อมูลทางภาคสนามโดยทำการทดลองหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการผลิตถั่วงอก 12 ปัจจัย โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และใช้การวิเคราะห์ทางสถิติโดย ANOVA และT-TEST

ผลการศึกษาในด้านปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการผลิตถั่วงอก พบว่า ประกอบด้วยปัจจัย 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือ ปัจจัยทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ เมล็ดควรมีความชื้นเริ่มต้นสำหรับการงอก 60 % ของน้ำหนักเมล็ดแห้ง อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ดสามารถแบ่งได้ตามช่วงเวลา ชั่วโมงการเพาะที่ 1-12 อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 33°C ชั่วโมงการเพาะที่ 13-36 อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 35°C ชั่วโมงการเพาะที่ 37-60 อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 38°C ปริมาณน้ำที่เพียงพอต่อการงอกของเมล็ดสามารถแบ่งได้ตามช่วงเวลา ชั่วโมงการเพาะที่ 1-12 ปริมาณน้ำที่เพียงพอคือ 3-5 ลิตร/3 ชั่วโมง ชั่วโมงการเพาะที่ 13-36 ปริมาณน้ำที่เพียงพอคือ 6-10 ลิตร/3 ชั่วโมง ชั่วโมงการเพาะที่ 37-60 ปริมาณน้ำที่เพียงพอคือ 11-20 ลิตร/3 ชั่วโมง เมล็ดต้องได้รับการรดน้ำที่เพียงพอสำหรับการงอกทุก 3 ชั่วโมง นอกจากนี้ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการผลิตอีกกลุ่มคือ ปัจจัยทางด้านอุตสาหกรรมศาสตร์ ได้แก่ ควรใช้ปริมาณเมล็ดถั่วเขียว 0.60 กิโลกรัม/ถังเพาะขนาด 5 ลิตร ควรใช้ปริมาณน้ำในการล้างและแช่เมล็ด 6.50 ลิตร ควรเร่งอัตราการเจริญเติบโตและฆ่าเชื้อโรคด้วยน้ำปูนใส ควรให้น้ำโดยวิธีการขังน้ำภายในถังเพาะ และควรใช้ถังเพาะรูปทรงเตี้ยและมีพื้นที่บริเวณกลางถังเพาะกว้างมากกว่าตอนบนและล่างของถังเพาะ

Copyright by Mahidol University

ผลการศึกษาในด้านการออกข้อกำหนดในกระบวนการผลิต พบว่า การผลิตโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะ สามารถให้คุณภาพและปริมาณผลผลิตมากกว่า ใช้ปัจจัยการผลิตน้อยกว่า โดยออกข้อกำหนดในกระบวนการผลิต ดังนี้ ชั่งเมล็ดถั่วเขียวหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างให้สะอาดด้วยน้ำ 4.00 ลิตร นำมาแช่ในน้ำผสมปูนแดง 2.50 ลิตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำมาลงในถังเพาะขนาด 5 ลิตร คลุมด้วยกระสอบชื้น การให้น้ำขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิและระยะเวลา โดยชั่วโมงการเพาะที่ 1–12 ให้น้ำ 3–5 ลิตร/3 ชั่วโมงและอุณหภูมิไม่เกิน 35C ชั่วโมงการเพาะที่ 13–36 ให้น้ำ 6–10 ลิตร/3 ชั่วโมงและอุณหภูมิไม่เกิน 35C ชั่วโมงการเพาะที่ 37–60 ให้น้ำ 11–20 ลิตร/3 ชั่วโมงและอุณหภูมิไม่เกิน 35C ทุกครั้งที่ให้น้ำทำการขังน้ำภายในถังเพาะ 5 นาที เมื่อเพาะครบ 60 ชั่วโมง ทำการเก็บถอนและทำความสะอาดผลผลิต

ผลการศึกษาในด้านการวิเคราะห์ความเหมาะสมของกระบวนการผลิต พบว่า ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกสามารถให้ผลผลิตรวม 4.14 กิโลกรัม โดยให้ถั่วงอกเกรด A ทั้งหมด อัตราการใช้น้ำ 66.50 ลิตร อัตราการใช้แรงงาน 2.16 ชั่วโมง อัตราการใช้พลังงาน 831.25 วัตต์ อตราการใช้ระยะเวลา 60 ชั่วโมง นั่นคือระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกมีประสิทธิผลการผลิต 6.90 เท่า มีสมรรถนะการผลิต 6.90 เท่า มีประสิทธิภาพเชิงเทคโนโลยี 100 % มีประสิทธิภาพเชิงการเงิน (กรณีไม่คิดค่าจ้างแรงงาน) 210.61 % (กรณีคิดค่าจ้างแรงงาน) 6.46 %

การนำผลการศึกษาเพื่อขยายผลสู่ระบบการผลิตจริง ควรมีการศึกษาและออกแบบระบบการผลิตให้เหมาะสมกับสภาพแต่ละท้องถิ่นเพื่อให้ระบบการผลิตมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยต้องออกแบบระบบการผลิตในหลักเกณฑ์ ดังนี้ การวิเคราะห์การตลาดและส่วนแบ่งในตลาด การวิเคราะห์การลงทุนและค่าใช้จ่ายในการผลิต การวิเคราะห์ความเหมาะสมของกำลังการผลิต การเลือกทำเลที่ตั้งของโรงเพาะ การออกแบบอุปกรณ์ การวางแผนผังโรงเพาะ การศึกษางาน และการจูงใจแรงงาน

Copyright by Mahidol University

Thesis Title The Experiment on Criteria for Sprouting Quality in Mungbean Sprout Production

Name Usanakorn Srinoppakun

Degree Master of Science (Appropriate Technology for Resource Development)

Thesis Supervisory Committee

Sompong Tongchai, M.S.

Pongpit Piyapongse, B.Sc.,M.S.

Nukul Sangphan, B.Sc.,M.S.

Date of Graduation 30 August B.E. 2538 (1995)

ABSTRACT

The objective of this study is to study and analyze on the problems of processing and producing the Mungbean Sprout . Including in this study is the experimentation to find the significant factor that effect the Mungbean Sprout Germination in order to design the criteria for sprouting quality and analyze the appropriateness productive technique . This study collected the data from Field-Work by experimentation from 12 factors that effect the Mungbean Sprout Germination using the Complete Randomized Designed . The result data from 3 repeated experimentation had been analyzed statistically by using ANOVA and T-Test approaches .

The Result from the study of all 12 factors that effect the production of Mungbean Sprout can be divided into 2 groups . The first group is the Scientific Germination factors such as the moisture within the mungbean seed should be at least 60 % of dry weight , The Optimum Temperature divided into 3 germination periods . The 1^{st} - 12^{th} , The 13^{th} - 36^{th} and The 37^{th} - 60^{th} of germination hour . The optimum temperature were $33^{\circ}C$, $35^{\circ}C$ and $38^{\circ}C$, respectively , . The adequate quantity of water according to the above 3 germination periods were 3-5 litres every 3 hours, 6-10 litres every 3 hours and 11-20 litres every 3 hours , respectively , . The second group is the Industrialize Productive factors such as the quantitiy of the Mungbean seeds to germinate should be 0.60 kg / 5 litres planter , the adequte water quantity for cleaning

Copyright by Mahidol University

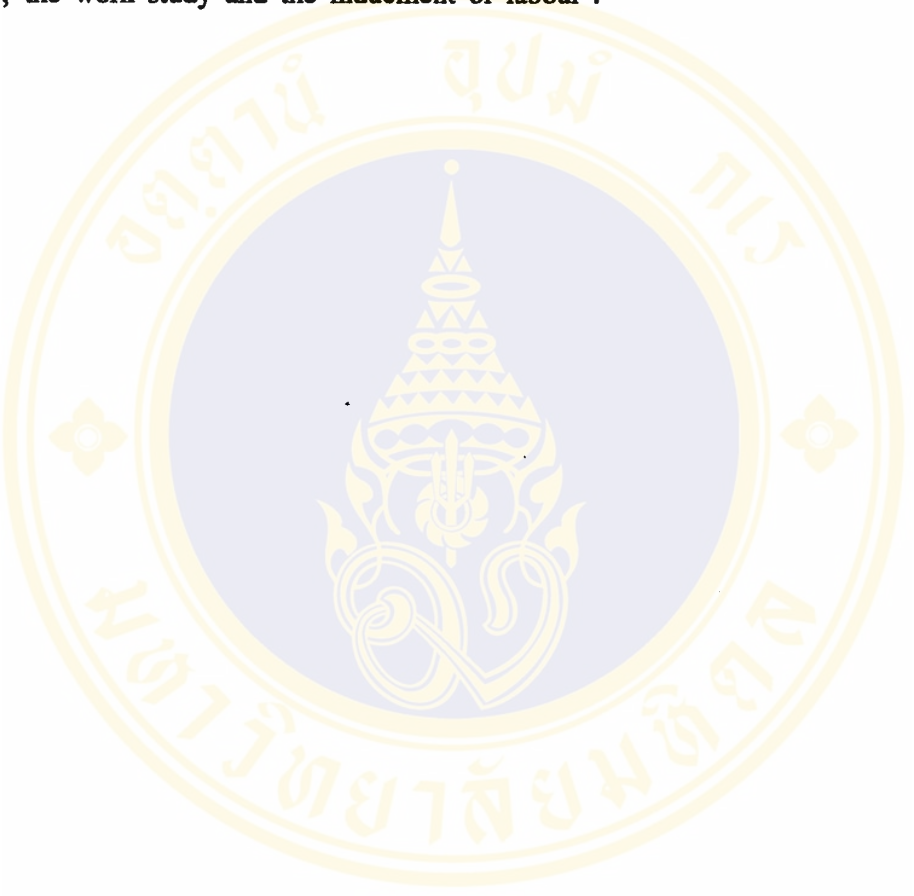
and soaking the Mungbean seeds should be 6.50 litres . In order to accelerate the sprouting , the Mungbean seeds should be soaked in Calcium Hydroxide solution . In prospect of the best quality of the Mungbean sprout should practice the use of storing the water and soaking the Mungbean seeds in the planter for 5 mintues . The planter should in shape that the diameter of planter in the middle is wider compare to the top and the bottom .

The result of the design on criteria for productive technique indicate that the Production Control System used less factors and cost in production and significantly increased more Mungbean Sprout 's quality and quantity . The design techniques used in this study was to weight the Mungbean seeds 0.60 kg , washed and cleaned them with 4 litres of water and soaked in Calaium Hydroxide solution 2.50 litres for 4 hours , then transfered to 5 litres planter for germination . The planter was covered with a heavy hamper cloth to maintain darkness and high humidity . watering depended on 2 factors as temperature and germination period . At the 1^{st} -12^{th} hour watered 3-5 litres every 3 hours and temperature at 33°C . At the 13^{th} -36^{th} hour watered 6-10 litres every 3 hours and temperature at 35°C . At the 37^{th} -60^{th} hour watered 11-20 litres every 3 hours and temperature at 38°C . Every watering period need to store water in the planter for 5 mintues . At The 60^{th} hours of the germination process is completed . The sprout can be plucked and cleaned .

The result of the analyze on appropriateness of the Production Control System indicate that the Production Control System has produced net weight 4.14 kg and grade A of the Mungbean Sprout . Water consumtive rate was 66.50 litres , Labour consumtive rate was 2.16 hours , Energy consumtive rate was 831.25 watts , time consumtive rate was 60 hours . Production Control System had to indication of the Effectiveness approached to sevenfold , the Performance approached to sevenfold . The Technology Efficiency 100 % . The Financial Efficiency (non wage) 210.61 % (plus wage) 6.46 %.

Copyright by Mahidol University

The applied Production Control System to the real production system indicate that the appropriate area of production should be considered . By using the criteria on Designing Productive System such as the analysis on marketing , invesment and cost of production , as well as to consider the appropriate for power of production , the discrimination in site of plant , the designing on tools and equipment , the plan of the plant , the work study and the inducment of labour .



Copyright by Mahidol University

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวอุษณากร ศรีนพคุณ
วัน เดือน ปีเกิด	25 มิถุนายน พ.ศ. 2514
สถานที่เกิด	จังหวัดแม่ฮ่องสอน ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, พ.ศ. 2532-2535 : วิทยาศาสตรบัณฑิต (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยมหิดล, พ.ศ. 2536-2538 : วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)
ทุนการศึกษา	ราชกรีฑาสโมสร, พ.ศ. 2536-2537

Copyright by Mahidol University

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์สมพงษ์ ธงไชย ประธานคณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์(พิเศษ)พงศ์พิศน์ ปิยะพงศ์ และอาจารย์นุกูล แสงพันธุ์ กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งศาสตราจารย์นายแพทย์เทพนม เมืองแมน คณบดี คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ ที่ได้กรุณาสละเวลามาให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณบัญญัติ ศุภพิมล ผู้เชี่ยวชาญการผลิตถั่วงอกบริษัทสหปราจีน จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องและมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการศึกษา นอกจากนี้แล้ว ยังมีคณะบุคคลอันประกอบไปด้วยบิดา มารดา ญาติพี่น้อง ครอบครัวศรีนพคุณ และเพื่อนผู้ร่วมงานทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ซึ่งทำให้การศึกษาสำเร็จลงได้ตามเป้าหมาย ผู้วิจัยขอขอบคุณในความเอื้อเฟื้อและไมตรีจิตที่ท่านทั้งหลายให้ความกรุณา ทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอน้อมรำลึกถึงผู้มีพระคุณตลอดจนผู้ใกล้ชิดทุกท่านที่ได้ให้กำลังใจและสนับสนุนให้การศึกษาสำเร็จลงได้ และประโยชน์ที่จะได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ บิดา-มารดา ที่ให้กำเนิดชีวิต และคณะครู-อาจารย์ผู้ประสิทธิประสาทวิชาแก่ผู้วิจัยทุกท่าน ตลอดจนศาสตราจารย์ ดร.นาท ตัณฑวิรุฬห์ ผู้ก่อตั้งคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

อุษณากร ศรีนพคุณ

Copyright by Mahidol University

สารบัญเรื่อง

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 แนวคิดในการศึกษา 3
1.3 วัตถุประสงค์การศึกษา 5
1.4 ขอบเขตการศึกษา 5
1.5 ข้อจำกัดและคำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษาและทดลอง 6
1.6 แผนการศึกษา 7
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วเขียว 9
2.2 ส่วนประกอบของเมล็ดถั่วเขียว 14
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วเขียว 15
2.3.1 คาร์โบไฮเดรต 15
2.3.2 ไขมัน 16
2.3.3 โปรตีน 16
2.3.4 วิตามิน 17
2.3.5 แร่ธาตุ 17
2.3.6 สารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการ 17
2.3.7 เถ้าและเส้นใย 18
2.4 ปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ดถั่วเขียว 19
2.4.1 น้ำหรือความชื้น 19
2.4.2 อากาศ 19
2.4.3 อุณหภูมิ 20
2.4.4 แสง 21
2.5 ขบวนการในการงอกของเมล็ดถั่วเขียว 21
2.5.1 การดูดน้ำของเมล็ด 22
2.5.2 การหายใจขณะเมล็ดงอก 23

Copyright by Mahidol University

สารบัญเรื่อง

2.6 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวขณะงอก 27
2.6.1 คาร์โบไฮเดรต 27
2.6.2 ไขมัน 27
2.6.3 โปรตีน 28
2.6.4 วิตามิน 29
2.6.5 แร่ธาตุ 29
2.6.6 สารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการ 30
2.6.7 เถ้าและเส้นใย 31
2.6.8 ปริมาณน้ำ 31
2.7 สัณฐานวิทยาการงอกของเมล็ดถั่วเขียว 32
2.8 เทคโนโลยีการเพาะถั่วงอกเชิงพาณิชย์ 33
2.8.1 การเพาะถั่วงอกด้วยทราย 33
2.8.2 การเพาะถั่วงอกด้วยขี้เถ้าแกลบ 35
2.8.3 การเพาะถั่วงอกด้วยน้ำ 37

บทที่ 3 วิธีการศึกษา

3.1 ขั้นตอนการเตรียมการ 42
3.1.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและตรวจเอกสาร 42
3.1.2 การออกแบบสำรวจเทคโนโลยีการผลิต 42
3.1.3 ทดสอบแบบสำรวจและปรับปรุงแก้ไข 44
3.2 ขั้นตอนการสำรวจข้อมูล 44
3.2.1 การสำรวจเทคโนโลยีการผลิต 44
3.2.2 การวิเคราะห์ปัญหาจากกระบวนการผลิต 44
3.2.3 การสำรวจอุณหภูมิรดน้ำที่เหมาะสม 44
3.2.4 การสำรวจปริมาณน้ำที่ใช้รดถั่วงอก 44
3.2.5 การสำรวจระยะห่างในการรดน้ำแต่ละครั้ง 44
3.2.6 การสำรวจคุณภาพน้ำที่ใช้รดถั่วงอก 44
3.2.7 การสำรวจพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต 45
3.2.8 การสำรวจแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต 45

Copyright by Mahidol University

สารบัญเรื่อง

3.2.9 การสำรวจระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต 45
3.2.10 การสำรวจความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเพาะ 45
3.2.11 การสำรวจการระเหยของน้ำในถังเพาะ 45
3.2.12 การสำรวจความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเพาะ 45
3.2.13 การสำรวจอุณหภูมิภายในโรงเพาะ 46
3.2.14 การสำรวจความเข้มของแสงภายในโรงเพาะ 46
3.3 ขั้นตอนการทดลองและออกข้อกำหนดในกระบวนการผลิต 46
3.3.1 การออกแบบถังเพาะถั่วงอก 46
3.3.2 การทดลองเปรียบเทียบปริมาณถั่วเขียวที่เหมาะสม 48
3.3.3 การทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำล้างเมล็ดที่เหมาะสม 49
3.3.4 การทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำแช่เมล็ดที่เหมาะสม 51
3.3.5 การทดลองเปรียบเทียบอิทธิพลของน้ำปูนใส 52
3.3.6 การทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการแช่เมล็ด 54
3.3.7 การทดลองเปรียบเทียบระยะห่างการรดน้ำที่เหมาะสม 56
3.3.8 การทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำรดที่เหมาะสม 58
3.3.9 การทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหมาะสม 60
3.3.10 การทดลองเปรียบเทียบเวลาการขังน้ำที่เหมาะสม 62
3.3.11 การทดลองเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำที่เหมาะสม 65
3.3.12 การทดลองเปรียบเทียบรูปทรงถังเพาะที่เหมาะสม 66
3.3.13 การออกข้อกำหนดในกระบวนการผลิตถั่วงอก 68
3.3.14 การทดลองเปรียบเทียบการเพาะถั่วงอก 71
3.4 ขั้นตอนการเก็บและบันทึกข้อมูล 73
3.4.1 การเก็บข้อมูลคุณภาพและปริมาณถั่วงอก 73
3.4.2 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิรดน้ำที่เหมาะสม 73
3.4.3 การเก็บข้อมูลปริมาณน้ำที่ใช้รดถั่วงอก 73
3.4.4 การเก็บข้อมูลระยะห่างในการรดน้ำแต่ละครั้ง 73
3.4.5 การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำที่ใช้รดถั่วงอก 73
3.4.6 การเก็บข้อมูลพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต 73
3.4.7 การเก็บข้อมูลแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต 74
3.4.8 การเก็บข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต 74
3.4.9 การเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเพาะ 74

Copyright by Mahidol University

สารบัญเรื่อง

3.4.10 การเก็บข้อมูลการระเหยของน้ำในถังเพาะ 74
3.4.11 การเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเพาะ 74
3.4.12 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในโรงเพาะ 75
3.4.13 การเก็บข้อมูลความเข้มของแสงภายในโรงเพาะ 75
3.5 ขั้นตอนการประมวลและวิเคราะห์ข้อมูล 75
3.5.1 การประมวลและวิเคราะห์ผลการทดลอง 75
3.5.2 การประมวลและวิเคราะห์ความเหมาะสม 78

บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา

4.1 ผลการทดลองและออกข้อกำหนดในกระบวนการผลิต 82
4.1.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณถั่วเขียว 82
4.1.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำล้างเมล็ด 88
4.1.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำแช่เมล็ด 92
4.1.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบอิทธิพลน้ำปูนใส 98
4.1.5 ผลการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการแช่เมล็ด 105
4.1.6 ผลการทดลองเปรียบเทียบระยะห่างการรดน้ำ 111
4.1.7 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำรดเมล็ด 118
4.1.8 ผลการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิ 125
4.1.9 ผลการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการขังน้ำ 133
4.1.10 ผลการทดลองเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำ 140
4.1.11 ผลการทดลองเปรียบเทียบรูปทรงถังเพาะ 147
4.1.12 ผลการออกข้อกำหนดในกระบวนการผลิตถั่วงอก 154
4.1.13 ผลการทดลองเปรียบเทียบการเพาะถั่วงอก 157
4.2 การวิเคราะห์ความเหมาะสมของกระบวนการผลิต 166
4.2.1 การวิเคราะห์ความเหมาะสมประสิทธิผลการผลิต 166
4.2.2 การวิเคราะห์ความเหมาะสมสมรรถนะการผลิต 167
4.2.3 การวิเคราะห์ความเหมาะสมประสิทธิภาพการผลิต 169

Copyright by Mahidol University

สารบัญเรื่อง

บทที่ 5 สรุปการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา 172

5.1.1 สรุปผลการศึกษาจากการทดลอง 172

5.1.2 สรุปผลการศึกษาจากการวิเคราะห์ความเหมาะสม 175

5.1.3 ปัญหาและอุปสรรคจากการทดลอง 177

5.1.4 การนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติจริง 178

5.2 ข้อเสนอแนะ 182

5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งนี้ 182

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งต่อไป 183

เอกสารอ้างอิง 187

Copyright by Mahidol University

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1.1 แสดงกรอบแนวคิดในการศึกษา 4
ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะของต้นถั่วเขียว 10
ภาพที่ 2.2 แสดงความต้องการบริโภคถั่วเขียว 11
ภาพที่ 2.3 แสดงความต้องการบริโภคถั่วเขียวภายในประเทศ 12
ภาพที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วเขียวและถั่วงอก 13
ภาพที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของเมล็ดถั่วเขียว 15
ภาพที่ 2.6 แสดงขบวนการในการงอกของเมล็ดถั่วเขียว 26
ภาพที่ 2.7 แสดงสัณฐานวิทยาในการงอกของเมล็ดถั่วเขียว 32
ภาพที่ 2.8 แสดงวงจรความสัมพันธ์ในกระบวนการผลิตถั่วงอก 41
ภาพที่ 3.1 แสดงแผนภาพขบวนการในการศึกษา 43
ภาพที่ 3.2 แสดงถังเพาะชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดลอง 47
ภาพที่ 3.3 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบปริมาณถั่วเขียวที่เหมาะสม 48
ภาพที่ 3.4 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำล้างเมล็ดที่เหมาะสม 50
ภาพที่ 3.5 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำแช่เมล็ดที่เหมาะสม 51
ภาพที่ 3.6 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบอิทธิพลของน้ำปูนใส 53
ภาพที่ 3.7 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบเวลาการแช่เมล็ดที่เหมาะสม 54
ภาพที่ 3.8 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบระยะห่างการรดน้ำที่เหมาะสม 56
ภาพที่ 3.9 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำรดที่เหมาะสม 58
ภาพที่ 3.10 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหมาะสม 61
ภาพที่ 3.11 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบเวลาการขังน้ำที่เหมาะสม 63
ภาพที่ 3.12 แสดงการทดลองเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำที่เหมาะสม 65
ภาพที่ 3.13 แสดงการทดลองเปรียบเทียบรูปทรงถังเพาะที่เหมาะสม 67
ภาพที่ 3.14 แสดงผังงานการเพาะถั่วงอก 68
ภาพที่ 3.15 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบการเพาะถั่วงอก 71
ภาพที่ 4.1 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณถั่วเขียว 87
ภาพที่ 4.2 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำล้างเมล็ด 91
ภาพที่ 4.3 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำแช่เมล็ด 97
ภาพที่ 4.4 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบอิทธิพลของน้ำปูนใส 104
ภาพที่ 4.5 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบเวลาการแช่เมล็ด 110
ภาพที่ 4.6 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบระยะห่างการรดน้ำ 117

Copyright by Mahidol University

สารบัญภาพ

ภาพที่ 4.7 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำรด 124
ภาพที่ 4.8 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหมาะสม 132
ภาพที่ 4.9 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบเวลาการขังน้ำ 139
ภาพที่ 4.10 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำ 146
ภาพที่ 4.11 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบรูปทรงถังเพาะ 153
ภาพที่ 4.12 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบระบบการเพาะถั่วงอก 165

Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวแห้ง 100 กรัม 19
ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวขณะงอก 100 กรัม 32
ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลการผลิตถั่วงอกเชิงพาณิชย์ 40
ตารางที่ 4.1 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณถั่วเขียว 82
ตารางที่ 4.2 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณถั่วเขียว 83
ตารางที่ 4.3 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำล้าง 88
ตารางที่ 4.4 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำแช่ 92
ตารางที่ 4.5 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำแช่ 93
ตารางที่ 4.6 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำแช่ 93
ตารางที่ 4.7 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบอิทธิพลน้ำปูนใส 98
ตารางที่ 4.8 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบอิทธิพลน้ำปูนใส 99
ตารางที่ 4.9 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบอิทธิพลน้ำปูนใส 99
ตารางที่ 4.10 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบเวลาการแช่เมล็ด 105
ตารางที่ 4.11 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบเวลาการแช่เมล็ด 106
ตารางที่ 4.12 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบระยะห่างการรดน้ำ 111
ตารางที่ 4.13 แสดงปัจจัยผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบระยะห่างการรดน้ำ 112
ตารางที่ 4.14 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบระยะห่างการรดน้ำ 112
ตารางที่ 4.15 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำรด 118
ตารางที่ 4.16 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำรด 119
ตารางที่ 4.17 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำรด 119
ตารางที่ 4.18 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิ 125
ตารางที่ 4.19 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิ 126
ตารางที่ 4.20 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิ 127
ตารางที่ 4.21 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบเวลาการขังน้ำ 133
ตารางที่ 4.22 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบเวลาการขังน้ำ 134
ตารางที่ 4.23 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบเวลาการขังน้ำ 134
ตารางที่ 4.24 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำ 140
ตารางที่ 4.25 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำ 141
ตารางที่ 4.26 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำ 141
ตารางที่ 4.27 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบรูปทรงถังเพาะ 147

Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.28 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบรูปทรงถังเพาะ 148
ตารางที่ 4.29 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบรูปทรงถังเพาะ 148
ตารางที่ 4.30 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบระบบการเพาะ 157
ตารางที่ 4.31 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบระบบการเพาะ 158
ตารางที่ 4.32 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบระบบการเพาะ 158

Copyright by Mahidol University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ถั่วงอก (BEAN SPROUT) เป็นผักที่ประชาชนชาวไทยนิยมนำมาบริโภคไม่ว่าจะเป็นในรูปของถั่วงอกสด รวมไปถึงการนำถั่วงอกไปประกอบอาหารคาวและอาหารว่างกันทั่วไป เช่น ใส่ในก๋วยเตี๋ยว ขนมจีน ทำแกงจืด ผัดถั่วงอก เป็นต้น ในช่วง 10 ปีผ่านมาอุตสาหกรรมการผลิตถั่วงอกได้ขยายตัวสูงมาก จนกระทั่งก่อให้เกิดอุตสาหกรรมการแปรรูปถั่วงอกซึ่งนับว่าเป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องกับอุตสาหกรรมการผลิตถั่วงอก โดยทำการแปรรูปจากถั่วงอกสดเป็นถั่วงอกบรรจุกระป๋อง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคในตลาดต่างประเทศมาก ไม่ว่าจะเป็นตลาดภาคพื้นเอเชียหรือตลาดยุโรป สำหรับตลาดภายในประเทศ ผู้บริโภคยังคงให้ความนิยมกับการเลือกบริโภคถั่วงอกสดเนื่องจากหาซื้อได้ง่ายและราคาถูก พบว่าในช่วงฤดูหนาวของแต่ละปีโรงงานผลิตถั่วงอกใหญ่ๆในต่างจังหวัดเพียงโรงงานเดียวมีกำลังการผลิตส่งถั่วงอกเข้าตลาดกรุงเทพวันละ 6,000 กิโลกรัม หรือ 6 ตัน ซึ่งยังไม่รวมโรงงานเล็กอีกประมาณ 300 โรงงาน ซึ่งหมายความว่าในแต่ละวันจะมีถั่วงอกเข้าสู่ตลาดกรุงเทพไม่น้อยกว่า 200,000 กิโลกรัม (ป.ประมณฑ์ปัญญา,2528) จะเห็นว่าถั่วงอกเป็นผักชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคและสมควรได้รับการสนับสนุนจากองค์กรของรัฐและเอกชนทั้งในด้านของการผลิตให้ได้มาตราฐานเป็นที่ยอมรับของตลาดโลก และการขยายตลาดการค้าถั่วงอกให้กว้างออกไปอีก

ถั่วงอกเป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารเปลี่ยนแปลงไปจากถั่วดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการเพาะ โดยถั่วงอกที่ทำการเพาะจากถั่วดิบสายพันธุ์ต่างกันจะให้ถั่วงอกที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และคุณลักษณะภายนอกต่างกัน นอกจากปัจจัยในเรื่องของสายพันธุ์ถั่วที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการเพาะแล้ว ยังมีปัจจัยในเรื่องของกระบวนการผลิต ที่ทำให้คุณลักษณะภายนอกและคุณค่าทางอาหารของถั่วงอกแตกต่างกันอีกด้วย ซึ่งกระบวนการผลิตถั่วงอกในปัจจุบันมีหลายวิธีการและหลายระดับการผลิต นับตั้งแต่การผลิตถั่วงอกในระดับการผลิตเพื่อการบริโภคประจำวัน กระทั่งถึงระดับธุรกิจอุตสาหกรรม โดยอุตสาหกรรมการผลิตถั่วงอกส่วนใหญ่มักจะเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลาง กระบวนการผลิตถั่วงอกให้ได้ถั่วงอกที่มีคุณภาพดีเป็นที่ต้องการของตลาด จะเป็นวิธีการเฉพาะของแต่ละแหล่งผลิต ซึ่งจะมีผลต่อการเลือก

Copyright by Mahidol University

บริโภคของผู้บริโภคในตลาดทั้งภายในประเทศและภายนอกประเทศ โดยถั่วงอกที่มีคุณภาพดีย่อมจะเป็น
ที่ต้องการผู้บริโภคในตลาดสูง นอกจากนี้กระบวนการผลิตจะแสดงถึงอัตราการใช้ทรัพยากรการผลิตตลอดกระบวนการผลิตและของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตอีกด้วย

ถั่วงอกเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีบริโภคกันตลอดปี ซึ่งนอกจากจะบริโภคในรูปของผักสดแล้วยังสามารถบริโภคในรูปแบบของผักแปรรูป ดังนั้นเรื่องของการมีโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปถั่วงอกไว้รองรับผลผลิตที่เหลือจากการบริโภคภายในประเทศ และเพื่อผลิตและส่งขายสู่ตลาดต่างประเทศจึงมีความจำเป็น ซึ่งอุตสาหกรรมดังกล่าวเป็นอุตสาหกรรมที่เพิ่มมูลค่าของผลิตผลทางการเกษตรเป็นอย่างมาก โดยจะเห็นได้ชัดมากในกรณีของถั่วงอก จากผักสดที่มีราคาเพียงกิโลกรัมละ 7 บาท เมื่อถูกผ่านกรรมวิธีการผลิตด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย ก็กลายสภาพเป็นสินค้าที่มีราคาสูงขึ้นเกือบเท่าตัว อุตสาหกรรมการเกษตรนับว่าเป็นอุตสาหกรรมที่เพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร เพิ่มการจ้างงาน ช่วยกระจายการผลิตจนถึงขั้นครบวงจรการค้าขายขยายตัว ทำให้เพิ่มมูลค่าการส่งออก ทั้งยังก่อให้เกิดการพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตทางการเกษตร และคุณภาพของสินค้าเกษตรที่จะนำมาทำเป็นวัตถุดิบของโรงงาน รวมทั้งเทคโนโลยีที่จะได้รับการพัฒนาให้เหมาะสม เป็นที่น่ายินดีว่าปัจจุบันรัฐบาลได้มีความตื่นตัวเพื่อที่จะเร่งรัดพัฒนาและปรับปรุง ประสิทธิภาพการผลิตและการตลาดของสินค้า เกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรมากขึ้น โดยประสานพัฒนาระบบการผลิตและการตลาดเข้าด้วยกัน ให้มีลักษณะเชื่อมโยงอย่างเป็นระบบครบวงจร โดยมุ่งไปที่สินค้าเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมถั่วงอกบรรจุกระป๋อง เป็นอุตสาหกรรมเกษตรที่แปรรูปถั่วงอกสดให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้น และเป็นที่ต้องการของตลาดโลก จำเป็นต้องอาศัยปัจจัยสำหรับทั้งทางด้านการผลิตและการตลาดเป็นอันมาก นับตั้งแต่เงินลงทุน ผู้เชี่ยวชาญในการดำเนินงาน และสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง คือ เทคโนโลยีในการผลิต ระบบการผลิตถั่วงอกที่นิยมแพร่หลายระบบหนึ่ง คือ ระบบการเพาะถั่วงอกด้วยน้ำ เนื่องจากเป็นระบบการเพาะที่ทำได้สะดวกมีข้อจำกัดในการผลิตน้อยและไม่ก่อให้เกิดภาระแก่สิ่งแวดล้อม ซึ่งขั้นตอนในกระบวนการเพาะถั่วงอกด้วยน้ำจะอาศัยประสบการณ์ในการเพาะถั่วงอกของผู้ทำการเพาะเป็นปัจจัยสำคัญกว่าข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งยังไม่มีการศึกษากันอย่างแท้จริง

การศึกษาครั้งนี้จะรวมไปถึงการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเพาะถั่วงอก เช่น อุณหภูมิรดน้ำที่เหมาะสม ความชื้นที่เหมาะสม อัตราการระเหยของน้ำ ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการรดน้ำถั่วงอก คุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการรดถั่วงอก ระยะเวลาและระยะห่างในการรดน้ำแต่ละครั้งที่เหมาะสม ความเข้มแสงที่เหมาะสม ปริมาณถั่วเขียวที่เหมาะสม ระยะเวลาการแช่เมล็ดที่เหมาะสม ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างและแช่เมล็ดที่เหมาะสม วิธีการแช่เมล็ดที่เหมาะสม ระยะเวลาการขังน้ำที่

Copyright by Mahidol University

เหมาะสมในการควบคุมอุณหภูมิ ตลอดจนการออกข้อกำหนดในกระบวนการผลิตถั่วงอก เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิผลการผลิต ประสิทธิภาพการผลิต รวมถึงสมรรถนะการผลิต นับว่าเป็นการศึกษาเทคโนโลยีดั้งเดิมที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ให้มีระบบการผลิตที่มาตรฐาน ตลอดจนการวิเคราะห์ความเป็นไปได้และความเหมาะสมของกระบวนการผลิต การศึกษาครั้งนี้จึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาและส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตและแปรรูปถั่วงอกทั้งในปัจจุบันและอนาคต

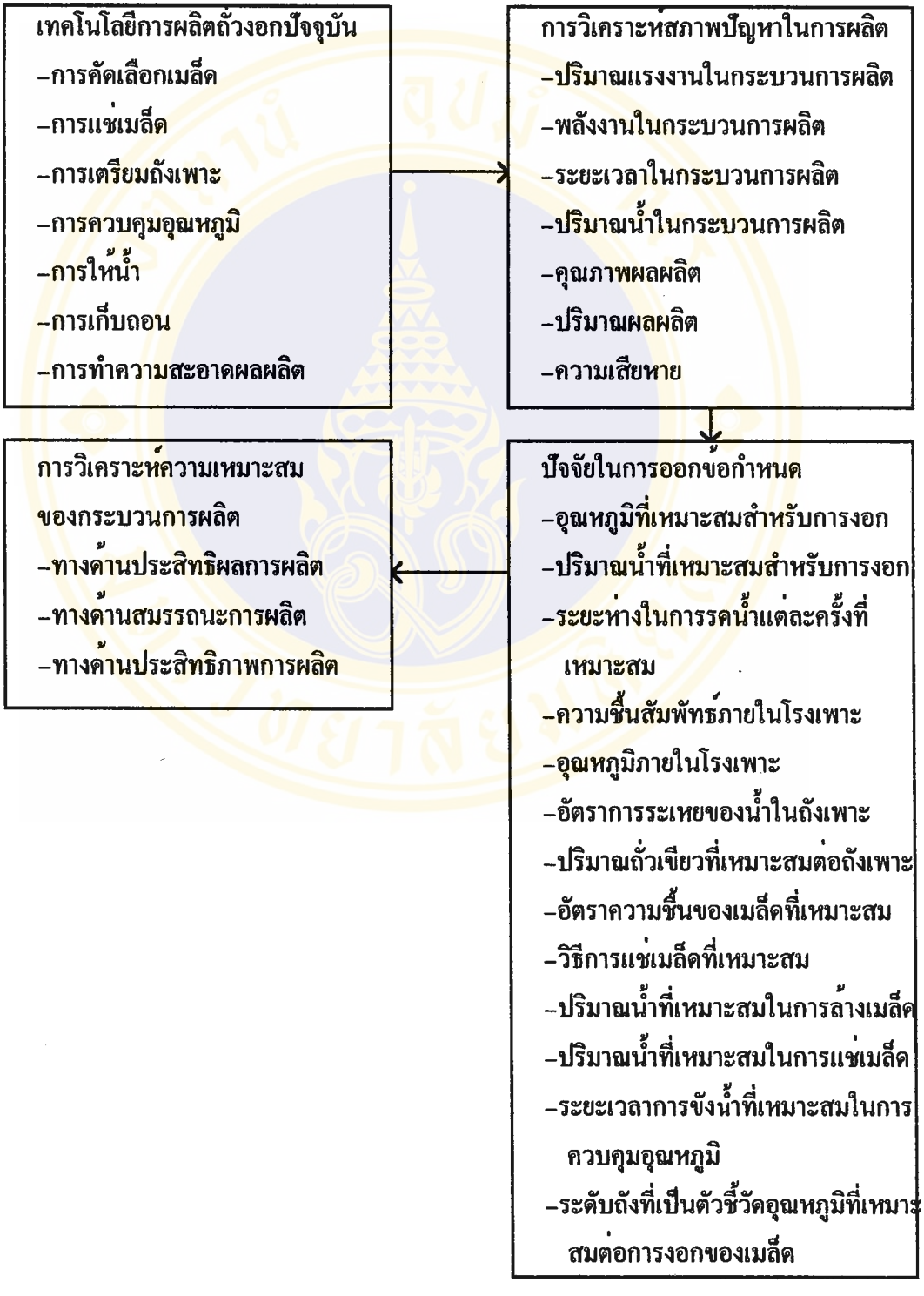
1.2 แนวคิดในการศึกษา

ในกระบวนการผลิตถั่วงอกขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญคือ ขั้นตอนการให้น้ำแก่ถั่วงอก ซึ่งน้ำที่ให้แก่ถั่วงอกจะมีบทบาทสำคัญ 2 ประการ คือ ควบคุมอุณหภูมิระหว่างการงอกภายในถังเพาะให้เหมาะสม (OPTIMUM TEMPARATURE) สำหรับการงอกของเมล็ดถั่ว และควบคุมขบวนการงอกของเมล็ดถั่วให้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ สำหรับอุณหภูมิในถังเพาะจะต้องไม่สูงและไม่ต่ำจนเกินไป เนื่องจากถ้าอุณหภูมิในถังเพาะถั่วงอกสูงเกินไปจะทำให้ถั่วงอกเกิดการตายนึ่ง และถ้าอุณหภูมิในถังเพาะถั่วงอกต่ำเกินไปจะทำให้ถั่วงอกมีการงอกช้า สำหรับการเพาะถั่วงอกในปัจจุบันทั้งในระดับการผลิตเพื่อการบริโภคประจำวันและระดับธุรกิจอุตสาหกรรม การควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมในการงอกที่กระทำกันทั่วไป คือ การควบคุมเวลาการรดน้ำ (TIMING CONTROL OF WATERING) เพื่อไล่ความร้อนที่สูงเกินไปที่เกิดขึ้นในระหว่างการเพาะถั่วงอก สำหรับระยะห่างของการรดน้ำแต่ละครั้ง ที่กระทำกันทั่วไปจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในโรงเพาะ (AMBIENT AIR EFFECT) คือ ทำการรดน้ำประมาณ 3-5 ชั่วโมงต่อการรดน้ำ 1 ครั้ง ซึ่งถ้าเป็นฤดูหนาวอุณหภูมิภายนอกต่ำ ระยะห่างของการรดน้ำแต่ละครั้งจะอยู่ในช่วง 4-5 ชั่วโมง ถ้าอุณหภูมิภายนอกสูงเช่นในฤดูร้อน ระยะห่างของการรดน้ำแต่ละครั้งประมาณ 3 ชั่วโมง สำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการให้น้ำแต่ละครั้งที่กระทำกันทั่วไป คือ การคาดประมาณอุณหภูมิ (TEMPERATURE ESTIMATION) โดยในระหว่างการรดน้ำจะมีการประมาณจากอุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่านถังเพาะออกมา เมื่อน้ำที่ไหลผ่านถังเพาะมีความเย็นในระดับเดียวกับน้ำที่ยังไม่ได้ใช้รดถั่วงอกแล้วก็ทำการหยุดการให้น้ำ พบว่าไม่ว่าจะเป็นการควบคุมอุณหภูมิ ระยะห่างในการรดน้ำหรือระยะเวลาในการรดน้ำแต่ละครั้ง จะอาศัยประสบการณ์ในการเพาะถั่วงอกของผู้ทำการเพาะเป็นสำคัญ และในระดับการผลิตเพื่อการบริโภคประจำวันการรดน้ำถั่วงอกจะใช้แรงงานคน สำหรับธุรกิจอุตสาหกรรมบางโรงงานก็ใช้แรงงานคน ส่วนบางโรงงานก็ใช้เครื่องจักรในการรดน้ำ ซึ่งการใช้แรงงานคนในการรดน้ำถั่วงอก ซึ่งนอกจากจะทำให้เสียสุขภาพและเกิดการเสียโอกาสของคนที่ใช้แรงงานแล้ว เนื่องจากต้องตื่นนอนหรือละจากกิจกรรมอื่นเพื่อทำการรดน้ำบ่อยครั้ง ผลเสียอีกประการหนึ่งของการใช้แรงงานคนในการรดน้ำ คือ การลืมรดน้ำหรือรดน้ำไม่ตรงเวลาที่มีผลให้ถั่ว

Copyright by Mahidol University

งอกที่ทำการเพาะเสียหายได้ทั้งหมด จะเห็นว่าในกระบวนการการเพาะถั่วงอกนั้นควรที่จะมีการออกข้อกำหนดในกระบวนการผลิตถั่วงอก และเพื่อให้มีความสอดคล้องกับนโยบายการเร่งรัดพัฒนาและปรับปรุง ประสิทธิภาพการผลิตและการตลาดของสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร ให้มีระบบการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตที่ได้มาตราฐานการผลิตสินค้าเกษตรกรรม

ภาพที่ 1.1 แสดงกรอบแนวคิดในการศึกษา



Copyright by Mahidol University

1.3 วัตถุประสงค์การศึกษา

1.3.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตถั่วงอก

1.3.2 เพื่อออกข้อกำหนดในกระบวนการผลิตถั่วงอก

1.3.3 เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้และความเหมาะสมของกระบวนการผลิตถั่วงอก

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ถั่วงอกที่เพาะจากถั่วเขียว

1.4.2 ถั่วเขียวพันธุ์ผิวมัน

1.4.3 ระบบการเพาะถั่วงอกด้วยน้ำในถังเพาะโลหะ

1.4.4 ปัญหาทางด้านแรงงาน พลังงาน เวลา และปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตลอดจนความเสียหายที่มีต่อคุณภาพและปริมาณผลผลิต

1.4.5 ปัจจัยการผลิตถั่วงอกสด ได้แก่ ต้นทุน วัตถุดิบ แรงงาน พลังงาน เวลา และปริมาณน้ำ

1.4.6 อุณหภูมิที่เหมาะสมและความชื้นภายในถังเพาะ สำหรับการงอกของเมล็ดถั่วเขียวในระหว่างกระบวนการเพาะถั่วงอก

1.4.7 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเพาะ อุณหภูมิภายในโรงเพาะ ความเข้มของแสงภายในโรงเพาะ และอัตราการคายระเหยของถั่วงอกที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิรดน้ำและปริมาณน้ำที่ใช้รดถั่วงอก

1.4.8 คุณภาพและปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่ใช้ในการรดถั่วงอก และระยะห่างในการรดน้ำแต่ละครั้งที่เหมาะสมในระหว่างกระบวนการเพาะถั่วงอก

1.4.9 ความเหมาะสมของกระบวนการผลิตทางด้านประสิทธิผลการผลิต ประกอบด้วยทางด้านคุณภาพของผลผลิต ได้แก่ ขนาดหัวถั่วงอก ความยาวลำต้นถั่วงอก ความกว้างรอบลำต้นถั่วงอก สีผิวลำต้นถั่วงอก สีผิวรากถั่วงอก ความสะอาดทั้งส่วนหัว ลำต้น และรากถั่วงอก และทางด้านปริมาณการผลิตต่อหนึ่งหน่วยเวลา

1.4.10 ความเหมาะสมของกระบวนการผลิตทางด้านสมรรถนะการผลิต ประกอบด้วยทางด้านคุณภาพของผลผลิต ได้แก่ ขนาดหัวถั่วงอก ความยาวลำต้นถั่วงอก ความกว้างรอบลำต้นถั่วงอก สีผิวลำต้นถั่วงอก สีผิวรากถั่วงอก ความสะอาดทั้งส่วนหัว ลำต้น และรากถั่วงอก และทางด้านปริมาณการผลิตต่อหนึ่งหน่วยเวลา

Copyright by Mahidol University

1.4.11 ความเหมาะสมของกระบวนการผลิตทางด้านประสิทธิภาพการผลิต ประกอบด้วยทางด้านประสิทธิภาพเชิงการเงิน ซึ่งเป็นการศึกษาในเรื่องของปริมาณกำไรที่ใช้ไปในกระบวนการผลิต/ต้นทุนที่ได้จากกระบวนการผลิต และทางด้านประสิทธิภาพเชิงเทคโนโลยี ซึ่งเป็นการศึกษาในเรื่องของประสิทธิผลการผลิต/สมรรถนะการผลิต

1.5 ข้อจำกัดและคำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษาและทดลอง

1.5.1 ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอก หมายถึง ระบบการผลิตถั่วงอกที่ทราบค่าของปริมาณปัจจัยการผลิตที่มีอิทธิพลต่อขบวนการเพาะ

1.5.2 การผลิตถั่วงอกเพื่อการบริโภคประจำวัน หมายถึง การผลิตถั่วงอกที่มีอัตราการผลิตไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อวัน

1.5.3 การผลิตถั่วงอกเพื่อธุรกิจอุตสาหกรรม หมายถึง การผลิตถั่วงอกที่มีอัตราการผลิตมากกว่า 100 กิโลกรัมต่อวัน

1.5.4 อุณหภูมิรดน้ำ หมายถึง อุณหภูมิสูงสุดที่ถั่วงอกสามารถเจริญเติบโตได้

1.5.5 อัตราการระเหยของน้ำ หมายถึง อัตราการแพร่กระจายของไอน้ำจากผิวน้ำที่เกาะอยู่ตามลำต้นของถั่วงอกสู่บรรยากาศที่เกิดขึ้นในระหว่างขบวนการงอก

1.5.6 วันสุดท้ายของการเพาะ หมายถึง อันดับวันเพาะที่ถั่วงอกที่ผลิตมีคุณภาพได้มาตรฐานและ/หรือวันที่ 3 ของการผลิตถั่วงอก

1.5.7 ถั่วงอกคุณภาพมาตรฐาน หมายถึง ถั่วงอกที่มีขนาดความยาว 2.50 นิ้ว ขึ้นไป

1.5.8 เปอร์เซนต์ถั่วงอกที่ใช้การได้ หมายถึง ร้อยละของถั่วงอกที่สามารถขายได้จากการเพาะถั่วงอก 1 ครั้ง โดยไม่รวมเปลือกหุ้มเมล็ด

1.5.9 ประสิทธิผลการผลิต หมายถึง ความสามารถของระบบที่เกิดขึ้นกับผลผลิตที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตในช่วงเวลานั้น

1.5.10 สมรรถนะการผลิต หมายถึง ความสามารถสูงสุดของระบบการผลิตที่ทำได้ในช่วงเวลาหนึ่ง

1.5.11 ประสิทธิภาพการผลิต หมายถึง ปริมาณสิ่งที่ออกมาต่อปริมาณสิ่งที่ป้อนเข้ามีหน่วยเป็นร้อยละ

1.5.12 ต้นทุนและค่าใช้จ่าย หมายถึง การลงทุนที่จ่ายเป็นจำนวนเงินที่ประเมินเป็นตัวเลขได้

1.5.13 รายได้ หมายถึง รายรับที่ได้เป็นจำนวนเงินที่ประเมินเป็นตัวเลขได้

Copyright by Mahidol University

1.5.14 ต้นทุนเสียโอกาส หมายถึง การเสียโอกาสหรือเสียผลประโยชน์ที่พึงได้ ต้นทุนเสียโอกาสจึงเป็นต้นทุนในลักษณะขาดทุนกำไรที่ควรจะได้

1.5.15 น้ำที่ใช้ในการให้น้ำ หมายถึง น้ำที่ได้จากบ่อน้ำตื้นและมีการขังน้ำไว้ในถังน้ำก่อนทำการให้น้ำ

1.5.16 น้ำปูนใส หมายถึง น้ำที่ได้จากบ่อน้ำตื้นปริมาณ 10 ลิตรผสมกับปูนแดงที่ใช้ในการกินหมากปริมาณ 1 กรัม

1.5.17 ถั่วงอกคุณภาพเกรด A หมายถึง ถั่วงอกที่มีขนาด 0.30 X 2.50 เซนติเมตร

ถั่วงอกคุณภาพเกรด B หมายถึง ถั่วงอกที่มีขนาด >0.30 X >2.50 เซนติเมตร

ถั่วงอกคุณภาพเกรด C หมายถึง ถั่วงอกที่มีขนาด >0.30 X 2.50 เซนติเมตร

ถั่วงอกคุณภาพเกรด D หมายถึง ถั่วงอกที่มีขนาด <0.30 X <2.50 เซนติเมตร

1.5.18 ขนาดถั่วงอกหมายถึง ความกว้างลำต้น X ความยาวลำต้น

1.6 แผนการศึกษา

	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม
ศึกษาข้อมูลทุติยภูมิ	←- - - - - -	- - - →					
เขียนโครงร่างงานวิจัย	←- - - -	- - - - - →					
เสนอโครงร่างงานวิจัย			←- - - - →				
เก็บข้อมูลภาคสนาม				←- - - - -	- - - - →		
วิเคราะห์ข้อมูล						←- - - - →	
เขียนรายงาน						←- - - - →	
สอบป้องกันวิทยานิพนธ์							←- - - - →
พิมพ์รายงาน							←- - - - →

Copyright by Mahidol University

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 สามารถทราบถึงเทคโนโลยีการผลิตถั่วงอกเชิงพาณิชย์และปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตถั่วงอกเชิงพาณิชย์ ทั้งในระดับผลิตเพื่อการบริโภคประจำวันและธุรกิจอุตสาหกรรมในปัจจุบัน

1.7.2 สามารถทราบถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเพาะถั่วงอก เช่น อุณหภูมิรดน้ำที่เหมาะสม ความชื้นที่เหมาะสม อัตราการระเหยของน้ำ ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการรดน้ำถั่วงอก คุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการรดถั่วงอก ระยะเวลาและระยะห่างในการรดน้ำแต่ละครั้งที่เหมาะสม ความเข้มแสงที่เหมาะสม ปริมาณถั่วเขียวที่เหมาะสม ระยะเวลาการแช่เมล็ดที่เหมาะสม ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างและแช่เมล็ดที่เหมาะสม วิธีการแช่เมล็ดที่เหมาะสม ตลอดจนระยะเวลาการขังน้ำที่เหมาะสมในการควบคุมอุณหภูมิ

1.7.3 สามารถเพิ่มประสิทธิผลการผลิต และสมรรถนะการผลิตให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณผลผลิตมาตรฐาน นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในระบบการผลิตถั่วงอก ให้มีระบบการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตที่ได้มาตรฐาน

1.7.4 สามารถลดระยะเวลา และปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตถั่วงอกลง นอกจากนี้ยังสามารถลดแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต มีผลให้แรงงานมีสุขภาพที่ดีขึ้นและลดการเสียโอกาสของคนที่ใช้แรงงาน และสามารถลดความผิดพลาดในการรดน้ำซึ่งมีผลทำให้ลดความเสียหายในการผลิต

1.7.5 สามารถผลิตถั่วงอกอนามัยที่ปลอดภัยต่อสารพิษให้แก่ผู้บริโภค

Copyright by Mahidol University

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาครั้งนี้ สามารถแบ่งเป็นหัวข้อย่อยได้ ดังนี้

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วเขียว

2.2 ส่วนประกอบของเมล็ดถั่วเขียว

2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วเขียว

2.4 ปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ดถั่วเขียว

2.5 ขบวนการในการงอกของเมล็ดถั่วเขียว

2.6 ชนิดการงอกของเมล็ดถั่วเขียว

2.7 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วงอก

2.8 เทคโนโลยีการเพาะถั่วงอกเชิงพาณิชย์

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วเขียว

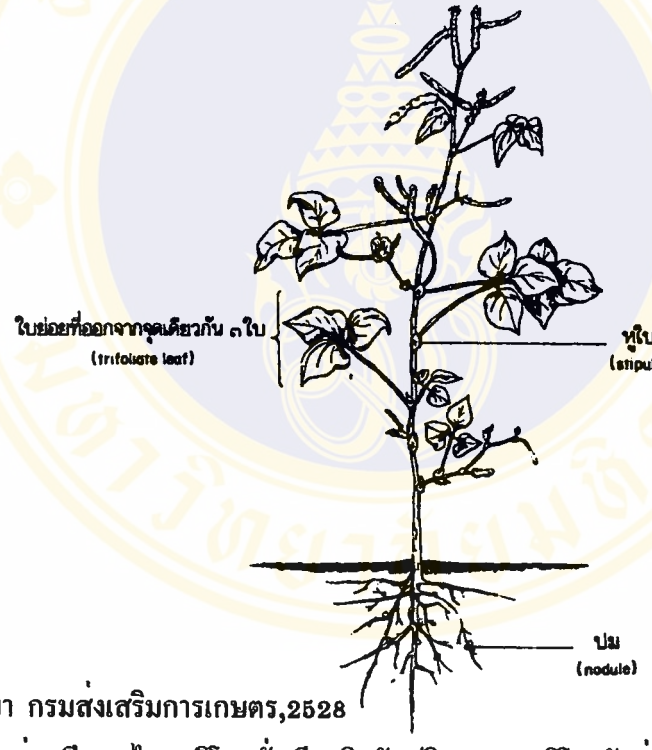
พืชตระกูลถั่ว (LEGUMINOSAE) มีอยู่มากกว่า 12,000 ชนิด รวมทั้งถั่วเขียว (MUNGBEAN) ซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vigna radiata* (L.) Wilzek , *Phaseolus aureus* Roxb หรือ *Phaseolus radiares* L. หรือ *Vigna mungo* (L.) Hepper ถั่วเขียวเป็นพืชล้มลุก ประเภทใบเลี้ยงคู่ สามารถเจริญเติบโตได้ในดินแทบทุกชนิด แต่จะขึ้นได้ดีในดินร่วนที่มีสภาพเป็นกลาง มีลำต้นสูงประมาณ 1–4 ฟุต ดอกสีม่วง เมื่อฝักอ่อนจะมีสีเขียวยาวประมาณ 2–4 นิ้ว พอแก่จัดสีของฝักจะเปลี่ยนเป็นสีดำหรือสีขาวนวล มีเมล็ดค่อนข้างกลมอยู่ภายในฝักซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางเมล็ดประมาณ 2.5–4 มิลลิเมตร (สวิง และ อาวุธ,2520; DAISY,1979) ถั่วเขียวปลูกได้เกือบตลอดปี แต่ระยะเวลาเพาะปลูกที่ให้ผลผลิตถั่วเขียวร้อยละ 80 ของผลผลิตทั้งหมด อยู่ในช่วงเดือนการผลิตสิงหาคม–กันยายน ซึ่งเป็นการปลูกหลังฤดูการเก็บเกี่ยวข้าวโพดแล้ว และเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ประมาณเดือนพฤศจิกายน–ธันวาคม (พิทักษ์,2529)

ประเทศไทยมีการปลูกถั่วเขียวอยู่หลายสายพันธุ์ สามารถแบ่งได้ตามลักษณะของเมล็ดและสีของเปลือก ซึ่งมี 4 ชนิด คือ ถั่วเขียวธรรมดา (*Vigna radiata*) เป็นถั่วเขียวที่มีเปลือกสีเขียวผิวด้านขนาดเล็กปกติ นิยมใช้เพาะเป็นถั่วงอก ทำวุ้นเส้น และส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ

Copyright by Mahidol University

(สมชาย,2523) ถั่วเขียวผิวมัน (*Vigna typica*) เป็นถั่วเขียวที่มีเปลือกสีเขียวผิวมันขนาดใหญ่กว่าปกติ นิยมใช้ทำอาหารคาว อาหารว่าง ขนมหวานและทำถั่วงอก (อรอนงค์,2535) ถั่วทองหรือถั่วเขียวสีทอง (*Phaseolus aureus*) เป็นถั่วเขียวที่มีเปลือกสีเหลืองขนาดปกติ นิยมใช้ทำขนมต่างๆ (วุฒิชัย,2526) และถั่วเขียวผิวดำ (*Vigna grandis*) เป็นถั่วเขียวที่มีเปลือกสีดำขนาดใหญ่กว่าธรรมดาเล็กน้อย นิยมส่งไปขายประเทศญี่ปุ่นเพื่อใช้ทำเป็นถั่วงอกเท่านั้น (สมสุข,2528) แต่ที่พบเห็นและนำมาแปรรูปใช้ประโยชน์กันมาก ก็คือถั่วเขียวผิวมันเมล็ดใหญ่และถั่วเขียวผิวดำ สำหรับถั่วเขียวพันธุ์ที่รัฐบาลไทยได้ทำการส่งเสริมให้เกษตรกรเพาะปลูกในปัจจุบัน ได้แก่ ถั่วเขียวพันธุ์อู่ทอง 1 จัดอยู่ในพวกถั่วเขียวผิวมัน และพันธุ์อู่ทอง 2 จัดอยู่ในพวกถั่วเขียวผิวดำ (สวิงและอาวุธ,2520)

ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะของต้นถั่วเขียว

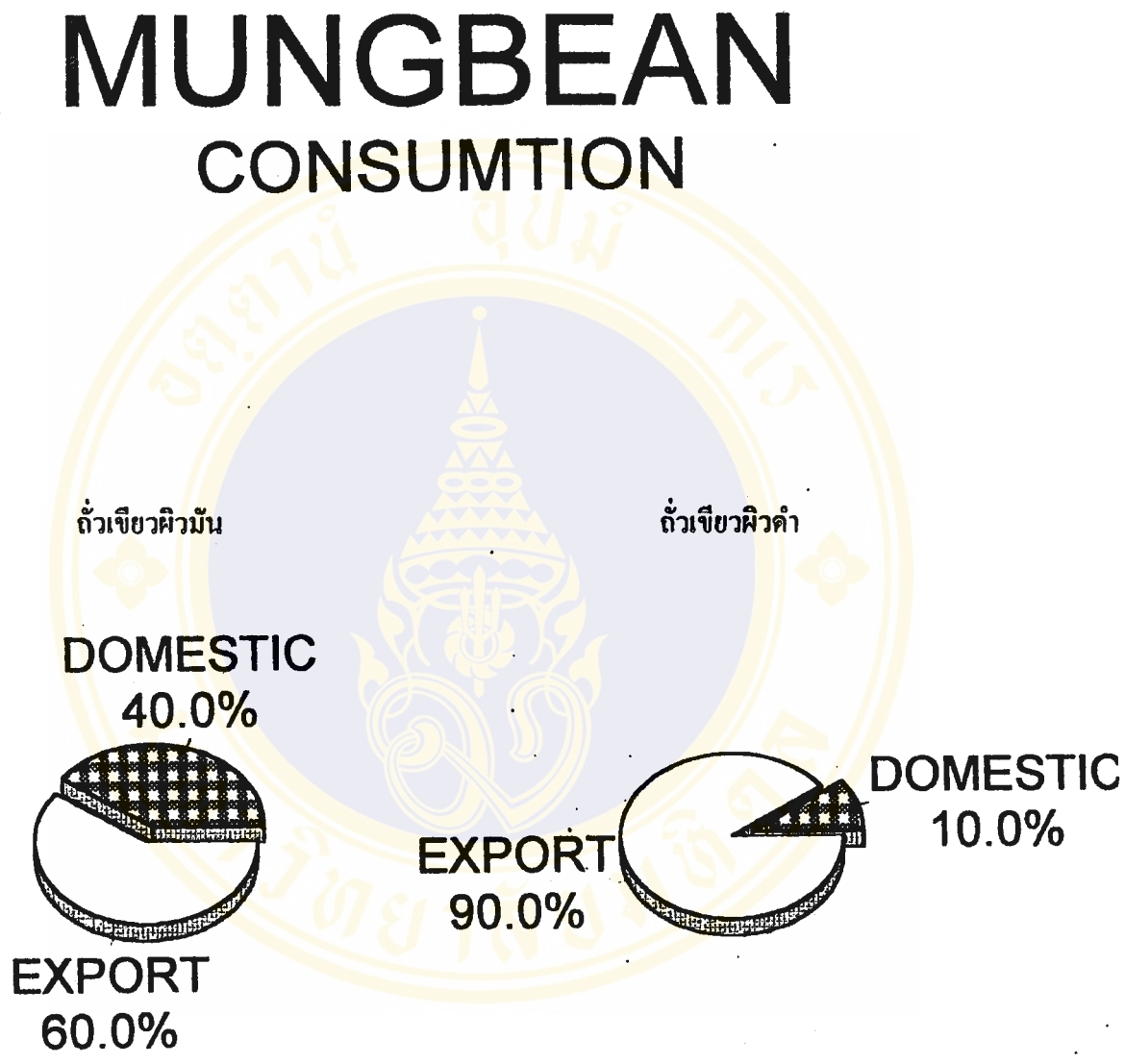


ที่มา กรมส่งเสริมการเกษตร,2528

ในแต่ละปี คนไทยบริโภคถั่วเขียวผิวมันปริมาณ 2 กิโลกรัมต่อคน ความต้องการใช้ถั่วเขียวผิวมันในประเทศมีร้อยละ 40 ของผลิตผลทั้งหมด โดยมีการใช้ดังนี้ ทำวุ้นเส้นร้อยละ 15.38 เพาะถั่วงอกร้อยละ 11.54 ทำแป้งถั่วเขียวร้อยละ 4.61 ทำเมล็ดพันธุ์ร้อยละ 4.61 ขายปลีกและบริโภคในรูปเมล็ดร้อยละ 3.85 ส่วนผลผลิตถั่วเขียวผิวมันอีกร้อยละ 60 ที่เหลือจากการบริโภคภายในประเทศส่งออกไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ (กองส่งเสริมพืชพันธุ์,2530) สำหรับถั่วเขียวผิวดำที่ผลิตได้นำมาบริโภคภายในประเทศเพียงร้อยละ 10 ของผลผลิตทั้งหมด โดยบริโภคในรูปของเมล็ดโดยตรงและเพาะเป็นถั่วงอก ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 90 จากการบริโภคภายในประเทศส่งออกไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ (กองส่งเสริมพืชพันธุ์,2530)

Copyright by Mahidol University

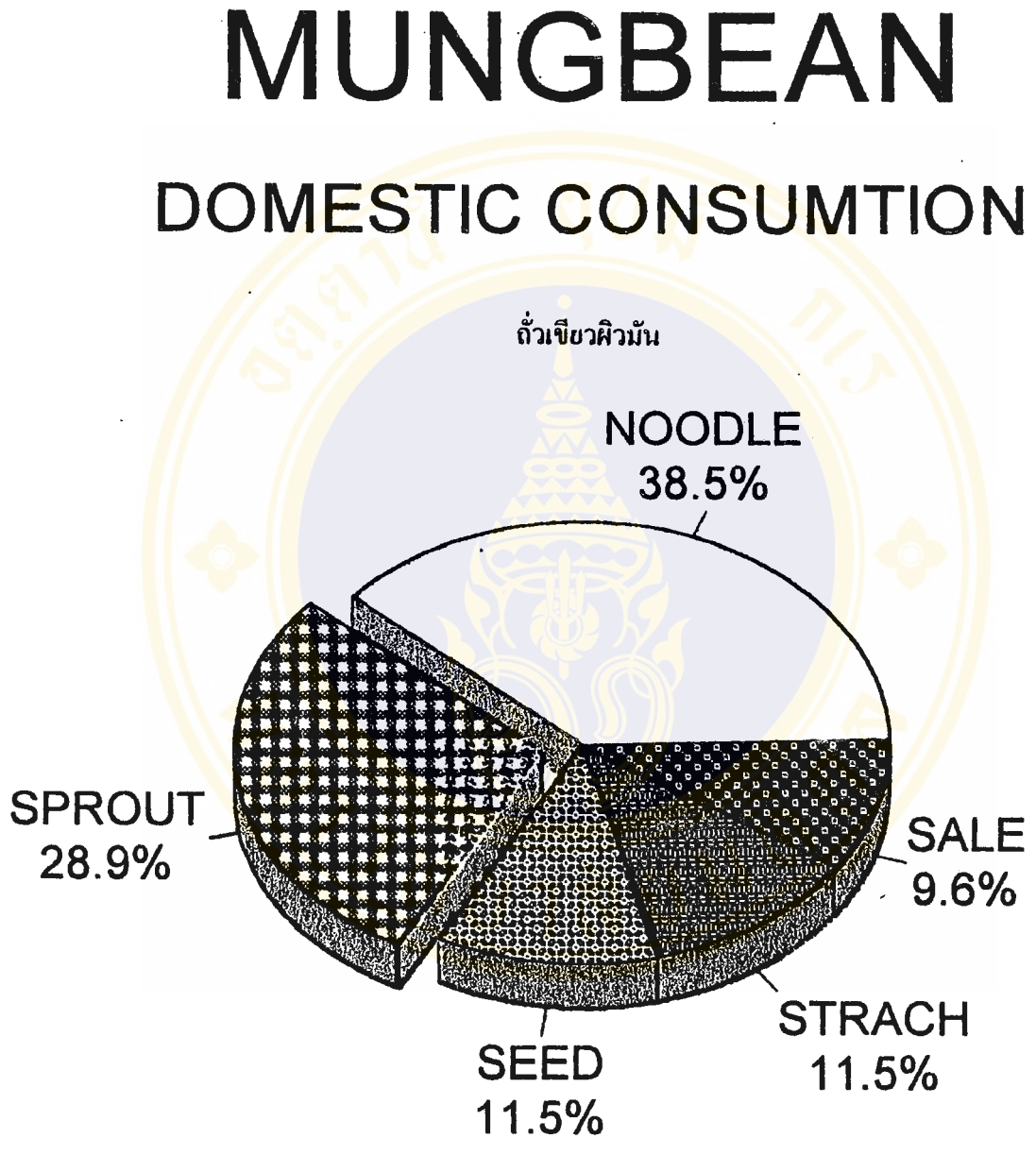
ภาพที่ 2.2 แสดงความต้องการในการบริโภคถั่วเขียว



ที่มา กองส่งเสริมพืชพันธุ์,2530

Copyright by Mahidol University

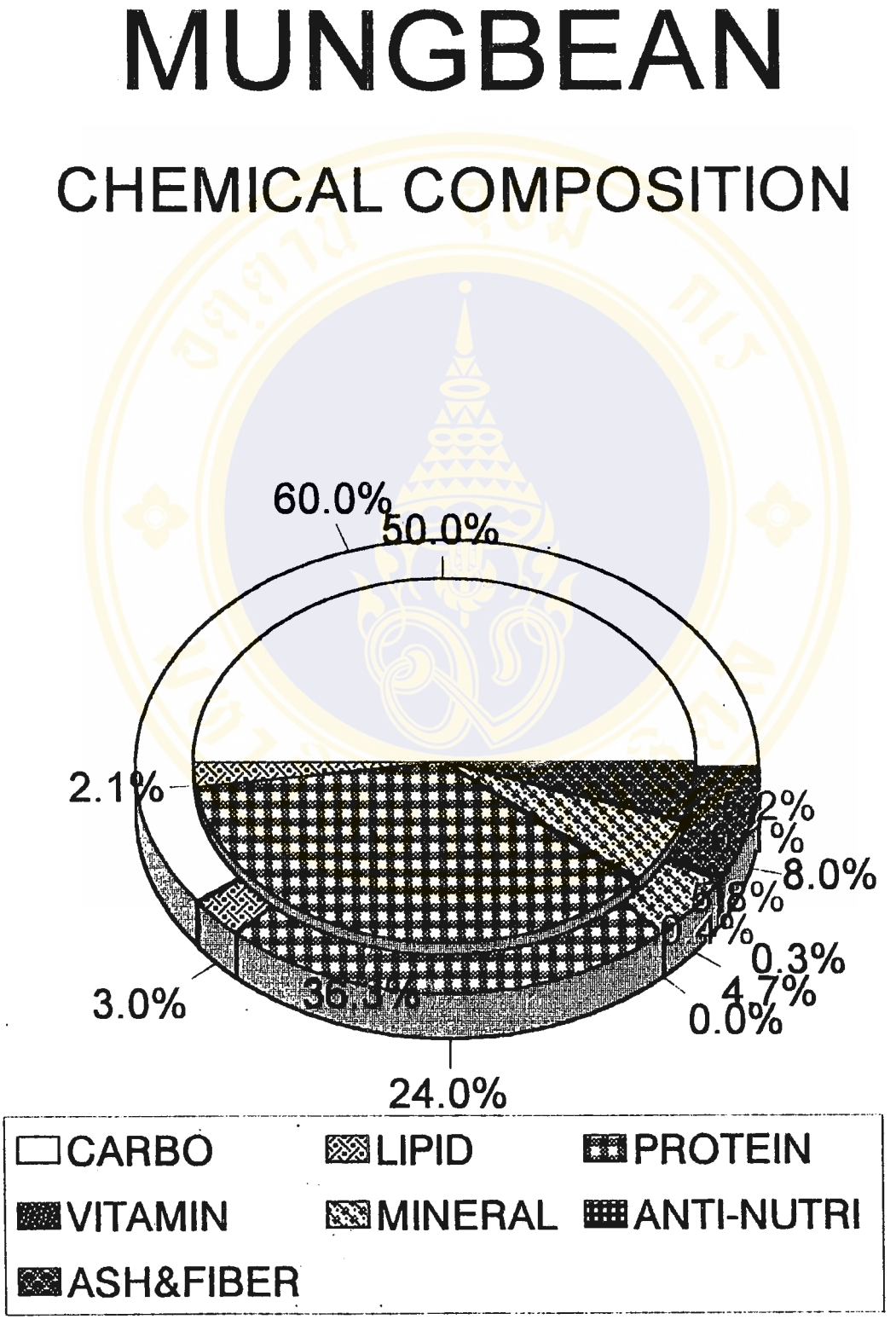
ภาพที่ 2.3 แสดงความต้องการในการบริโภคถั่วเขียวภายในประเทศ



ที่มา กองส่งเสริมพืชพันธุ์,2530

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วเขียวและถั่วงอก



ที่มา สถาบันค้นคว้าวิจัยผลิตภัณฑ์อาหาร,2530

Copyright by Mahidol University

2.2 ส่วนประกอบของเมล็ดถั่วเขียว

เมล็ดถั่วเขียวเป็นเมล็ดที่เกิดในผลประเภทที่ผลแก่แตกได้ (DEHISCENT FRUIT) ซึ่งมีเมล็ดหลายเมล็ด (MULTIPLE SEEDED FRUIT) และมีเมล็ดที่เจริญมาจากส่วนของ OVULE ในดอกเท่านั้น โดยไม่มีส่วนของผลติดมา ส่วนที่อยู่นอกสุดของเมล็ดเป็นเยื่อหุ้มเมล็ด (SEED COAT หรือ TESTA) จึงจัดว่าเมล็ดถั่วเขียวเป็น เมล็ดแท้ (TRUE SEED) (วันชัย,2537) และมีลักษณะของผลเป็นแบบ LOMENT SEGMENT (T.T.KOZLOWSKI,1972) เมล็ดถั่วเขียวมีส่วนประกอบที่เป็นโครงสร้าง และมีหน้าที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกันอยู่ 3 ส่วน คือ

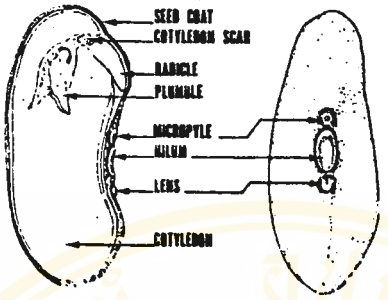
2.2.1 เปลือก (SEED COAT OR TESTA) เปลือกเป็นส่วนที่เจริญเติบโตและพัฒนามาจากส่วนของเยื่อหุ้มโอวุล (INTEGUMENT) (J.D.BEWLEY AND M.BLACK,1983) โดยเปลือกจะห่อหุ้มเมล็ดอยู่ภายนอก และพบว่ามี HILUM ซึ่งเป็นร่องรอยที่เหลือติดอยู่ที่เมล็ด นับตั้งแต่หลุดจากต้นแม่ ถัดจากส่วนปลายของ HILUM ลงมาจะพบรูเล็กๆเรียกว่า MICROPYLE (T.T.KOZLOWSKI,1972) ชั้นนอกสุดของเปลือกจะเป็นชั้นของ CUTICLE ซึ่งเป็นสารประเภทไขมันและWAX (วันชัย,2537) เปลือกทำหน้าที่ป้องกันอันตรายให้กับส่วนประกอบต่างๆของเมล็ดที่อยู่ภายใน ควบคุมการดูดซึมน้ำ แก๊ส อากาศ ป้องกันเชื้อโรคและแมลงเข้าทำลายเมล็ด เปลือกมีสีต่างๆกันตามแต่ชนิดของถั่ว

2.2.2 คัพภะ (EMBRYO) คัพภะประกอบด้วยต้นอ่อน (EMBRYONIC AXIS) ซึ่งเป็นส่วนที่เจริญเติบโตเป็นต้นพืชต่อไป ต้นอ่อนประกอบด้วย ยอดอ่อน (PLUMULE OR EPICOTYL) และรากอ่อน (RADICLE) ซึ่งอยู่ติดกับส่วน HYPOCOTYL และติดต่อกับใบเลี้ยง (J.D.BEWLEY AND M.BLACK,1983)

2.2.3 ใบเลี้ยง (COTYLEDONES) เมล็ดถั่วจัดเป็นพวก NONENDOSPERMIC SEED เนื่องจากมีชั้นของ ENDOSPERM เป็นชั้นบางๆ อาหารสะสมส่วนใหญ่สะสมอยู่ที่ใบเลี้ยง ใบเลี้ยงเป็นเนื้อเยื่อที่สะสมอาหาร (STORAGE TISSUE) ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหารไว้ สำหรับต้นอ่อนใช้ในการเจริญเติบโต เมื่อเมล็ดงอกจะนำแร่ธาตุอาหารต่างๆนี้มาใช้เป็นแหล่งของพลังงานเพื่อสร้างเซลล์เนื้อเยื่อขึ้นมาใหม่ ดังนั้น เมล็ดถั่วเขียวจึงเก็บสะสมอาหารในส่วนใบเลี้ยงนี้ประมาณร้อยละ ๑๐ ของเมล็ด (J.D.BEWLEY AND M.BLACK,1983)

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของเมล็ดถั่วเขียว



ที่มา T.T.KOZLOWSKI AND C.R.GUNN,1972

2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วเขียว

เมล็ดพืชมีอาหารสะสมไว้ในเมล็ด สำหรับต้นอ่อนที่จะงอกเป็นต้นกล้าใช้ในการเจริญเติบโตและพัฒนา จนกว่าต้นกล้าที่งอกสามารถสังเคราะห์แสงสร้างอาหารเองได้ (J.D.BEWLEY AND M.BLACK,1983) ชนิดและปริมาณสารอาหารที่เมล็ดเก็บสะสมแตกต่างกันตามชนิดของพืช พันธุ์ และสถานที่ปลูก ถั่วเขียวสะสมอาหารในรูปของไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ฟอสเฟต และสารประกอบอนินทรีย์ องค์ประกอบเหล่านี้กระจายอยู่ในส่วนของใบเลี้ยง ถั่วเขียวมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นพวกไขมัน จึงไม่สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน โดยมีการสูญเสียความมีชีวิตง่ายหรือความงอกเร็ว (จวงจันทร์,2521) โดยที่โปรตีนอยู่รวมเป็นกลุ่มๆเรียกว่า PROTEIN BODY ส่วนไขมันจะเกาะรวมกันเป็นกลุ่มๆเช่นกันเรียกว่า SPHEROSOME กระจายตัวอยู่รอบๆ PROTEIN BODY เม็ดสตาร์ช (STARCH GRANULE) จะแทรกอยู่ระหว่าง PROTEIN BODY ซึ่งจะมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันตามชนิดของถั่ว (ROCKLAND AND JONES,1974) อาหารที่สะสมไว้ในเมล็ดถั่วเขียว ได้แก่

2.3.1 คาร์โบไฮเดรต (CARBOHYDRATE) เมล็ดถั่วเขียวมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบมากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 60 จากการวิเคราะห์ของ วุฒิชัย (2526) พบปริมาณคาร์โบไฮเดรตในถั่วเขียวร้อยละ 62.45 และการศึกษาของ พัชรี (2531) พบปริมาณคาร์โบไฮเดรตในถั่วเขียวร้อยละ 59.28 จากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตถั่วเขียวสายพันธุ์ในประเทศไทย พบว่า มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าถั่วเขียวสายพันธุ์ต่างประเทศ ซึ่งถั่วเขียวสายพันธุ์ต่างประเทศมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 65.20 (COFFMAN AND GARCIA ,1977) โดยส่วนใหญ่ของคาร์โบไฮเดรต คือ สตาร์ช (STARCH) ประมาณร้อยละ 46-54 (AVRDC,1975) นอกจากนี้ก็มีน้ำตาลทั้งหมดร้อย

Copyright by Mahidol University

ละ 4–10 (AVRDC,1975;HYMOWITZ AND OTHERS,1975;NAIVIKUL AND D'APPOLONIA,1978) เมล็ดถั่วเขียวประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส (SUCROSE) ร้อยละ 0.85 และน้ำตาลหลายโมเลกุล (OLIGOSACCHARIDE) ตระกูลเวอร์บาสโคส (VERBASCOSE) ร้อยละ 1.91 สตาคีโอส (STACHYOSE) ร้อยละ 1.71 แรฟฟิโนส (RAFFINOSE) ร้อยละ 0.49 และอาจูโคส (AJUCOSE) ร้อยละ 0.09 (TANUSI AND OTHER,1972) น้ำตาลเวอร์บาสโคสเป็นน้ำตาลเพนทาแซคคาไรด์ (PENTASACCHARIDE) ประกอบด้วยน้ำตาลสตาคีโอสเชื่อมต่อกับน้ำตาลกาแล็กโตสด้วยพันธะแอลฟา 1,6 กาแล็กโตซิดิก (α–1,6 GALAGTOSIDIC LINKAGE) น้ำตาลสตาคีโอสเป็นน้ำตาลเตตระแซคคาไรด์ (TETRASACCHARIDE) ประกอบด้วยน้ำตาลแรฟฟิโนสเชื่อมต่อกับน้ำตาลกาแล็กโตสด้วยพันธะแอลฟา 1,6 กาแล็กโตซิดิก น้ำตาลแรฟฟิโนสเป็นน้ำตาลไตรแซคคาไรด์ (TRISACCHARIDE) ประกอบด้วยน้ำตาล 3 ตัว คือ กาแล็กโตส กลูโคส และฟรักโตส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,6 กาแล็กโตซิดิก น้ำตาลหลายโมเลกุลเหล่านี้เป็นสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการ (ANTI–NUTRITIONAL FACTOR) ชนิดหนึ่งในพืชตระกูลถั่ว คือ ทำให้เกิดลมในท้อง (FLATULENCE) เนื่องจากในร่างกายไม่มีเอนไซม์กาแล็กโตซิเดส (GALACTOSIDASE) ที่จะสามารถย่อยพันธะแอลฟา 1,6 กาแล็กโตซิดิกของน้ำตาลประเภทนี้ได้ ทำให้เกิดการหมักหมมในลำไส้ใหญ่ แบคทีเรียในลำไส้ใหญ่จะย่อยน้ำตาลเหล่านี้ให้เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน จากรายงานของ CALLOWAY AND OTHERS,1971 พบว่าถั่วเขียวทำให้เกิดลมในท้องได้ 2 ใน 3 เท่าของถั่ว *Phaseolus vulgaris* L.

2.3.2 ไขมัน (LIPID) เมล็ดถั่วเขียวมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่เพียงเล็กน้อย คือ ประมาณร้อยละ 1–3 ในไขมันนี้ประกอบด้วยกรดไขมันหลายชนิด โดยมีกรดลิโนเลอิก (LINOLEIC ACID) ในปริมาณมากที่สุดร้อยละ 32.6 นอกนั้นเป็นกรดพัลมิติก (PALMETIC ACID) ร้อยละ 28.1 กรดลิโนเลนิก (LIMNOLEIC ACID) ร้อยละ 14.4 กรดเสตียริก (STEARIC ACID) ร้อยละ 7.8 กรดโอเลอิก (OLEIC ACID) ร้อยละ 6.4 กรดเซอโรติก (CEROTIC ACID) ร้อยละ 6.3 กรดบีฮีนิก (BEHENIC ACID) ร้อยละ 2.4 และกรดอราชิดิก (ARACHIDIC ACID) ร้อยละ 0.9 (DAISY,1979)

2.3.3 โปรตีน (PROTIEN) จากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนจากถั่วเขียว 321 สายพันธุ์ พบว่าถั่วเขียวมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 19.1–28.3 (เฉลี่ยร้อยละ 24.0) มีปริมาณกรดอะมิโนไลซีนและเมทไธโอนีน อยู่ในช่วงร้อยละ 6.3–7.9 และ 0.55–1.78 ของโปรตีนทั้งหมดในเมล็ดตามลำดับ (YOHE AND POEHLMAN,1972) AVRDC (1975) รายงานปริมาณโปรตีนของถั่วเขียว 89 สายพันธุ์ พบว่ามีโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 20–26 HYMOWITZ AND OTHERS (1975)

Copyright by Mahidol University

วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในถั่วเขียว 32 สายพันธุ์ พบว่ามีโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 24.5–31.2 COFFMAN AND GARCIA (1977) วิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนชนิดต่างๆในถั่วเขียวพบว่า มีกรดอะมิโนไลซีนและลิวซีน 6.69–7.90 กรัมต่อไนโตรเจน 16 กรัม ตามลำดับ แต่มีเมทไธโอนีนและซิสเตอีนต่ำเท่ากับ 1.22 และ 0.37 กรัมต่อไนโตรเจน 16 กรัม ตามลำดับ สำหรับถั่วเขียวที่ปลูกในประเทศไทย วุฒิชัย (2526) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวสายพันธุ์ต่างๆ จำนวน 20 สายพันธุ์ พบว่า มีค่าเฉลี่ยของโปรตีนร้อยละ 21.7 นอกจากนี้ยังได้แบ่งกลุ่มสายพันธุ์ถั่วเขียวออกเป็น 3 กลุ่ม ตามปริมาณโปรตีน ถั่วเขียวโปรตีนสูงเป็นกลุ่มที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 23.2–24.3 ถั่วเขียวโปรตีนปานกลางเป็นกลุ่มที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 22.0–22.9 ถั่วเขียวโปรตีนต่ำเป็นกลุ่มที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 19.0–21.7

2.3.4 วิตามิน (VITAMIN) ในเมล็ดถั่วเขียว 100 กรัม ประกอบด้วยวิตามินที่สำคัญ ดังนี้ วิตามินบี 1 (THIAMINE) 0.70 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 (RIBOFLAVIN) 0.47 มิลลิกรัม วิตามินบี 5 (NIACINE) 1.8 มิลลิกรัม และกรดแอสคอร์บิกในปริมาณน้อยมาก (KYLEN AND MCCREADY,1975) สำหรับถั่วเขียวสายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย พบปริมาณวิตามินบี 1 เฉลี่ย 0.011 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 เฉลี่ย 0.15 มิลลิกรัม และปริมาณวิตามินซีน้อยมาก (พัชรี ,2531)

2.3.5 แร่ธาตุ (MINERAL) ถั่วเขียวเป็นแหล่งของธาตุเหล็ก และยังมีแคลเซียมสูงกว่าถั่วชนิดอื่น (FORDHAM AND OTHERS,1975) SANHARA RAO AND DOESTHALE (1981) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเมล็ดแห้งชนิดต่างๆ พบว่า ถั่วเขียวเป็นแหล่งของแมกนีเซียม ทองแดง และแคลเซียม และยังมีแมงกานีส สูงกว่าถั่วชนิดอื่น องค์ประกอบแร่ธาตุของถั่วเขียวแห้ง 100 กรัม ประกอบด้วย โพแตสเซียม 850–1,450 มิลลิกรัม โซเดียม 30–170 มิลลิกรัม แมกนีเซียม 65–125 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 280–580 มิลลิกรัม แคลเซียม 80–330 มิลลิกรัม (AVRDC,1975) เหล็ก 11.6 มิลลิกรัม สังกะสี 3.8 มิลลิกรัม (KYLEN AND MCCREADY,1975) ทองแดง 1 มิลลิกรัม แมงกานีส 1.2 มิลลิกรัม (ABDULLAH AND BALDWIN,1984)

2.3.6 สารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการ (ANTI–NUTRITIONAL FACTOR) แหล่งฟอสฟอรัสของถั่วเมล็ดแห้ง ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของกรดไฟติกหรือเกลือไฟเตต (PHYTATE , MYO–INOSITOL HEXA PHOSPHORIC ACID) ประมาณร้อยละ 60–90 ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด พบเสมอใน GLOBOID ซึ่งอยู่ภายใน PROTEIN BODY (LOLAS AND MARKAKIS,1975;J.D.BEWLWY AND M.BLACK,1983) ซึ่งไฟเตตนี้สามารถทำปฏิกริยากับแร่

Copyright by Mahidol University

ธาตุบางชนิดได้ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี โมลิบดินัม และแมงกานีส หรือทำปฏิกริยากับโปรตีนเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลาย ไม่สามารถดูดซึมเข้าระบบทางเดินอาหารได้ ทำให้การนำไปใช้ประโยชน์ของแร่ธาตุและโปรตีนลดลง ดังนั้น กรดไฟติกหรือไฟเตตจึงจัดเป็นสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการชนิดหนึ่ง (RACKIS,1974;TABEKHIA AND LUH ,1980) ไฟเตตจะอยู่ในส่วนของเปลือกและคัพภะของเมล็ดพืชทั่วไป แต่ในเมล็ดถั่วยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด ไฟเตตในเมล็ดถั่วส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ (LOLAS AND MARKAKIS,1975;CHANG AND OTHERS,1977) TABEKHIA AND LUH (1980) ทำการวิเคราะห์ปริมาณไฟเตตในเมล็ดถั่วต่างๆ ได้แก่ ถั่วเรดคิดนีย์ ถั่วแบล็คอาย ถั่วพิงค์ และถั่วเขียว พบว่า มีปริมาณร้อยละ 53.6-81.0 ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยในถั่วเรดคิดนีย์พบไฟเตตร้อยละ 1.170 ถั่วแบล็คอายพบไฟเตต ร้อยละ 1.148 ถั่วพิงค์พบไฟเตตร้อยละ 0.503 และถั่วเขียวพบไฟเตตร้อยละ 0.205 ส่วนในถั่ว แบล็คแกรมพบไฟเตตร้อยละ 79 ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด สำหรับปริมาณกรดไฟติกในถั่วเขียว 4 สายพันธุ์ในประเทศไทย จากการศึกษาของ พัชรี (2531) พบว่ามีปริมาณกรดไฟติกเฉลี่ย 401-512 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

2.3.7 เถ้าและเส้นใย (ASH AND FIBER) การวิเคราะห์เถ้าในถั่วเขียว 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ถั่วเขียวอู่ทอง 1 ถั่วเขียวกำแพงแสน 1 ถั่วเขียวผิวดำ ถั่วเขียวผิวมัน โดย พัชรี (2531) พบว่ามีค่าเฉลี่ยร้อยละ 3.89 ต่อ 100กรัมน้ำหนักแห้ง จากการวิเคราะห์ในถั่วเขียว 20 สายพันธุ์ภายในประเทศไทยโดย วุฒิชัย (2526) พบว่ามีปริมาณเถ้าเฉลี่ยร้อยละ 4.24 และมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าปริมาณเถ้าของถั่วเขียวที่ปลูกในต่างประเทศ จากรายงานของ COFFMAN AND GARCIA (1977) KYLEN AND McCREADY (1975) ซึ่งรายงานปริมาณเถ้าได้ร้อยละ 3.4 ต่อ 100กรัมน้ำหนักแห้ง

พัชรี (2531) ทำการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณเส้นใยของถั่วเขียว 4 สายพันธุ์ พบว่า มีค่าเฉลี่ยปริมาณเส้นใยร้อยละ 4.24 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าปริมาณเส้นใยถั่วเขียว 20 สายพันธุ์ที่วิเคราะห์โดย วุฒิชัย (2526) ซึ่งวิเคราะห์ได้ร้อยละ 1.97 แต่ผลการศึกษาของ พัชรี (2531) มีปริมาณเส้นใยใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ปริมาณถั่วเขียวที่ปลูกในต่างประเทศ ซึ่งวิเคราะห์โดย COFFMAN AND GARCIA (1977) ได้ปริมาณเส้นใยในถั่วเขียวร้อยละ 4.3 และ KYLEN AND McCREADY (1975) ได้ปริมาณเส้นใยในถั่วเขียวร้อยละ 4.9

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวแห้ง 100 กรัม

Cal Unit	ความชื้น %	Protein Gm	Fat Gm	CHO Gm	Fiber Gm	Ash Gm	Ca mg	P mg	Fe mg	A I.U	B_1 mg	B_2 mg	B_6 mg
329	11.5	23.4	1.3	55.9	4.3	3.5	125	340	5.2	80	.38	.21	2.6

ที่มา สถาบันค้นคว้าวิจัยผลิตภัณฑ์อาหาร,2530

2.4 ปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ดถั่วเขียว

เมล็ดถั่วปกติมีความชื้นต่ำ และยังไม่มีการงอก จัดว่าอยู่ในภาวะเงียบ (QUIESCENT STATE) ในภาวะดังกล่าวเมล็ดสามารถดำรงความมีชีวิตอยู่ได้นานนับปี โดยแทบไม่มีกิจกรรมเมตาโบลิซึมเกิดขึ้นเลย และสามารถกลับมามีเมตาโบลิซึมได้อีกครั้งเมื่อได้รับปัจจัยที่เหมาะสม (วันชัย,2537) การที่เมล็ดจะงอกได้นั้นต้องได้รับปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ด เพื่อให้ขบวนการในการงอกเกิดขึ้นได้

2.4.1 น้ำหรือความชื้น (WATER) น้ำเป็นปัจจัยพื้นฐานที่เมล็ดต้องการใช้สำหรับการงอก หน้าที่ของน้ำเกี่ยวกับการงอกของเมล็ด คือ ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนนุ่ม ผนังเซลล์และโปรโตพลาสซึมขยายตัว เป็นผลให้การดูดซึมออกซิเจนเข้าไปภายในเมล็ดได้สะดวกขึ้น นอกจากนี้น้ำยังเป็นตัวทำละลายโปรโตพลาสซึม เป็นผลทำให้กิจกรรมทางชีวเคมีในเมล็ดที่เคยหยุดนิ่งหรือเกิดขึ้นช้า มีกิจกรรมมากขึ้นและมีอัตราสูงขึ้น มีการย่อยอาหารที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ดในรูปโมเลกุลใหญ่แตกออกเป็นโมเลกุลเล็ก เพื่อขนย้ายไปยังจุดเจริญ (L.O.COPELAND,1976) เมล็ดพันธุ์ในสภาพแห้ง (AIR DRY) โดยทั่วไปจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 6–14 แต่การที่เมล็ดจะงอกได้นั้น เมล็ดต้องมีความชื้นสูงประมาณร้อยละ 50–60 ของน้ำหนักแห้ง (จวงจันทร์,2521)

2.4.2 อากาศ (OXYGEN AND CARBON DIOXIDE) ปกติในอากาศจะมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 20 และคาร์บอนไดอกไซด์เป็นองค์ประกอบร้อยละ 0.03 ที่เหลืออีกร้อยละ 80 เป็นไนโตรเจน (NITROGEN) (L.O.COPELAND,1976) การงอกของเมล็ดเป็นขบวนการที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ที่มีชีวิตและต้องใช้พลังงาน จึงต้องใช้ออกซิเจนสำหรับหายใจ เพื่อย่อยสลายอาหารให้ได้มาซึ่งพลังงานที่จำเป็นสำหรับการหายใจ ออกซิเจนมีหน้าที่เป็นตัวรับอิเลคตรอนตัวสุดท้ายเพื่อให้

Copyright by Mahidol University

กลายเป็นน้ำในขบวนการหายใจ (วันชัย,2537) โดยทั่วไปเมล็ดพืชสามารถงอกได้ในบรรยากาศที่มีออกซิเจนประมาณร้อยละ 20 ถ้าบรรยากาศรอบๆเมล็ดมีออกซิเจนมากขึ้น อัตราการงอกจะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าปริมาณออกซิเจนน้อยกว่าร้อยละ 20 อัตราการงอกจะช้าลง (L.O.COPELAND,1976) นอกจากนี้คาร์บอนไดออกไซด์ก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ดโดยจะมีในทางตรงกันข้ามกับออกซิเจน ปกติเมล็ดจะงอกได้ดีถ้าบรรยากาศรอบๆเมล็ดมีคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 แต่ถ้าบรรยากาศรอบๆเมล็ดมีคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 0.03 จะมีผลทำให้อัตราการงอกของเมล็ดลดลง และถ้ามีในปริมาณที่สูงมากๆจะทำให้เมล็ดไม่งอกเลย (จวงจันทร์,2521) สำหรับไนโตรเจนไม่มีผลต่อการงอกของเมล็ด

2.4.3 อุณหภูมิ (TEMPERATURE) ขบวนการงอกของเมล็ด เป็นขบวนการที่ซับซ้อนประกอบไปด้วยหลายปฏิกริยาและหลายระยะ อุณหภูมิก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ เมล็ดพืชจะงอกได้ในภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสม (OPTIMUM TEMPERATURE) อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปจะยับยั้งหรือทำให้เมล็ดไม่งอก ปกติเมล็ดพืชทั่วไปสามารถงอกได้ดีในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 10–35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ด มีระดับอุณหภูมิที่สำคัญ ดังนี้

–อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด (OPTIMUM TEMPERATURE) คือ อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการงอกของเมล็ด อุณหภูมิที่ระดับนี้ เมล็ดจะงอกได้เร็วที่สุดและมีเปอร์เซนต์การงอกสูงสุด อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการงอกของเมล็ดโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 15–35 องศาเซลเซียส (L.O.COPELAND,1976)

–อุณหภูมิต่ำสุด (MINIMUM TEMPERATURE) คือ อุณหภูมิระดับต่ำที่สุดที่เมล็ดสามารถงอกได้ ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าระดับนี้ การงอกของเมล็ดจะไม่เกิดขึ้น แต่จะไม่เป็นอันตรายกับเมล็ด ที่อุณหภูมิระดับต่ำสุดนี้เมล็ดสามารถงอกได้แต่ใช้เวลาในการงอกนานขึ้น

–อุณหภูมิสูงสุด (MAXIMUM TEMPERATURE) คือ อุณหภูมิระดับสูงสุดที่เมล็ดสามารถงอกได้ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าระดับนี้ การงอกของเมล็ดจะไม่เกิดขึ้น ทั้งยังเป็นอันตรายกับเมล็ดด้วย โดยทั่วไปอุณหภูมิสูงสุดที่เมล็ดสามารถงอกได้ มักไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิสูงเกินไปเมล็ดก็อาจดูดน้ำแต่ไม่มีการเจริญเติบโตของคัพภะ เพราะในสภาวะอุณหภูมิที่สูงนั้นพลาสมิดไรโบโซม (PLASMID RIBOSOME) ไม่สามารถทำงานได้อย่างปกติ จึงไม่มีการสังเคราะห์โปรตีน (FEIERABEND,1979) โดยทั่วไปโพลีเปปไทด์ (POLYPEPTIDE) ของคลอโรพลาส (CHOROPLAST) นั้นร้อยละ 25 เป็น DNA ที่ถูก CODE และสังเคราะห์บนพลาสมิดไรโบโซม

Copyright by Mahidol University

อีกร้อยละ 75 ถูก CODE และสังเคราะห์บนไซโตพลาสมิกไรโบโซม (CYTOPLASMIC RIBOSOME) ที่ระดับอุณหภูมิวิกฤติ โปรตีนที่สร้างขึ้นในไซโตพลาสซึม (CYTOPLASM) จะไปสะสมอยู่ในพลาสมิด (PLASMID) แต่ไม่มีการสร้างโฟโตซินเธติกเมมเบรน (PHOTOSYNTHETIC) และรงควัตถุ (PIGMENT)

2.4.4 แสง เมล็ดถั่วเขียวเป็นเมล็ดที่ไม่ต้องการแสงในการงอก

2.5 ขบวนการในการงอกของเมล็ดถั่วเขียว

ขบวนการในการงอกมีขบวนการย่อยที่เกิดต่อเนื่องและมีความสัมพันธ์กัน เริ่มตั้งแต่เมล็ดที่อยู่ในสภาพเมล็ดแห้ง มีการดูดน้ำทำให้มีการเปลี่ยนแปลงภายในเมล็ด และผลสุดท้ายที่ได้คือต้นกล้า ขบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นภายในเมล็ดนี้สามารถกล่าวถึงที่ละขั้นตอนตามลำดับ ดังนี้

2.5.1 การดูดน้ำของเมล็ด (WATER IMBIBITION) เมล็ดพืชโดยทั่วไปจะมีความชื้นต่ำประมาณร้อยละ 8–13 การที่เมล็ดจะงอกนั้นเมล็ดต้องได้รับปัจจัยต่างๆที่จำเป็นต่อการงอกอย่างพอเพียง ฉะนั้นขบวนการแรกที่เกิดขึ้นก็คือการดูดน้ำของเมล็ด เพื่อให้ความชื้นของเมล็ดเพิ่มขึ้นและอยู่ในปริมาณที่พอเพียงต่อการเกิดขบวนการต่างๆสำหรับการงอก เมล็ดต้องดูดซับน้ำจนความชื้นในเมล็ดถึงจุดวิกฤติ ขบวนการงอกขั้นต่อไปจึงจะเกิดขึ้น ในระยะแรกของการได้รับน้ำของเมล็ด โมเลกุลของน้ำเข้าสู่เมล็ดโดยการแพร่ (DIFFUSION) แรงดูดน้ำของเมล็ดที่เกิดขึ้นในระยะแรกนี้เรียกว่า IMBIBITIONAL FORCE แรงดูดน้ำแบบนี้จะลดลงเมื่อเมล็ดดูดน้ำเข้าไปมากขึ้น ต่อมาจะมีการดูดน้ำโดยขบวนการออสโมซีส แรงดูดน้ำแบบนี้เรียกว่า OSMOTIC FORCE ซึ่งมีผลต่อความชื้นสุดท้ายของเมล็ดขณะสิ้นสุด HYDRATION PHASE ซึ่งโดยทั่วไปความชื้นของเมล็ดที่ระยะนี้อยู่ในช่วงร้อยละ 30–60 ในพืชตระกูลถั่ว ตำแหน่งที่ไวต่อการดูดซับน้ำเข้าสู่เมล็ดคือ MICROPYLE และ HILUM เนื้อเยื่อแต่ละส่วนของเมล็ดมีอัตราการดูดน้ำต่างกัน โดยทั่วไปเนื้อเยื่อคัพภะจะดูดน้ำได้ในอัตราที่เร็วกว่าการดูดน้ำของส่วนสะสมอาหาร (ใบเลี้ยง) ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเยื่อคัพภะมักเก็บสะสมโปรตีน ในขณะที่ส่วนสะสมอาหารมักมีแป้งและไขมันเป็นส่วนใหญ่ เหตุผลอีกประการหนึ่งคือ คัพภะต้องการน้ำมากเพื่อกระตุ้นปฏิกริยาของเอนไซม์ เมล็ดถั่วเป็นเมล็ดที่มีเปลือก คือ SEED COAT เพียงชั้นบางๆมีผลให้เมล็ดถั่วมีอัตราการดูดน้ำที่รวดเร็ว นอกจากนี้เมล็ดถั่วมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประเภทโปรตีนทำให้มีอัตราเร็วในการดูดน้ำได้สูง (J.D.BEWLEY AND M.BLACK,1983) การดูดน้ำของเมล็ดสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ ดังนี้

Copyright by Mahidol University

–ระยะดูดน้ำ (IMBIBITION PHASE) ในเมล็ดแห้ง WATER POTENTIAL ของเซลล์ในเมล็ดมีค่าต่ำ เมื่อเมล็ดได้รับน้ำเมล็ดจึงดูดน้ำอย่างรวดเร็ว ลักษณะการดูดน้ำแบบนี้เกิดขึ้นได้กับเมล็ดทั่วไป สำหรับการเปลี่ยนแปลงของเมล็ดในระยะนี้ จะมีการจัดเรียงตัวและซ่อมแซมผนังเมม เบรนของอวัยวะต่างๆภายในเซลล์ (REORGANIZATION AND REPAIR OF CELL MEMBRANE) และที่ปลายระยะนี้จะมีการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์เกิดขึ้น

–ระยะงัน (LAG PHASE) ระยะนี้เป็นระยะที่มีกระบวนการทางเมตาโบลิซึมเกิดขึ้น ต้นระยะจะมี WATER POTENTIAL เพิ่มขึ้นจากระยะแรก การดูดน้ำจะเป็นไปอย่างช้าๆ เนื่องจากแรง IMBIBITION FORCE อ่อนลง เมตาโบลิซึมส่วนใหญ่จะเป็นการสังเคราะห์ NUCLEIC ACID และเอนไซม์ต่างๆ มีการย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่และสังเคราะห์ ORGANELLE ต่างๆขึ้นเพื่อเตรียมการงอก ปลายระยะนี้จะมีขบวนการเคลื่อนย้ายสารไปยังจุดเจริญ

–ระยะการเจริญเติบโตของคัพภะ (EMBRYO GROWTH) ระยะนี้ที่บริเวณจุดเจริญ โดยเฉพาะรากอ่อน (RADICLE) จะมีการแบ่งเซลล์และมีการยืดตัวของเซลล์ที่เกิดขึ้น การเจริญเติบโตของคัพภะจะปรากฏออกมาให้เห็น คือ มีการแทง RADICLE ออกมา การเพิ่มขึ้นของความชื้นของเมล็ดในระยะนี้ เกิดจากแรงดึงดูดน้ำแบบ OSMOTIC FORCE โดยรากอ่อนเป็นส่วนใหญ่

การดูดน้ำของเมล็ดพืชมีความสัมพันธ์กับขบวนการจัดเรียงตัวและการซ่อมแซมผนังเมมเบรนของเมล็ด (REORGANIZATION AND REPAIR OF THE MEMBRANE) โครงสร้างของผนังเมมเบรนในสภาพปกติ มีลักษณะเป็นลิปิดไบเลเยอร์ (LIPID BILAYER) ประกอบด้วยโปรตีนและฟอสโฟไลปิดเป็นส่วนใหญ่ ฟอสโฟไลปิด (PHOSPHOLIPID) แต่ละโมเลกุลเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ โดยมีด้านที่มีขั้วประจุ (POLAR) ซึ่งประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟต (PHOSPHATE GROUP) และเบสไนโตรเจน (NITROGENOUS BASE) หันเข้าหาน้ำ เรียกด้านนี้ว่า ขั้วชอบน้ำ (HYDROPHILIC HEAD) ส่วนอีกด้านหนึ่งที่หันหนีน้ำ เป็นลูกโซ่ของกรดไขมัน ซึ่งอาจมีคาร์บอน 16,18 หรือ 20 อะตอม ไม่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้า (NON POLAR) และไม่ละลายน้ำ เรียกด้านนี้ว่า ขั้วไม่ชอบน้ำ (HYDROPHOBIC TAIL) สถานะของฟอสโฟไลปิด 2 ชั้นนี้ ค่อนข้างเสถียรเนื่องจากภายในไซโตพลาสซึม มีน้ำอยู่ถึงร้อยละ 70 และในช่องว่างระหว่างเซลล์ (INTERCELLULAR SPACE) ก็มีน้ำอยู่มาก

ในสภาพเมล็ดแห้ง สันนิษฐานว่าผนังเมมเบรนจะเรียงตัวโดยหันขั้วที่ชอบน้ำเข้าหาโมเลกุลของน้ำ ซึ่งมีอยู่น้อยในเมล็ด ทำให้ขั้วที่ไม่ชอบน้ำหันออกจากกัน ดูไม่เป็นระเบียบ ผนังเมมเบรนที่อยู่

Copyright by Mahidol University

ในสภาวะนี้เรียกว่า HEXAGONAL PHASE เมื่อเมล็ดมีการดูดน้ำเกิดขึ้น ผนังเมมเบรนของอวัยวะต่างๆภายในเซลล์ก็จะมีการจัดเรียงตัว เพื่อให้เข้าสู่สภาพปกติ (REORGANIZATION) เป็นลิปิดไบเลเยอร์อีกครั้งหนึ่ง การดูดน้ำอย่างรวดเร็วอาจทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปมาของฟอสโฟไลปิดและโปรตีน ขณะเดียวกันก็อาจมีขบวนการซ่อมแซม (MOLECULAR REPAIR MECHANISM) เกิดขึ้นด้วย ในระหว่างการจัดเรียงตัวและการซ่อมแซมโมเลกุลในผนังเมมเบรนนี้ จะมีการรั่วไหลของสารต่างๆ ได้แก่ น้ำตาล กรดอินทรีย์ ธาตุที่มีประจุ กรดอะมิโน และโปรตีน จากภายในเซลล์ออกสู่ภายนอกเซลล์ การรั่วไหลจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งการจัดเรียงตัวและซ่อมแซมผนังเมมเบรนเสร็จสิ้น การรั่วไหลของสารต่างๆเหล่านี้จึงจะสิ้นสุดลง จากการศึกษาของ วันชัย (2537) เกี่ยวกับการดูดน้ำของเมล็ดและวัดค่าการนำไฟฟ้า (ELECTRICAL CONDUCTIVITY) ของน้ำที่แช่เมล็ดเป็นระยะๆ จะพบว่าการรั่วไหลจะกินเวลานานนับชั่วโมงจึงจะหยุด เมล็ดที่อ่อนแอ (LOW VIGOUR SEED) ผนังเมมเบรนจะเสื่อมสภาพมาก การจัดเรียงตัวและซ่อมแซมจะใช้เวลานานกว่าและมีการรั่วไหลของสารต่างๆมากกว่าเมล็ดที่แข็งแรง ส่วนเมล็ดที่หมดความงอกหรือเมล็ดที่ตายแล้ว การรั่วไหลจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่สามารถมีชีวิตอยู่รอดได้ในสภาพแห้ง นอกจากจะมีกลไกดังที่กล่าวมาแล้ว ยังมีกลไกของเอนไซม์ที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในระหว่างการจัดเรียงตัวและซ่อมแซมผนังเมมเบรน ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้จะกระตุ้นให้มีการสังเคราะห์ฟอสโฟไลปิดและโปรตีน เพื่อทดแทนโมเลกุลที่เสียหาย (DAMAGE) ทั้งยังมีระบบป้องกันสารพิษหรือทำลายสารพิษ (DETOXIFICATION SYSTEM) ซึ่งถือว่าเป็นความสามารถของเซลล์ของสิ่งมีชีวิต เช่น เอนไซม์ SUPEROXIDE DISMUTASE (SOD) ซึ่งสามารถกำจัดหรือทำลาย SUPEROXIDE FREE RADICAL ได้

2.5.2 การหายใจขณะเมล็ดงอก (RESPIRATION DURING GERMINATION) เมื่อน้ำเข้าสู่ภายในเมล็ดในปริมาณที่เพียงพอแล้ว น้ำจะไปกระตุ้นการทำงานขององค์ประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ของเมล็ด ขณะเดียวกันน้ำก็จะช่วยละลายโปรโตพลาสซึม และช่วยให้ออกซิเจนเข้าไปสู่ภายในเมล็ด ทำให้มีการย่อยสลายสารอาหารต่างๆที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ด ในส่วนของเนื้อเยื่อที่เก็บสะสมอาหารให้เป็นโมเลกุลเล็กๆ ในรูปที่ละลายน้ำได้ (SOLUBLE) และเคลื่อนย้ายได้ (TRANSLOCATE FORM) ส่งไปเลี้ยงส่วนของคัพภะที่จุดเจริญ ขณะเดียวกันในการย่อยสลายสารอาหารต่างๆที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ดจะมีพลังงานเกิดขึ้น พลังงานเหล่านี้จะถูกใช้ไปในการเคลื่อนย้ายและสร้างสารอาหารโดยส่วนของคัพภะต่อไป ในเมล็ดที่มีการดูดน้ำนั้น จากการศึกษาของ J.D.BEWLEY AND M.BLACK (1983) พบว่า ขบวนการหายใจของเมล็ดวิถีที่เกี่ยวข้องอยู่ 3 วิถี (PATHWAY) ดังนี้

Copyright by Mahidol University

-GLYCOLYSIS ขบวนการนี้ถูกกระตุ้นโดยเอนไซม์ในไซโตพลาสซึม เกิดขึ้นได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน ผลที่ได้คือ กรดไพรูวิก (PYRUVIC ACID) แต่ถ้าไม่มีออกซิเจนจะไม่มีขบวนการเกิดขึ้น และจะมีการสร้าง เอทธานอล (ETHANOL) กรดแลคติค (LACTIC ACID) และคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นมาแทน การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (ANAEROBIC RESPIRATION) หรือ FERMENTATION นี้ จะให้ ATP (ADENOSINE TRI PHOSPHATE) เพียง 2 โมเลกุลต่อกลูโคส (GLUCOSE) 1 โมเลกุล แต่ถ้าเป็นการหายใจแบบใช้ออกซิเจน (AEROBIC RESPIRATION) จะให้ ATP 6 โมเลกุล ต่อกลูโคส 1 โมเลกุล และในสภาพที่มีออกซิเจน PYRUVATE จะถูกใช้ต่อไปภายในไมโตคอนเดรีย (MITOCHONDRIA) โดยขบวนการ OXIDATIVE DECARBOXYLATION ได้ ACETYL Co-ENZYME A

-PENTOSE PHOSPHATE PATHWAY (PPP) เป็นขบวนการที่เป็นทางเลือกหนึ่งของการส่งผ่านอิเลคตรอน ซึ่งไม่ต้องอาศัยไซโตโครม และเกิดในไมโตคอนเดรีย ขบวนการนี้เป็นแหล่งสำคัญของ NADPH ที่จะให้ไฮโดรเจนอิออน (H^+) และอิเลคตรอน (e^-) ในขบวนการสังเคราะห์แบบรีดัคชั่น (REDUCTIVE BIOSYNTHESIS) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหายใจของกรดไขมัน สารที่เป็นตัวกลาง (INTERMEDIATE) ของ PPP เป็นสารประกอบเริ่มต้นของขบวนการสังเคราะห์หลายๆขบวนการ เช่น การสังเคราะห์สารอโรมาติก (AROMATIC) หลายชนิด หรือการสังเคราะห์นิวคลีโอไทด์ (NUCLEOTIDE) และกรดนิวคลีอิก (NUCLEIC ACID)

-CITRIC ACID CYCLE OR KREB'S CYCLE OR TRICARBOXYLIC ACID CYCLE เป็นขบวนการที่รับสาร ACETYL Co-ENZYME A และเกิดการออกซิไดส์ (OXIDISE) ได้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ และให้ ATP ถึง 30 โมเลกุลต่อกลูโคส 1 โมเลกุล ATP จะถูกสร้างขึ้นมาระหว่างขบวนการ OXIDATIVE PHOSPHORYLATION โดยที่อิเลคตรอน (ELECTRON) จะถูกส่งผ่านไปสู่โมเลกุลของออกซิเจนผ่านทางไซโตโครม (CYTROCHROME) ซึ่งอยู่บนผนังเมมเบรนชั้นใน (INNER MEMBRANE) ของไมโตคอนเดรีย และทำหน้าที่เป็นตัวถ่ายทอดอิเลคตรอน (ELECTRON CARRIER)

รูปแบบของการใช้ออกซิเจนในขณะที่เมล็ดกำลังงอกนั้น สามารถแบ่งได้เป็น 4 ระยะ (J.D.BEWLEY AND M.BLACK,1983) ดังนี้

-ระยะที่ 1 เป็นระยะที่มีอัตราการหายใจและการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ใช้ระยะเวลาประมาณ 10 ชั่วโมง สาเหตุของการใช้ออกซิเจนอย่างรวดเร็วมาจากการดูดน้ำและการกระตุ้น

Copyright by Mahidol University

ของเอนไซม์ในไมโตคอนเดรีย ที่เกี่ยวข้องกับ CITRIC ACID CYCLE และการส่งผ่านอิเลคตรอน การหายใจในระยะนี้จะมีสัดส่วนการหายใจ (RESPIRATORY QUOTIENT) มีค่ามากกว่า 1 การวัดสัดส่วนการหายใจทำได้โดย VOLUME OF CO_2 EVOLVED/VOLUME OF O_2 ABSORBED นั่นคือการหายใจของเมล็ดในระยะนี้จะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรงตามระดับการดูดน้ำของเนื้อเยื่อในเมล็ด

-ระยะที่ 2 เป็นระยะงัน (LAG PHASE) ออกซิเจนจะถูกใช้อย่างช้าๆ ใช้ระยะเวลาระหว่าง 10-25 ชั่วโมง นับตั้งแต่เมล็ดเริ่มมีการดูดน้ำ การดูดน้ำของเมล็ดสิ้นสุดที่ระยะนี้ และเอนไซม์ที่มีสะสมอยู่ในเมล็ดถูกกระตุ้นให้ทำงานหมดแล้ว ระยะนี้สัดส่วนการหายใจมีค่ามากกว่า 3 แสดงว่าเป็นการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน เชื่อว่าการเพิ่มขึ้นของระดับเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจ ตลอดจนการเพิ่มขึ้นของจำนวนไมโตคอนเดรียจะมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การใช้ออกซิเจนที่ช้าในระยะนี้ในเมล็ดพืชบางชนิด อาจเป็นเพราะเปลือกเมล็ดไม่ยอมให้ออกซิเจนผ่านเข้าสู่ภายในคัพภะและส่วนสะสมอาหาร ทำให้เกิดขบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้นชั่วขณะหนึ่ง สาเหตุที่เป็นไปได้อีกสาเหตุหนึ่ง คือ การกระตุ้นให้เกิดกระบวนการไกลโคไลซิสมีสูงกว่าการพัฒนาไมโตคอนเดรีย ทำให้มีการสะสมไพรูเวทขึ้น และเนื่องจากขบวนการ CITRIC ACLD CYCLE และ OXIDATIVE PHOSPHORYLATION (ELECTRON TRANSPORT CHAIN) เกิดขึ้นไม่ทัน ทำให้ไพรูเวทถูกใช้ไปในขบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เมล็ดต้องการออกซิเจนในระยะนี้น้อยลง

-ระหว่างรอยต่อของระยะที่ 2 และระยะที่ 3 จะมีการงอกของรากอ่อน (RADICLE) ออกมาให้เห็น

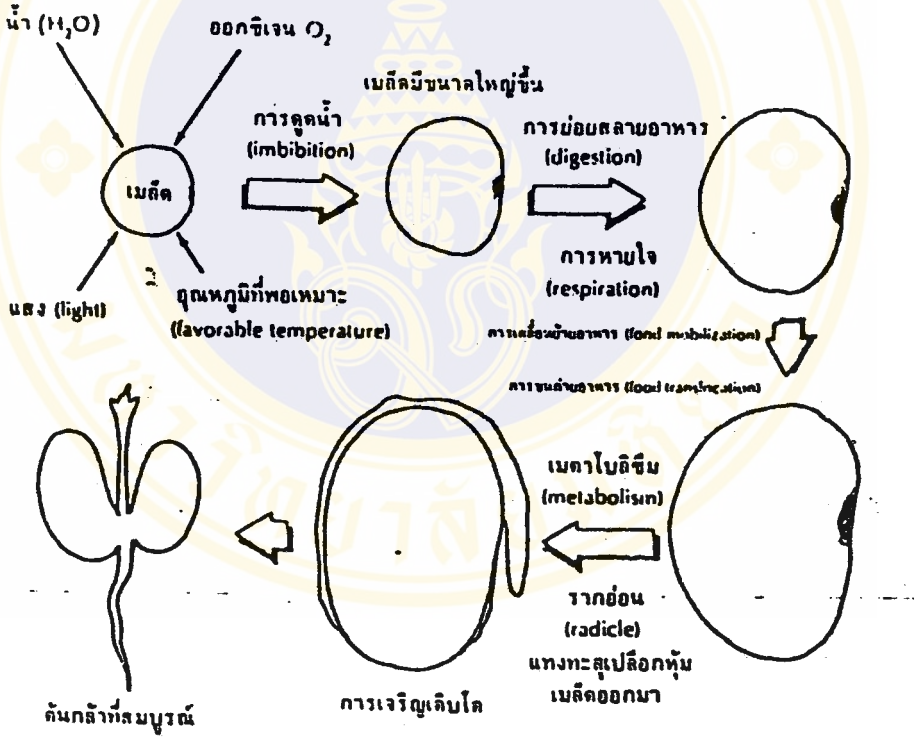
-ระยะที่ 3 เป็นระยะที่เกิดการหายใจขั้นที่ 2 เนื่องจากมีการเพิ่มปริมาณออกซิเจนเข้าสู่เมล็ดโดยผ่านทางเปลือกหุ้มเมล็ดที่ถูกรากอ่อนเจาะทะลุเป็นรู ระยะนี้มีอัตราการหายใจสูงขึ้น เนื่องจากต้องสังเคราะห์ไมโตคอนเดรียและ RESPIRATORY ENZYME ต่างๆขึ้นใหม่เพื่อใช้ในการแบ่งเซลล์ใหม่ของต้นอ่อน ระยะนี้สัดส่วนการหายใจมีค่าลดลงประมาณ 1 แสดงว่าเป็นขบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจน ในส่วนสะสมอาหารของเมล็ดก็จะมีจำนวนไมโตคอนเดรียเพิ่มขึ้นด้วย และมักสัมพันธ์กับการเคลื่อนย้ายอาหารสะสม

-ระยะที่ 4 เกิดขึ้นในส่วนสะสมอาหารเท่านั้น ซึ่งสัมพันธ์กับการใช้หมดไปของอาหารที่สะสมไว้

Copyright by Mahidol University

สำหรับถั่วเขียวจัดว่าเป็นเมล็ดพืชที่มีการงอกได้เร็วมาก เนื่องจากสามารถงอกถึงระยะที่ 3 ภายในเวลาเพียง 6 ชั่วโมง นับตั้งแต่เมล็ดเริ่มดูดน้ำ (J.D.BEWLEY AND M.BLACK ,1983) นอกจากนี้จากการศึกษาของ วันชัย,2537 พบว่าสัดส่วนการหายใจ (RQ) ของสารอาหารต่างๆมีค่าไม่เท่ากัน คาร์โบไฮเดรตมีค่าเท่ากับ 1 ไขมันมีค่า 0.7–0.8 โปรตีนจะมีค่าเท่ากับ 0.7–1.0 แต่สำหรับในกรณีที่เป็นการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาโดยไม่มีการใช้ออกซิเจน ดังนั้นค่า RQ จะเป็นอินฟินิตี้

ภาพที่ 2.6 แสดงขบวนการในการงอกของเมล็ดถั่วเขียว



ที่มา จวงจันทร์,2521

Copyright by Mahidol University

2.6 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวขณะงอก

2.6.1 คาร์โบไฮเดรต การเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรตของถั่วในระหว่างการงอก เริ่มจากการที่มีเอนไซม์อะไมเลส (AMYLASE) เพิ่มมากขึ้นในเมล็ด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเมตาโบลิก (METABOLIC) และองค์ประกอบต่างๆ คาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเกิดน้ำตาลอิสระและเดกซ์ตริน (DEXTRIN) จากการย่อยสตาร์ช (STARCH) การเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชเป็นน้ำตาลขึ้นกับปริมาณเอนไซม์และอัตราเร็วที่น้ำซึมเข้าไปในเมล็ดในระหว่างการงอก ในช่วงแรกเอนไซม์อะไมเลสย่อยสตาร์ชทำให้ได้กลูโคส (GLUCOSE) มอลโตส (MALTOSE) และเดกซ์ตริน นอกจากนี้ในเมล็ดที่กำลังงอกยังมีเอนไซม์กาแลกโตซิเดส (GALACTOSIDASE) ซึ่งจะย่อยน้ำตาลหลายชั้นตระกูลแรฟฟิโนส (RAFFINOSE) ให้ได้ซูโครส (SUCROSE) และกาแลกโตส (GALACTOSE) ต่อจากนั้นเกิดการเมตาโบไลซ์ (METABOLISE) ของน้ำตาลกาแลกโตสใน GALACTOSE-UTILIZATION SYSTEM ทำให้ไม่มีการสะสมของน้ำตาลกาแลกโตส (LABENEIAH AND LUH,1981) จากการศึกษาผลการงอกต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตในถั่วเขียว 4 สายพันธุ์โดย พัชรี (2531) พบว่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในถั่วงอกมีปริมาณลดลงจากปริมาณคาร์โบไฮเดรตในถั่วเขียวโดยปริมาณคาร์โบไฮเดรตในถั่วเขียวร้อยละ 53.94 ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 36.52 ในถั่วงอก ต่อ 100 กรัมถั่วเขียวแห้ง ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสตาร์ชเกิดการกระตุ้นให้มีกิจกรรมมากขึ้นในระหว่างที่เมล็ดมีการงอก ได้แก่ แอลฟากาแล็กโตซิเดสย่อยน้ำตาลแรฟฟิโนสและสตาคีโอสซึ่งมีแขนเชื่อมแอลฟา-กาแล็กโตซิเดส ให้กลายเป็นน้ำตาลซูโครส และเอนไซม์อะไมเลสที่สามารถย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลกลูโคส (AMAN,1979;J.D.BEWLEY AND M.BLACK,1978) ในระหว่างการงอกจึงเกิดน้ำตาลกลูโคสและซูโครสเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดเป็นน้ำตาลเพื่อใช้ในการหายใจและสังเคราะห์เป็นสารอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของต้นอ่อน (LABENEIAH AND LUH,1981) และส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลแรฟฟิโนสและสตาคีโอสลดลง น้ำตาลแรฟฟิโนสและสตาคีโอสเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ก่อให้เกิดลมในท้อง โดยการหมักของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร การงอกจึงเป็นวิธีลดน้ำตาลหลายชั้น (OLIGOSACCHARIDE) ที่ก่อให้เกิดลมในท้อง

2.6.2 ไขมัน ขณะที่ถั่วเขียวกำลังงอกปริมาณไขมันในส่วนไฮโปคอททิล (HYPOCOTYL) มีค่าเท่ากับ 0.1 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักสด ซึ่งต่ำกว่าปริมาณไขมันที่มีในถั่วเขียวเมล็ดแห้ง (ร้อยละ 2.4) (FORDHAM AND OTHERS,1975) CHEN AND OTHERS (1975) รายงานปริมาณไขมันในถั่วงอกจากถั่วชนิดกลมและชนิดยาวรี ได้ค่าเฉลี่ยปริมาณไขมันอยู่ระหว่างร้อยละ 0.8-1.5 กรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม พบว่ามีปริมาณไขมันต่ำกว่าในถั่วเมล็ดแห้ง (ร้อยละ 2.0-

Copyright by Mahidol University

4.0) และมีปริมาณกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวทั้งหมดร้อยละ 32.3-39.1 ซึ่งต่ำกว่าในถั่วเมล็ดแห้ง (ร้อยละ41.1-65.2) กรดไขมันอิ่มตัวมีมากที่สุดส่วนใหญ่เป็นกรดพัลมิติก (PALMITIC ACID) ขณะที่ KYLEN AND McCREADY (1975) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณไขมันในถั่วเขียวที่กำลังงอกเปรียบเทียบกับปริมาณไขมันในถั่วเมล็ดแห้ง ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันในถั่วเขียวที่กำลังงอกมีค่าเท่ากับ 0.2 กรัม ต่อน้ำหนักสด 100 กรัม ปริมาณไขมันในถั่วเมล็ดแห้งมีค่าเท่ากับ 1.4 กรัม ต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม การศึกษาผลการงอกต่อปริมาณไขมันในถั่วเขียว 4 สายพันธุ์ในประเทศไทยโดย พัชรี (2531) พบว่า ปริมาณไขมันลดลงเฉลี่ยเหลือเพียง 0.68 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์ไลเปส (LIPASE) ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการงอกของเมล็ด ย่อยไขมันที่เก็บสะสมไว้ภายในและต่อมาจึงสังเคราะห์ขึ้นใหม่ (J.D.BEWLEY AND M.BLACK,1978)

2.6.3 โปรตีน โดยทั่วไปปริมาณโปรตีนในถั่วที่กำลังงอกมักสูงขึ้นจากเดิมที่มีอยู่ในถั่วเมล็ดแห้ง เมื่อเทียบต่อน้ำหนักแห้งทั้งในถั่วชนิดกลม (PEA) และถั่วชนิดยาวรี (BEAN) (FORDHAM AND OTHERS,1975) BEEVERS (1966) รายงานว่า ระหว่างการงอกของถั่วชนิดกลม ปริมาณไนโตรเจนในส่วนใบเลี้ยงมีการลดลงอย่างรวดเร็ว พร้อมๆกับปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในส่วนที่กำลังเจริญ ซึ่งเป็นผลมาจากการเคลื่อนย้ายสารอาหารที่เกิดจากการย่อยโปรตีน จากการศึกษาผลการงอกต่อปริมาณโปรตีนในเมล็ดถั่วเขียว 4 สายพันธุ์ในประเทศไทยของ พัชรี (2531) พบว่าการงอกมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนในถั่วเขียวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ J.D.BEWLEY AND M.BLACK (1978) ศึกษาว่าในระหว่างการงอกของถั่วเขียว จะมีเอนไซม์บางชนิดใน PROTEIN BODIES ของถั่วเขียวจะทำงานได้ในขณะที่เมล็ดกำลังงอก และสามารถย่อยโปรตีนที่เก็บสะสมอยู่ในถั่ว แล้วสังเคราะห์เป็นโปรตีนใหม่ในส่วนที่งอก ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้นในช่วงวันแรกของการงอกเมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้ง

ส่วนปริมาณกรดอะมิโน (AMINO ACID) ในโปรตีนของถั่วงอกนั้นก็มีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน จากการวิเคราะห์ของ FOLKE AND YEMM (1958) พบว่ากรดอะมิโนกลูตามิก (GLUTAMIC ACID) และแอสปาร์ติก (ASPARTIC ACID) ในโปรตีนของถั่วเขียวงอกจะเพิ่มขึ้น ส่วน LARSON AND BEEVERS (1965) ทำการตรวจปริมาณกรดอะมิโนในถั่วเขียวงอกนั้น รายงานผลว่ากรดอะมิโนทุกตัวมีปริมาณเพิ่มขึ้น ยกเว้นกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบจะมีปริมาณลดลง นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิเคราะห์กรดอะมิโนในถั่วคิดนีย์ที่กำลังงอก พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอะมิโนมากนัก (PALMER AND OTHERS,1973) แต่ในถั่วเหลืองที่กำลังงอกพบว่ามีปริมาณกรดอะมิโนไลซีน (LYSINE) และทริปโตเฟน (TRYPTOPHANE) เพิ่มมากขึ้น (SOMCHIT,1977) จากการศึกษาผลการงอกต่อปริมาณกรดอะมิโนในถั่วเขียว 4 สายพันธุ์โดย พัชรี

Copyright by Mahidol University

(2531) พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอะมิโนต่อ 16 กรัมไนโตรเจน กรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ซิสเตอีน เมทไธโอนีน ในถั่วงอกมีปริมาณลดลง กรดอะมิโนทรีโอนีน ซีรีน กรดกลูตามิก ไกลซีน อะลานีน ลิวซีน ไทโรซีน ฟีนิล-อะลานีน ไลซีน ฮิสติดีน และอาร์จินีน ในถั่งอกมีปริมาณลดลง กรดอะมิโนวาลีน ไอโซลิวซีน โพรลีน ในถั่วงอกมีปริมาณใกล้เคียงกับในถั่วเขียว ส่วนกรดอะมิโนที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นในถั่วงอก คือ กรดแอสปาร์ติก เนื่องจากระหว่างการงอกเกิดการ TRANSAMINATION ขึ้นโดย OXALOACETATE เปลี่ยนเป็นกรดแอสปาร์ติก (J.D.BEWLEY AND M.BLACK,1978) กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย และมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ซิสเตอีน และเมทไธโอนีน มีปริมาณลดลงเมื่อเป็นถั่วงอก แต่อย่างไรก็ตาม กรดอะมิโนทั้ง 2 ตัว เป็น FIRST LIMITING AMINO ACID ในถั่วเขียวเมล็ดแห้ง

2.6.4 วิตามิน เมื่อเมล็ดถั่วเขียวงอกจะมีปริมาณวิตามินบี 2 เพิ่มขึ้น 2.5 เท่า (KYLEN AND McCREAY,1975) และมีวิตามินบี 1 เพิ่มขึ้น 3 เท่า (ABBDULLAH AND BALDWIN,1984) วิตามินบี 5 เพิ่มขึ้น วิตามินซีซึ่งเดิมมีอยู่ในเมล็ดน้อยมาก เมื่อเมล็ดงอกจะมีปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้น 38.3 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (KYLEN AND McCREAY,1975) ถั่วงอกเป็นผักที่มีวิตามินซีสูง การงอกจึงเป็นวิธีการหนึ่งในการเพิ่มปริมาณวิตามินซี PRUDENTE AND MEBESA (1981) และ VANDERSTOEP (1981) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีในถั่วงอกที่เพาะจากถั่วเหลืองและถั่วชนิดกลม พบว่า ปริมาณวิตามินซีในถั่วงอกเพิ่มขึ้นจากปริมาณวิตามินซีในถั่วเมล็ดแห้ง เช่นเดียวกับถั่วเยลโลว์พีวี เลนทิลและฟาบา ที่มีปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้นในระหว่างการงอก (HAMILTON AND VANDERSTOEP,1981)

2.6.5 แร่ธาตุ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ธาตุของถั่วที่กำลังงอก พบว่า มีปริมาณเหล็กต่ำลงเนื่องจากปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณเหล็กในถั่วงอก 4.07 มิลลิกรัม จากปริมาณเหล็กในถั่วเขียว 11.1 มิลลิกรัม (พัชรี,2531) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ABDULLAH AND BALDWIN (1984) ที่ทำการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในถั่วงอกที่เพาะจากถั่วเขียว มีค่า 5.3 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมถั่วเขียวแห้ง แต่เหล็กในถั่วงอกสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าธาตุเหล็กในรูปที่อยู่ในเมล็ดถั่วเขียวแห้ง เนื่องจากในถั่วงอกมีกรดไฟติกลดลง (SIGN AND BANERJEE,1975) ถั่วงอกจากถั่วเขียว ถั่วเหลือง แอลฟาฟาและเลนทิล มีปริมาณแร่ธาตุใกล้เคียงกับเมล็ดแห้ง (KYLEN AND OTHERS,1975) ถั่วงอกจากถั่วเขียวมีปริมาณแมกนีเซียมและแคลเซียมสูงกว่าถั่วชนิดอื่นๆ (CHEN AND OTHERS,1975;FORDHAM AND OTHERS,1975) จากการศึกษาของ ABDULLAH AND BALDWIN (1984) พบว่า ปริมาณแร่ธาตุในถั่วเหลืองและถั่วเขียวที่กำลังงอกมีปริมาณโซเดียมเพิ่มมากขึ้น ทองแดง สังกะสี ฟอสฟอรัส มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนธาตุเหล็กและ

Copyright by Mahidol University

โพแทสเซียมมีปริมาณลดลง นอกจากนี้ในถั่วเหลืองยังมีแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นด้วย จากการศึกษาผลการงอกต่อปริมาณแร่ธาตุในถั่วเขียว 4 สายพันธุ์ โดย พัชรี (2531) พบว่า ปริมาณแคลเซียมในถั่วงอกลดลงเหลือเพียง 13.25 มิลลิกรัม จากปริมาณแคลเซียมในถั่วเขียว 45.75 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมถั่วเขียวแห้ง ปริมาณโซเดียมในถั่วงอกลดลงเหลือเพียง 53.5 มิลลิกรัม จากปริมาณโซเดียมในถั่วเขียว 81.75 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมถั่วเขียวแห้ง ปริมาณแมกนีเซียมในถั่วงอกลดลงเหลือเพียง 90.75 มิลลิกรัม จากปริมาณแมกนีเซียมในถั่วเขียว 118 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมถั่วเขียวแห้ง และปริมาณโพแทสเซียมในถั่วงอกลดลงเหลือเพียง 571.75 มิลลิกรัม จากปริมาณโพแทสเซียมในถั่วเขียว 1022.75 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมถั่วเขียวแห้ง สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสในถั่วงอกมีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 414.25 มิลลิกรัมในถั่วเขียวเป็น 516.75 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมถั่วเขียวแห้ง สารประกอบฟอสฟอรัสในเมล็ดถั่วเขียวแห้งแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ ไฟเตต ฟอสฟาไทด์ (PHOSPHATIDE) สารประกอบนิวคลีอิก และอนินทรีย์ฟอสฟอรัส โดยฟอสฟอรัสส่วนใหญ่อยู่ในรูปไฟเตต เมื่อเกิดกระบวนการงอกจะเกิดเอนไซม์ไฟเตสย่อยไฟเตตทำให้เกิดปริมาณฟอสฟอรัสมากขึ้น

2.6.6 สารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการ การงอกของเมล็ดเป็นหนึ่งในหลายวิธีที่สามารถลดปริมาณไฟเตตในเมล็ดได้ เมื่อถั่วงอกจะมีเอนไซม์ไฟเตส (PHYTASE) เพิ่มขึ้น 12 เท่า เอนไซม์นี้จะย่อยไฟเตตให้เป็นอิโนซิทอล (INOSITOL) และฟอสเฟต (TABEKHIA AND LUH,1980) นอกจากวิธีการเพาะให้งอกแล้ว วิธีอื่นที่สามารถลดปริมาณไฟเตตได้ เช่น การใช้ความร้อน การหมักด้วยยีสต์ และการบรรจุกระป๋อง การเพาะเมล็ดให้งอกสามารถลดปริมาณไฟเตตได้ดีกว่าการใช้ความร้อน (BEAL AND OTHERS,1984) แม้ว่าไฟเตตในถั่วเมล็ดแห้งส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ แต่หลังจากผ่านการให้ความร้อนพบว่าไฟเตตบางส่วนจะรวมตัวกับแคลเซียมอิออนทำให้อยู่ในรูปไม่ละลายน้ำ (TABEKHIA AND OTHERS,1980) ส่วนการหมักด้วยยีสต์เพื่อลดปริมาณไฟเตต เป็นวิธีการที่ช้าและอาจเกิดปัญหาการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ (CHANG AND OTHERS,1977 ;HARTMAN,1979) จะเห็นว่าการเพาะเมล็ดให้งอกเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการลดปริมาณไฟเตต เพื่อทำให้การดูดซึมแร่ธาตุและการนำไปใช้ประโยชน์ดีขึ้น (REDDY AND OTHERS,1978 ; TABEKHIA AND LUH,1980;SATHE AND OTHERS,1983)

ในเมล็ดถั่วที่กำลังงอกมีกรดไฟติกเป็นแหล่งของฟอสฟอรัส โดยการย่อยของเอนไซม์ไฟเตส ซึ่งเอนไซม์ไฟเตสจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในเมล็ดถั่วที่กำลังงอก และทำให้กรดไฟติกมีปริมาณลดต่ำลง (CHEN AND OTHERS,1975;LOLAS AND MARKAKIS,1975;REDDY AND OTHERS, 1978;HSU AND OTHERS,1980) เอนไซม์ไฟเตสที่พบในถั่วที่กำลังงอก สามารถย่อยกรดไฟติกหรือไฟเตต ซึ่งอยู่ในรูปของเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมของไมโออิโนซิทอล (1,2,3,4,5,6 เฮกซะ

Copyright by Mahidol University

ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต) ให้อยู่ในรูปของอิโนซิทอล และออโธฟอสเฟต (J.D.BEWLEY AND M.BLACK,1978) VANDERSTOEP (1981) รายงานว่าในระหว่างการงอกของถั่วเขียวมีปริมาณกรดไฟติกลดลง และทำให้เพิ่ม AVAILIBILITY ของแร่ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม สังกะสีและเหล็กด้วย ปริมาณกรดไฟติกที่ลดลงในการงอกของถั่วชนิดต่างๆแตกต่างกันไป จากการศึกษาของ TABEKHIA AND LUH (1980) เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไฟติกในระหว่างการงอกของถั่วเรดคิดนีย์ ถั่วแบ็คอาย ถั่วพิงค์ และถั่วเขียว พบว่าถั่วแบล็คอายมีปริมาณกรดไฟติกลดลดงในปริมาณมากที่สุด เนื่องจากมีเปลือกหุ้มเมล็ดที่บาง มีผลให้น้ำซึมเข้าสู่เมล็ดได้ในปริมาณมาก จึงก่อให้เกิดการงอกอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเอนไซม์ไฟเตสจึงมีกิจกรรมสูงส่งผลให้ปริมาณกรดไฟติกในเมล็ดลดปริมาณลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วชิดอื่น ส่วนสารยับยั้งทริปซิน เป็นสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการอีกชนิดหนึ่ง เนื่องจากไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายโปรตีนของเมล็ดลดลง สารนี้มีอยู่ในโปรตีนของพืชเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพืชตระกูลถั่ว แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำให้เมล็ดงอก ปรากฏว่า สารยับยั้งทริปซินนี้จะลดลง (GUPTA AND WAGLE,1980) จากการศึกษาผลการงอกต่อปริมาณสารยับยั้งทริปซินในถั่วเขียว 4 สายพันธุ์ โดย พัชรี (2531) พบว่า ในถั่วงอกสารยับนั้งทริปซินจะมีปริมาณลออลงเหลือเพียง 4.47 ITUต่อมิลลิกรัม จากปริมาณสารยับยั้งทริปซินในถั่วเขียว 9 ITUต่อมิลลิกรัม จากการทดลองของ COLLINS AND SANDERS (1976) รายงานว่าในระหว่างการงอกของถั่วเหลืองและถั่วแห้ง พบว่ามีปริมาณสารยับยั้งทริปซินลดลงโดยละลายออกมากับน้ำที่รดถั่วขณะงอก

2.6.7 เถ้าและเส้นใย จากการศึกษาผลการงอกต่อปริมาณเถ้าในถั่วเขียว 4 สายพันธุ์ โดย พัชรี (2531) พบว่าเมื่อเพาะถั่วเขียวให้งอก ปริมาณเถ้าในถั่วงอกจะลดลงเฉลี่ยเหลือเพียงร้อยละ 2.77 จากปริมาณเถ้าในถั่วเขียวเฉลี่ยร้อยละ 3.54 ต่อ 100 กรัมถั่วเขียวแห้ง สำหรับปริมาณเส้นใยในถั่วเขียวระหว่างงอกจะมีปริมาณลดลง จากปริมาณเส้นใยในถั่วเขียวเฉลี่ยร้อยละ 3.86 มีปริมาณเส้นใยลดลงเหลือเพี่ยงเฉลี่ยร้อยละ 2.33 ในถั่วงอก ต่อ 100 กรัมถั่วเขียวแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ KYLEN AND McCREADY (1975) ที่วิเคราะห์ปริมาณเส้นใยในถั่วงอก จากถั่วเขียวที่เพาะเป็นเวลา 3 วัน พบว่า มีปริมาณเส้นใยร้อยละ 4.23 เปรียบเทียบกับปริมาณเส้นใยในถั่วเขียวร้อยละ 5.45 ต่อ 100 กรัมถั่วเขียวแห้ง

2.6.8 ปริมาณน้ำ เมื่อนำถั่วเขียวมาเพาะให้งอก ปริมาณน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในวันแรกของการงอก ประมาณร้อยละ 65 ในวันเพาะที่ 2 ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 70–75 และในวันเพาะที่ 3 ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 83–84 (พัชรี,2531)

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถั่วงอก 100 กรัม

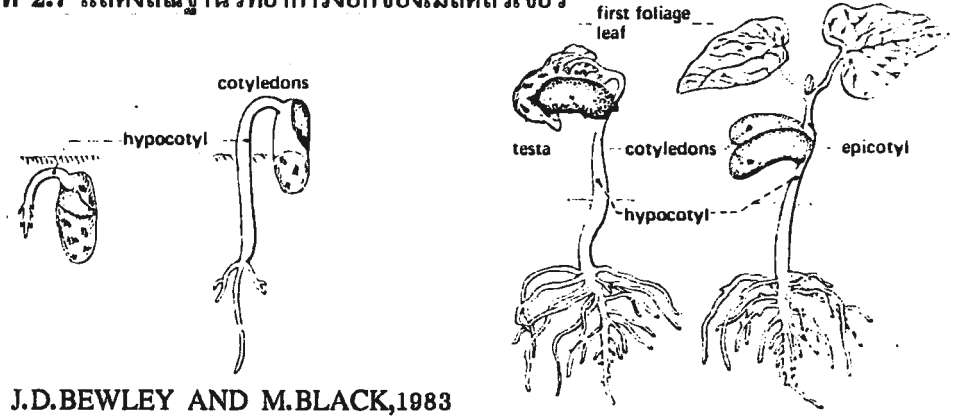
Cal unit	ความชื้น %	โปรตีน Gm	Fat Gm	CHO Gm	Fiber Gm	Ash Gm	Ca mg	P mg	Fe mg	A IU	B_1 mg	B_2 mg	B_6 mg	C mg
36	90	2.8	0.1	5.9	0.7	0.5	27	85	19	14	.07	.03	1	32

ที่มา สถาบันค้นคว้าวิจัยผลิตภัณฑ์อาหาร,2530

2.7 สัณฐานวิทยาการงอกของเมล็ดถั่วเขียว

การงอกของเมล็ดพืชตระกูลถั่ว ในช่วงแรกของการดูดน้ำ เยื่อหุ้มเมล็ดจะเริ่มขยายและเหี่ยวย่น คัพภะเริ่มพองโต รากอ่อนจะปรากฏให้เห็น เมื่อประมาณ 48-72 ชั่วโมงหลังจากเพาะ เมื่อรากงอกลงสู่ใต้ดินไม่นานก็จะมีรากแขนงแตกออกมา ไฮโปคอททิลจะปรากฏให้เห็นชัดหลังจากเพาะ 4-6 วัน ไฮโปคอททิลจะโค้งงอดึงเอาใบเลี้ยงขึ้นสู่ผิวดิน พอถึงประมาณวันที่ 6-8 ใบเลี้ยงก็จะคลี่กางออกอย่างรวดเร็ว ในระยะนี้ส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดจะหลุดร่วงไป ใบเลี้ยงเมื่อได้รับแสงจะสร้างคลอโรฟิลล์และเปลี่ยนเป็นสีเขียว ที่ระยะนี้อีพิคอททิลซึ่งถูกปกป้องด้วยใบเลี้ยง เริ่มปรากฏขึ้นในเวลาต่อมาและเติบโตเป็นใบจริงใบแรก (UNIFOLIOLATE LEAF) เนื่องจากการงอกแบบนี้มีการชูใบเลี้ยงขึ้นมาเหนือดิน จึงเรียกการงอกลักษณะนี้ว่า EPIGEAL GERMINATION เมล็ดพืชที่ไม่มีเอนโดสเปอร์มเลย แต่มีใบเลี้ยงเป็นองค์ประกอบหลัก (NON-ENDOSPERMIC SEED) ส่วนใหญ่จะมีลักษณะการงอกแบบนี้

ภาพที่ 2.7 แสดงสัณฐานวิทยาการงอกของเมล็ดถั่วเขียว



ที่มา J.D.BEWLEY AND M.BLACK,1983

Copyright by Mahidol University

สำนักหอสมุด

2.8 เทคโนโลยีการเพาะถั่วงอกเชิงพาณิชย์

ประชาชนชาวเอเชียรวมทั้งชาวไทยรู้จักการนำถั่วเขียวมาเพาะเป็นถั่วงอก ใช้บริโภคเป็นผักในอาหารหลายประเภทมาช้านานแล้ว และถั่วงอกนี้นับได้ว่าเป็นผักที่สะอาด ถูกหลักอนามัย เพราะไม่ต้องใช้ยาฆ่าแมลงในการผลิต ขบวนการเพาะทำได้ง่าย ใช้ระยะเวลาในการเพาะสั้น สามารถเพาะได้ในที่ร่มตลอดปี สำหรับการเพาะถั่วงอกในเชิงพาณิชย์ต้องใช้ถั่วเขียวที่มีคุณภาพดี สายพันธุ์ดี สามารถให้ผลผลิตสูง ทำการเพาะได้ในทุกสภาพอากาศ สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพดี ซึ่งเป็นถั่วงอกที่มีลักษณะไม่มีรากหรือรากสั้น ลำต้นขาว อวบอ้วนกลม และมีความกรอบ แต่เดิมชาวจีนมีความเชื่อจากประสบการณ์ที่ค้นพบจากการเพาะถั่วงอกว่า ถ้าวางสิ่งของหนักๆ เช่น ก้อนหินลงบนเมล็ดถั่วเขียวที่กำลังเพาะในตอนเริ่มต้นแล้ว จะทำให้ได้ถั่วงอกที่มีลักษณะรากสั้นและลำต้นอวบอ้วน ต่อมามีการทดลองโดย CHANG 1977 พบว่า การใช้ของหนักกดทับถั่วงอกส่งผลให้ถั่วงอกเร่งการผลิตเอทธิลีน (ETHYLENE) จากภายในเมล็ด ซึ่งมีผลในการลดความยาวของรากและ HYPOCOTYL ดังนั้น ปริมาณเอทธิลีนที่เกิดขึ้นในขณะที่เมล็ดกำลังงอกจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ถั่วงอกมีคุณภาพดี จากการค้นคว้าในเวลาต่อมา พบสารเคมีที่ช่วยเร่งให้เกิดเอทธิลีน ได้แก่ 2,4-D และ ETHEPHON จากการค้นพบนี้เองทำให้การเพาะถั่วงอกเชิงพาณิชย์ในประเทศไต้หวัน มีการใช้สารเคมีกลุ่มนี้เสริมในการเพาะถั่วงอก โดยจะใช้สารเคมีกลุ่มนี้หลังจากการแช่เมล็ดถั่วในน้ำเป็นเวลา 36-48 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเซลล์ทางด้านความยาว ทำให้ได้ถั่วงอกที่มีลักษณะไม่มีรากและลำต้นอวบอ้วน นอกจากนี้ยังสามารถทำให้ถั่วงอกที่ทำการเพาะได้มีความกรอบเพิ่มขึ้น เนื่องจากผนังเซลล์มีความหนาขึ้น และมีปริมาณสารลิกนิน (LIGNIN) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นถั่วงอกที่มีคุณภาพเป็นที่พอใจของผู้บริโภค (CHANG,1983) สำหรับการเพาะถั่วงอกแหล่งใหญ่ๆทั้งในกรุงเทพมหานครและต่างจังหวัด ส่วนมากนิยมเพาะ 3 วิธี ดังนี้

(1) การเพาะด้วยทราย
(2) การเพาะด้วยขี้เถ้าแกลบ
(3) การเพาะด้วยน้ำ

2.8.1 การเพาะถั่วงอกด้วยทราย วิธีการเพาะถั่วงอกนี้เหมาะสำหรับแหล่งเพาะที่อยู่ใกล้กับแม่น้ำ มีหาดทรายอยู่ใกล้ชายฝั่ง การเพาะถั่วงอกด้วยวิธีนี้แหล่งใหญ่อยู่ที่จังหวัดเชียงใหม่ ปัจจุบันการเพาะถั่วงอกด้วยทรายไม่ค่อยพบและนิยม การเพาะถั่วงอกด้วยทรายมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการเพาะดังนี้

1. หลุมทรายสำหรับเพาะถั่วงอก เป็นหลุมทรายที่อยู่บริเวณหาดทรายริมแม่น้ำ

Copyright by Mahidol University

36693 1104984

2. ตะแกรงไม้ไผ่สำหรับร่อนแยกถั่วงอก หลังจากการเพาะถั่วงอกสิ้นสุดลง เพื่อแยกถั่วงอกออกจากเปลือกถั่วเขียว โดยมีขนาดหน้ากว้าง 30 นิ้ว และความลึกจากปากตะแกรงถึงก้นตะแกรง 16 นิ้ว

ขั้นตอนการเพาะถั่วงอกด้วยทราย มีดังนี้

-การคัดเมล็ด ในการคัดเลือกถั่วเขียวที่จะนำมาเพาะนั้นมีความสำคัญมาก เพราะถ้าเลือกถั่วเขียวไม่ดีมาเพาะถั่วจะเน่าได้ง่าย ถั่วเขียวที่จะนำมาเพาะส่วนมากจะนิยมใช้ถั่วเขียวพันธุ์ผิวมัน ลักษณะของถั่วเขียวที่ดีควรมีเมล็ดโตและสม่ำเสมอ ไม่มีถั่วหินเศษหิน ดิน กรวด ทรายปะปน และควรเป็นถั่วเกรด 1 ซึ่งมีราคาประมาณหาบละ 560-600 บาท ลักษณะของถั่วเขียวที่ไม่ควรนำมาเพาะ คือ ถั่วที่มีเมล็ดไม่สม่ำเสมอ โตบ้างเล็กบ้าง มีถั่วหิน เศษกรวด ดิน หินปะปนอยู่มาก และถั่วที่คลุกสารพิษฆ่าแมลงป้องกันตัวมอด

-การล้างและแช่เมล็ด ก่อนที่จะนำเมล็ดถั่วเขียวไปเพาะ จะทำการล้างเมล็ดถั่วเขียวด้วยน้ำผสมสารส้ม และแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำเปล่าจนเมล็ดพองและเริ่มปริจึงหยุดการแช่เมล็ดถั่วเขียว เมล็ดถั่วเขียวที่เสีย ลีบ จะลอยอยู่บนผิวน้ำซึ่งถั่วเขียวพวกนี้จะคัดทิ้งไปไม่ใช้ในการพาะเนื่องจากจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ถั่วเน่าได้ จากนั้นจึงนำเมล็ดถั่วเขียวลงถังเพาะ

-การลงหลุมเพาะ หลุมเพาะที่ใช้ในวิธีนี้ใเป็นหลุมทรายที่ขุดขึ้นในบริเวณหาดทรายริมแม่น้ำ และเป็นบริเวณที่ระดับน้ำขึ้นไม่ถึง เนื่องจากระดับน้ำที่ขึ้นจะก่อให้เกิดความเสียหายให้แก่ถั่วงอกที่ทำการเพาะได้ ก่อนนำถั่วเขียวลงเพาะจะใช้ไม้ตีเป็นตารางรองอยู่ชั้นหนึ่ง แล้วใช้ใบตองกรุทับบนไม้รองอีกที จากนั้นจึงหว่านเมล็ดถั่วเขียวที่แช่น้ำจนเริ่มปริลงในหลุมเพาะ สำหรับความลึกของหลุมเพาะไม่ควรลึกมากกว่า 1 ฟุต ความกว้างของหลุมเพาะนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้เพาะ เมื่อหว่านเมล็ดถั่วเขียวลงในหลุมเพาะแล้ว ทำการโรยทรายกลบปากหลุมมีความสูง 30 เซนติเมตร และนำกิ่งไม้ที่มีหนามมาล้อมหลุมเพาะไว้ เพื่อป้องกันการคุ้ยเขี่ยของสัตว์

-การรดน้ำ เมื่อทำการหว่านเมล็ดถั่วเขียวลงในหลุมเพาะแล้ว จะทำการรดน้ำลงในหลุมเพาะโดยทำการรดน้ำวันละ 2 ครั้ง (เช้า-เย็น) โดยใช้น้ำในแม่น้ำนั้นเป็นน้ำที่ใช้รดถั่วงอกที่ทำการเพาะ

-การถอนและล้างถั่วงอก หลังจากเพาะถั่วแล้ว 3 วัน ก็ทำการเก็บและล้างเปลือกถั่วเขียวออกจากถั่วงอก โดยวิธีการที่สะดวกและประหยัดที่สุดในการล้างและแยกถั่วงอกออกจากเปลือกถั่ว

Copyright by Mahidol University

เขียว คือ การนำถั่วงอกไปล้างที่ชายฝั่งแม่น้ำ โดยหลุมเพาะอยู่ใกล้กับแม่น้ำจุดใดก็นำถั่วงอกไปล้างที่จุดนั้น ซึ่งวิธีการล้างเพื่อแยกถั่วงอกออกจากเปลือกถั่วเขียว คือ การนำถั่วงอกใส่ลงในตะแกรงร่อนแล้วนำไปร่อนที่แม่น้ำ การล้างถั่วงอกที่เพาะด้วยทรายสามารถทำได้สะดวกและรวดเร็ว เนื่องจากการเพาะถั่วงอกด้วยทรายจะมีเพียงทรายและเปลือกถั่วเขียวที่ทำให้ถั่วงอกสกปรก ทั้งนี้ทรายและเปลือกถั่วเขียวสามารถล้างออกจากถั่วงอกได้โดยง่าย การล้างทำความสะอาดถั่วงอกในแม่น้ำทำเพียงร่อนตะแกรงถั่วงอกลงในแม่น้ำ เปลือกถั่วเขียวก็จะลอยขึ้นมาเหนือผิวน้ำส่วนทรายก็หลุดลงในแม่น้ำ การล้างถั่วงอกที่เพาะด้วยทรายจึงใช้เวลาไม่นาน

ลักษณะของถั่วงอกที่เพาะด้วยทราย จะได้ถั่วงอกที่มีลำต้นสั้น ขาวอวบอ้วน กลม รากสั้น มีความกรอบ แต่มักจะเสียหายได้เนื่องจากถั่วงอกมีการแทงรากเข้าไปในใบตอง ทำให้การถอนถั่วงอกมีความลำบากและเกิดการหักของลำต้นได้

ปัญหาและอุปสรรคของการเพาะถั่วงอกด้วยทราย

-ปัญหาการขุดเปลี่ยนหลุมเพาะบ่อยครั้ง

-ปัญหาเปลือกถั่วเขียวที่ล้างทิ้งลงสู่แม่น้ำ

-ปัญหาการหักของต้นถั่วงอกที่เกิดจากการถอนถั่วงอก

-ปัญหาอายุการใช้งานของตะแกรงร่อนถั่วงอกที่มีอายุการใช้งานสั้น ตะแกรงร่อนลูกหนึ่งใช้งานได้สูงสุดประมาณ 1 เดือน ใช้ไปนานตาก็จะห่างทำให้ถั่วลอดออกมามาก ตะแกรงลูกหนึ่งราคาประมาณ 60 บาท

-ปัญหาความเค็มของน้ำในแม่น้ำที่ทำให้ถั่วงอกที่เพาะได้มีรากดำ

-ข้อจำกัดในเรื่องสถานที่เพาะ โดยแหล่งเพาะถั่วงอกด้วยทรายจะต้องอยู่ใกล้กับแม่น้ำที่มีหาดทรายสำหรับทำหลุมเพาะถั่วงอก

2.8.2 การเพาะถั่วงอกด้วยขี้เถ้าแกลบ แหล่งเพาะใหญ่อยู่ที่ อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี ซึ่งในอดีตมีการเพาะถั่วงอกตามหาดทรายแต่ในปัจจุบันไม่มีหาดทรายให้เพาะถั่วงอกกันแล้ว เนื่องจากถูกเรือดูดทราย ดูดทรายจนตลิ่งพังหมด เมื่อไม่มีหาดทรายแล้วชาวบ้านที่มีอาชีพเพาะถั่วงอกขายก็หันมาใช้ขี้เถ้าแกลบโรงสีเพาะถั่วงอกแทน อย่างไรก็ตามการเพาะถั่วงอกด้วยขี้เถ้าแกลบนี้โรงเพาะควรจะอยู่ใกล้แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง เพื่อสะดวกต่อการล้างขี้เถ้าแกลบออกจากถั่วงอก การเพาะถั่วงอกด้วยขี้เถ้าแกลบมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการเพาะดังนี้

Copyright by Mahidol University

1. โรงเรือนสำหรับเพาะถั่วงอก หรือที่ชาวบ้านนิยมเรียกว่า "เล้า"

2. ตะแกรงไม้ไผ่สำหรับร่อนแยกถั่วงอก หลังจากการเพาะเสร็จสิ้นลงเพื่อแยกถั่วงอกออกจากขี้เถ้าแกลบ โดยมีขนาดหน้ากว้าง 30 นิ้ว และความลึกจากก้นตะแกรงถึงปากตะแกรง 16 นิ้ว

3. ปี๊บเพาะถั่วงอก เจาะรูที่ก้นปี๊บให้น้ำระบายได้

4. ขี้เถ้าแกลบโรงสี ใช้เป็นวัสดุเพาะ

5. บ่อน้ำและเครื่องสูบน้ำพร้อมสายยาง

6. รถกระบะสองล้อสำหรับบรรทุกปี๊บถั่วงอกไปล้างที่แม่น้ำ

<u>ขั้นตอนการเพาะถั่วงอกด้วยขี้เถ้าแกลบ</u> มีดังนี้

-การคัดเมล็ด ในการคัดเลือกถั่วเขียวที่จะนำมาเพาะนั้นมีความสำคัญมาก เพราะถ้าเลือกถั่วเขียวไม่ดีมาเพาะถั่วจะเน่าได้ง่าย ถั่วเขียวที่จะนำมาเพาะส่วนมากจะนิยมใช้ถั่วเขียวพันธุ์ผิวมัน ลักษณะของถั่วเขียวที่ดีควรมีเมล็ดโตและสม่ำเสมอ ไม่มีถั่วหินเศษหิน ดิน กรวด ทรายปะปน และควรเป็นถั่วเกรด 1 ซึ่งมีราคาประมาณหาบละ 560-600 บาท ลักษณะของถั่วเขียวที่ไม่ควรนำมาเพาะ คือ ถั่วที่มีเมล็ดไม่สม่ำเสมอ โตบ้างเล็กบ้าง มีถั่วหิน เศษกรวด ดิน หินปะปนอยู่มาก และถั่วที่คลุกสารพิษฆ่าแมลงป้องกันตัวมอด

-การล้างและแช่เมล็ด ก่อนที่จะนำเมล็ดถั่วเขียวไปเพาะ จะทำการล้างเมล็ดถั่วเขียวด้วยน้ำผสมสารส้ม และแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำเปล่าจนเมล็ดพองและเริ่มปริจึงหยุดการแช่เมล็ดถั่วเขียว เมล็ดถั่วเขียวที่เสีย ลีบ จะลอยอยู่บนผิวน้ำซึ่งถั่วเขียวพวกนี้จะคัดทิ้งไปไม่ใช้ในการพาะเนื่องจากจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ถั่วเน่าได้ จากนั้นจึงนำเมล็ดถั่วเขียวที่ดีลงถังเพาะ

-การลงถังเพาะ ถังเพาะที่ใช้ในวิธีนี้ใช้ปี๊บซึ่งมีการเจาะรูที่ก้นปี๊บ เพื่อให้น้ำระบายได้สะดวก ก่อนนำถั่วเขียวลงเพาะจะใช้ไม้ตีเป็นตารางรองอยู่ชั้นหนึ่ง แล้วใช้ใบตองกรุทับบนไม้รองอีกที จากนั้นตักขี้เถ้าแกลบโรงสีใส่ลงไปในปี๊บให้หนาพอสมควร แล้วจึงหว่านเมล็ดถั่วเขียวที่แช่น้ำจนเริ่มปริลงบนชั้นของขี้เถ้า สำหรับความหนาของขี้เถ้าแต่ละชั้นนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้เพาะ คือถ้าต้องการถั่วงอกอ้วน สั้น ก็ให้ชั้นของขี้เถ้าหนามาก ถ้าให้ชั้นของขี้เถ้าบางถั่วงอกที่เพาะได้จะมีลักษณะผอมยาว อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะให้ชั้นของขี้เถ้าหนาหรือบางเมื่อหว่านเมล็ดถั่วเขียวเสร็จขี้เถ้าในปี๊บจะมีปริมาณครึ่งปี๊บกว่า เมื่อนำเมล็ดถั่วเขียวลงถังเพาะเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการหาบขนย้ายปี๊บถั่วงอกเข้าโรงเพาะ

Copyright by Mahidol University

-การรดน้ำ เมื่อทำการหาบขนย้ายปี๊บถั่วงอกเข้าโรงเพาะเรียบร้อยแล้ว ใช้สายยางต่อน้ำรดลงในปี๊บ การรดน้ำลงในปี๊บจะทำการรด 1-2 ครั้ง เมื่อรดน้ำเสร็จแล้วจะต้องเอียงปี๊บให้น้ำไหลออกได้ง่ายไม่ขังแฉะ ถ้าไม่เอียงปี๊บถั่วจะเน่าเสียหาย

-การถอนและล้างถั่วงอก หลังจากเพาะถั่วแล้ว 3 วัน ก็ทำการถอนและล้างขี้เถ้าแกลบออกจากถั่วงอก โดยวิธีการที่สะดวกและประหยัดที่สุดในการล้างและแยกถั่วงอกออกจากขี้เถ้าแกลบ คือ การนำถั่วงอกไปล้างที่ชายฝั่งแม่น้ำ โดยโรงเพาะอยู่ใกล้กับแม่น้ำจุดใดก็นำถั่วงอกไปล้างที่จุดนั้น ซึ่งการบรรทุกถั่วงอกไปล้างจะใช้รถสองล้อเครื่องลากจูงรถกระบะบรรทุกปี๊บถั่วงอกไปที่แม่น้ำ ปี๊บ 1 ใบ จะมีถั่วงอก 12-13 กิโลกรัม การล้างถั่วงอกแต่ละปี๊บใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที ถ้าใช้เวลาในการล้างนานมากเท่าไหร่ถั่วงอกจะขาวมากเท่านั้น

<u>ลักษณะของถั่วงอกที่เพาะด้วยขี้เถ้าแกลบ</u> จะได้ถั่วงอกที่มีลำต้นสั้น ขาวอวบอ้วน หัวจะขาวไม่มีสีเขียวปน พบว่าถั่วงอกที่อยู่บริเวณก้นปี๊บจะมีความอ้วนไม่สม่ำเสมอ และมักจะเสียหายมากเนื่องจากถั่วมีการแทงรากเข้าไปในใบตอง ทำให้การถอนถั่วงอกมีความลำบากและเกิดการหักของลำต้น

<u>ปัญหาและอุปสรรคของการเพาะถั่วงอกด้วยขี้เถ้าแกลบ</u>

-ปัญหาการเน่าของถั่วงอกที่มีสาเหตุมาจากน้ำที่ใช้รดถั่วงอก

-ปัญหาขี้เถ้าแกลบที่ล้างทิ้งลงสู่แม่น้ำ

-ปัญหาการหักของต้นถั่วงอกที่เกิดจากการถอนถั่วงอก

-ปัญหาอายุการใช้งานของปี๊บและตะแกรงร่อนถั่วงอกที่มีอายุการใช้งานสั้น ตะแกรงร่อนลูกหนึ่งใช้งานได้สูงสุดประมาณ 1 เดือน ใช้ไปนานตาก็จะห่างทำให้ถั่วลอดออกมามาก ตะแกรงลูกหนึ่งราคาประมาณ 60 บาท ในกรณีปี๊บซึ่งเป็นโลหะ เมื่อใช้งานในลักษณะที่ถูกน้ำตลอดเวลา ปัญหาที่พบก็จะเป็นเรื่องของการขึ้นสนิมซึ่งทำให้ปี๊บผุไว

-ข้อจำกัดในเรื่องที่ตั้งของแหล่งเพาะถั่วงอกด้วยขี้เถ้าแกลบจะต้องอยู่ใกล้แม่น้ำ

2.8.3 การเพาะถั่วงอกด้วยน้ำ วิธีการเพาะถั่วงอกนี้ เป็นวิธีการเพาะที่ไม่ต้องใช้วัสดุเพาะร่วมกับถั่วเขียว และเป็นวิธีการที่นิยมและแพร่หลายที่สุดในการเพาะถั่วงอกทั้ง 3 วิธี เนื่องจากมีวิธีการเพาะที่ง่าย ข้อจำกัดในการเพาะน้อย ถั่วงอกที่เพาะได้มีคุณภาพที่ดี และวิธีการเพาะนี้ไม่สร้างมลภาวะให้สภาพแวดล้อม สำหรับแหล่งเพาะถั่วงอกวิธีนี้มีแหล่งเพาะอยู่ทั่วไป เช่น จังหวัดปราจีนบุรี จังหวัดขอนแก่น จังหวัดสุพรรณบุรี การเพาะถั่วงอกด้วยน้ำมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการเพาะดังนี้

Copyright by Mahidol University

1. โรงเรือนสำหรับเพาะถั่วงอก หรือที่ชาวบ้านนิยมเรียกว่า "เล้า"
2. ถังสำหรับใช้เป็นถังเพาะ เจาะรูที่ก้นถังให้น้ำระบายได้
3. บ่อน้ำและเครื่องสูบน้ำพร้อมสายยาง

ขั้นตอนการเพาะถั่วงอกด้วยน้ำ มีดังนี้

-การคัดเมล็ด ในการคัดเลือกถั่วเขียวที่จะนำมาเพาะนั้นมีความสำคัญมาก เพราะถ้าเลือกถั่วเขียวไม่ดีมาเพาะถั่วจะเน่าได้ง่าย ถั่วเขียวที่จะนำมาเพาะส่วนมากจะนิยมใช้ถั่วเขียวพันธุ์ผิวมัน ลักษณะของถั่วเขียวที่ดีควรมีเมล็ดโตและสม่ำเสมอ ไม่มีถั่วหินเศษหิน ดิน กรวด ทรายปะปน และควรเป็นถั่วเกรด 1 ซึ่งมีราคาประมาณหาบละ 560-600 บาท ลักษณะของถั่วเขียวที่ไม่ควรนำมาเพาะ คือ ถั่วที่มีเมล็ดไม่สม่ำเสมอ โตบ้างเล็กบ้าง มีถั่วหิน เศษกรวด ดิน หินปะปนอยู่มาก และถั่วที่คลุกสารพิษฆ่าแมลงป้องกันตัวมอด

-การล้างและแช่เมล็ด ก่อนที่จะนำเมล็ดถั่วเขียวไปเพาะ จะทำการล้างเมล็ดถั่วเขียวด้วยน้ำบาดาลจนเมล็ดถั่วเขียวสะอาด จากนั้นทำการแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำผสมปูนแดงขนาดประมาณปลายนิ้วก้อย แช่น้ำให้ท่วมเมล็ดถั่วเขียวขึ้นมาประมาณ 1 ฝ่ามือ ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ 4 ชั่วโมง ถ้าเป็นฤดูหนาวจะต้องผสมน้ำอุ่นในการแช่เมล็ดด้วย เมล็ดถั่วเขียวที่เสีย ลีบ จะลอยอยู่บนผิวน้ำซึ่งถั่วเขียวพวกนี้จะคัดทิ้งไปไม่ใช้ในการพาะเนื่องจากจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ถั่วเน่าได้ จากนั้นจึงนำเมล็ดถั่วเขียวที่ดีลงถังเพาะ

-การลงถังเพาะ ถังเพาะที่ใช้ในวิธีนี้ใช้ถังเพาะที่มีการเจาะรูที่ก้นถัง เพื่อให้น้ำระบายได้สะดวก ก่อนนำถั่วเขียวลงเพาะจะใช้กาบมะพร้าวอุดรูเพื่อป้องกันเมล็ดถั่วเขียวไหลออกนอกถังเพาะ จากนั้นหว่านเมล็ดถั่วเขียวที่ผ่านการแช่น้ำแล้วลงในถังเพาะ เมื่อนำเมล็ดถั่วเขียวลงถังเพาะเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการปิดถังด้วยกระสอบเปียกเพื่อป้องกันแสงแดดและเพิ่มความชื้นให้แก่เมล็ดถั่ว

-การรดน้ำ เมื่อทำการลงถังเพาะเรียบร้อยแล้ว ใช้สายยางต่อน้ำรดลงในถังเพาะทุกๆ 3 ชั่วโมง ถ้าเป็นฤดูหนาวจะยืดระยะห่างในการรดน้ำออกไปเป็น 4 ชั่วโมง การรดน้ำลงในถังเพาะจะทำการรดจนกว่าน้ำที่ผ่านออกมาจากถังเพาะ จะมีอุณหภูมิอยู่ในระดับเดียวกันกับน้ำที่ยังไม่ได้ใช้รด

-การถอนและล้างถั่วงอก หลังจากเพาะถั่วแล้ว 3 วัน ก็ทำการถอนและล้างเปลือกถั่วเขียวออกจากถั่วงอก โดยวิธีการล้างเพื่อแยกถั่วงอกออกจากเปลือกถั่วเขียว คือ การนำถั่วงอกไปล้างใน

Copyright by Mahidol University

กะละมังที่บรรจุน้ำไว้เกือบเต็ม ในถังเพาะหนึ่งจะมีถั่วงอก 7 กิโลกรัม จากถั่วเขียว 1 กิโลกรัม การล้างถั่วงอกที่เพาะด้วยน้ำสามารถทำได้สะดวกและรวดเร็วมาก เนื่องจากการเพาะถั่วงอกด้วยน้ำจะไม่มีวัสดุเพาะอื่นที่ทำให้ถั่วงอกสกปรก ดังนั้นถั่วงอกที่เพาะด้วยน้ำจึงมีเพียงเปลือกถั่วเขียวเท่านั้นที่ปะปนมา การล้างทำความสะอาดทำเพียงแช่ถั่วงอกลงในกะละมังที่บรรจุน้ำไว้ เปลือกถั่วเขียวก็จะลอยขึ้นมาเหนือผิวน้ำ และสามารถช้อนเปลือกถั่วเขียวไปทิ้งได้อย่างสะดวก การล้างถั่วงอกถังเพาะหนึ่งจึงใช้เวลาเพียง 1 นาที

ลักษณะของถั่วงอกที่เพาะด้วยน้ำ จะได้ถั่วงอกที่มีลำต้นสั้น ขาวอวบอ้วน รากสั้น หัวจะขาวไม่มีสีเขียวปน มีความหอมและกรอบอร่อย

ปัญหาและอุปสรรคของการเพาะถั่วงอกด้วยน้ำ

-ปัญหาการใช้น้ำในการรดถั่วงอกซึ่งต้องใช้น้ำในปริมาณมาก

-ปัญหาการใช้แรงงานในการรดน้ำถั่วงอกซึ่งต้องรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง

-ปัญหาถั่วงอกบริเวณด้านบนของถังเพาะจะมีถั่วงอกหัวเขียวงอกปะปนมาเนื่องจากการงอกของใบเลี้ยง

จากเทคโนโลยีการเพาะถั่วงอกเชิงพาณิชย์ทั้ง 3 เทคโนโลยี จะเห็นว่าในแต่ละเทคโนโลยีจะมีความเด่นความด้อยและข้อจำกัดต่างๆที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งสามารถรวบรวมไว้ในประเด็นที่น่าสนใจ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลการผลิตถั่วงอกเชิงพาณิชย์

ประเด็นที่ใช้ในการพิจารณา	การเพาะด้วยทราย[1]	การเพาะด้วยขี้เถ้า[2]	การเพาะด้วยน้ำ[3]
1. ต้นทุนการผลิต	16-18 บาท	25 บาท	22 บาท
2. ปริมาณการผลิต/ถั่วเขียว 1 Kg	6 Kg	6 Kg	7 Kg
3. ระยะเวลาการเพาะ	3 วัน	3 วัน	3 วัน
4. สถานที่ที่ใช้เพาะ	หาดทรายแม่น้ำ	โรงเรือนใกล้แม่น้ำ	โรงเรือน
5. ลักษณะถั่วงอกที่ได้	ขาว อวบ กรอบ	ขาวอวบ หัวขาว	ขาว อวบ กรอบ
6. ความเสียหายที่เกิดจากการเพาะ	รากดำ ลำต้นหัก	ลำต้นหัก	หัวมีสีเขียว
7. ของเสียที่เกิดจากการเพาะ	เปลือกถั่วเขียว	ขี้เถ้า เปลือกถั่ว	เปลือกถั่วเขียว

ที่มา 1 ป.ประมณฑ์ปัญญา,2528

2 ป.ประมณฑ์ปัญญา,2528

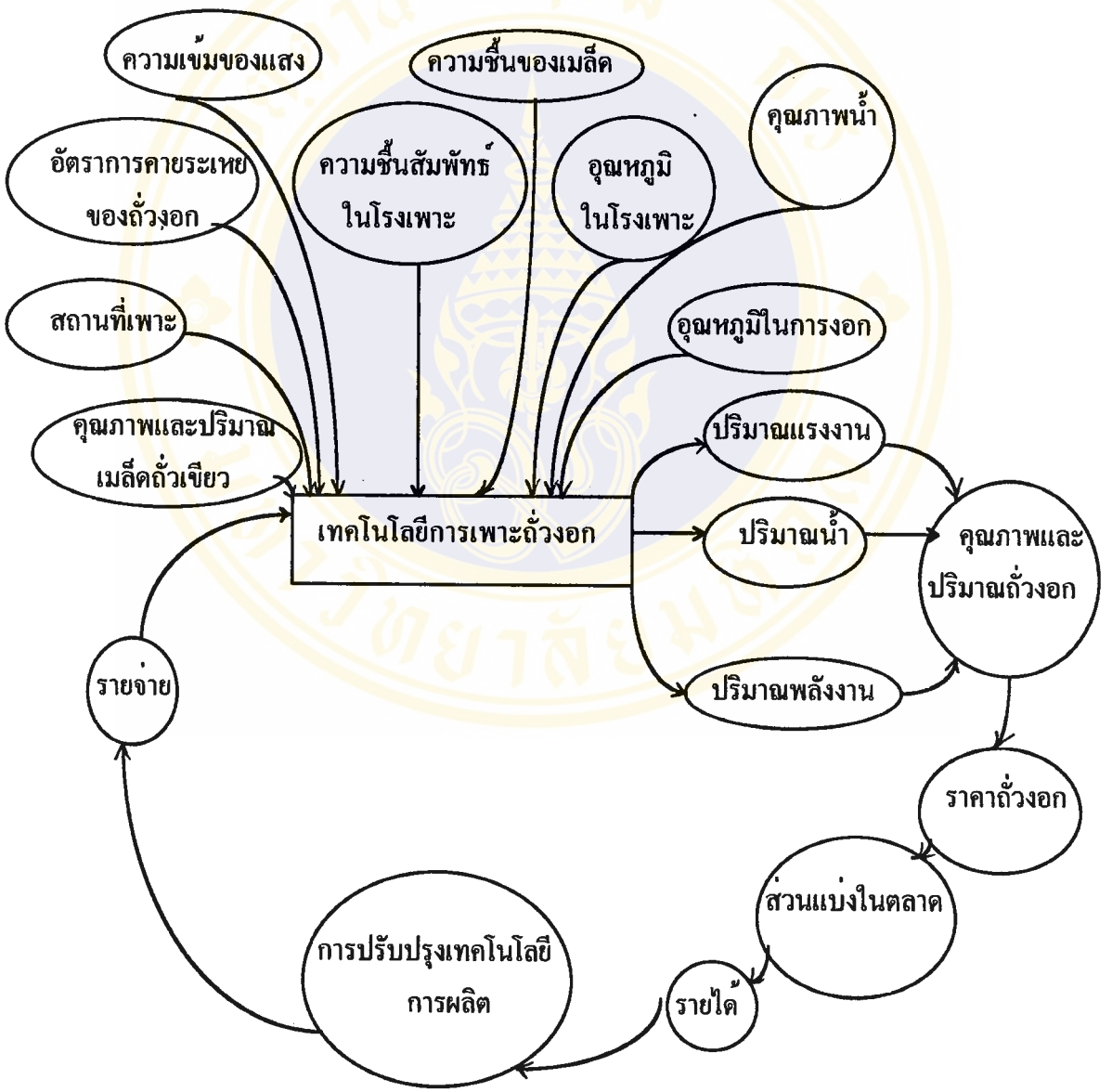
3 บัญญัติ ศุภพิมล,2538

จากข้อมูลการเปรียบเทียบในตารางที่ 2.1 ซึ่งมีประเด็นที่ใช้ในการพิจารณาเป็นประเด็นที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะถั่วงอกเชิงพาณิชย์ และมีความสำคัญต่อการเลือกเทคโนโลยีการเพาะถั่วงอกที่เลือกศึกษาในการศึกษาครั้งนี้ เทคโนโลยีการเพาะถั่วงอกเชิงพาณิชย์ที่สามารถพัฒนาให้เป็นระบบการผลิตที่เป็นสากลและเป็นระบบการผลิตที่ได้มาตรฐานนั้น ควรที่จะเป็นเทคโนโลยีการผลิตที่มีข้อจำกัดในการผลิตน้อย สามารถที่จะเผยแพร่และนำไปใช้ในสถานที่ต่างๆได้ นอกจากนี้ควรจะเป็นเทคโนโลยีการผลิต ที่ก่อภาระให้แก่สิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดและง่ายต่อการควบคุมมลพิษมากที่สุด เนื่องจากในสมัยต่อไปปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากอุตสาหกรรมการผลิต จะเป็นปัญหาหนึ่งที่เป็นภาระต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมหาศาล ซึ่งอุตสาหกรรมการผลิตถั่วงอกนับว่าเป็นอุตสาหกรรมการเกษตรชนิดหนึ่งที่สามารถสร้างปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต ดังนั้นการที่จะพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะถั่วงอกชนิดใดให้เป็นอุตสาหกรรม จึงต้องเลือกสรรเทคโนโลยีที่ก่อภาระให้แก่สิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเช่นกัน การศึกษาในครั้งนี้จึงเลือกที่จะศึกษาเทคโนโลยีการพาะถั่วงอกด้วยน้ำ เนื่องจากมีลักษณะตรงกับข้อกำหนดในการเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สามารถพัฒนาให้มีระบบการผลิตที่เป็นสากลและมีระบบการผลิตที่เป็นมาตรฐานมากที่สุด

Copyright by Mahidol University

จากการทบทวนวรรณกรรม จะเห็นว่าเทคโนโลยีการเพาะถั่วงอกมีหลายวิธี และแต่ละวิธีจะมีปัจจัยในการผลิตแตกต่างกัน แต่โดยหลักการแล้วเทคโนโลยีการผลิตที่เป็นแกนหลักยังคงเป็นเทคโนโลยีอันเดียวกัน ซึ่งสามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตถั่วงอก ตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการผลิตจนกระทั่งถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิต ได้ดังนี้

ภาพที่ 2.8 แสดงวงจรความสัมพันธ์ในกระบวนการผลิตถั่วงอก



Copyright by Mahidol University

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

การดำเนินงานวิจัยในการศึกษาครั้งนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการเตรียมการ
3.2 ขั้นตอนการสำรวจข้อมูล
3.3 ขั้นตอนการทดลองและออกข้อกำหนด
3.4 ขั้นตอนการเก็บและบันทึกข้อมูล
3.5 ขั้นตอนการประมวลและวิเคราะห์ข้อมูล

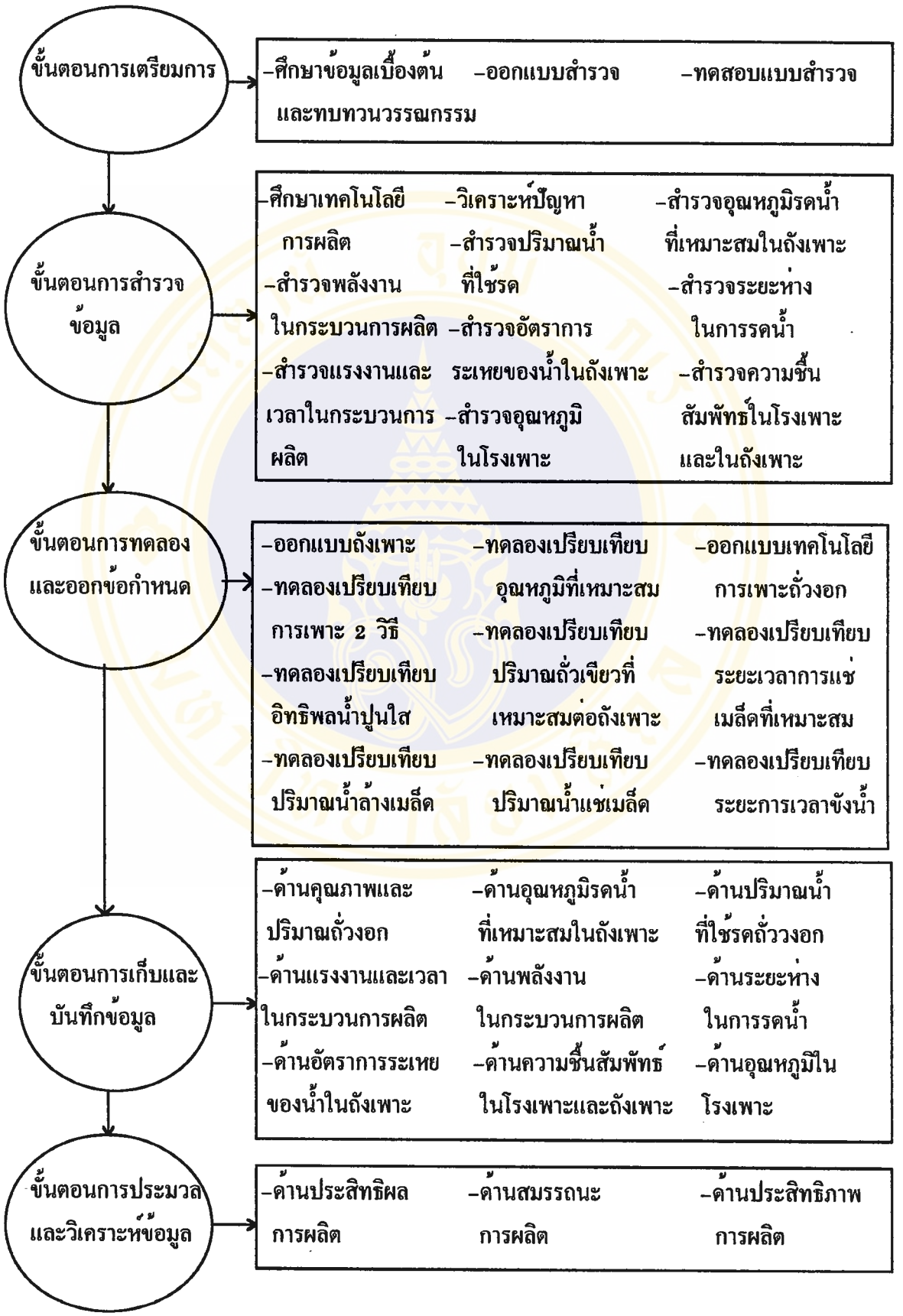
3.1 ขั้นตอนการเตรียมการ

3.1.1 การศึกษาหาข้อมูลเบื้องต้นและทบทวนวรรณกรรม เป็นการค้นคว้าข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่ศึกษาทั้งหมดที่สามารถค้นคว้าได้ ไม่ว่าจะเป็นลักษณะของถั่วงอกสด คุณค่าทางโภชนาการของถั่วงอกสด ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วเขียว ทฤษฎีการงอก การผลิตและการตลาดของถั่วงอกสด เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม การจัดการวิศวกรรมการผลิต รวมถึงเศรษฐศาสตร์เชิงวิศวกรรม ตามห้องสมุดหรือหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น ห้องสมุดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ห้องสมุดสถาบันค้นคว้าและวิจัยผลิตภัณฑ์อาหาร ห้องสมุดสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ กรมโรงงานอุตสาหกรรม สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา สถาบันอาหารและโภชนาการ

3.1.2 การออกแบบสำรวจขั้นตอนเทคโนโลยีการผลิตถั่วงอกระบบการแพาะด้วยน้ำในถังแพาะ ซึ่งเป็นการศึกษาเพื่อหาข้อมูลที่ต้องการเพิ่มเติม เนื่องจากการวิจัยเชิงสำรวจในขั้นแรกนั้นยังขาดความสมบูรณ์ ข้อมูลส่วนใหญ่ไม่มีการเก็บรวบรวมและบันทึกไว้ก่อให้เกิดความขาดตอนในการศึกษา เพื่อให้การศึกษาครั้งนี้มีความสมบูรณ์จึงมีความจำเป็นที่ต้องใช้ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยเชิงสำรวจประกอบการศึกษา โดยใช้การออกแบบสอบถามที่มีประเด็นตรงกับข้อมูลที่ขาดไปและต้องการเพิ่มเติม ได้แก่ ปัจจัยการผลิตที่ใช้ ปริมาณผลผลิตที่ผลิตได้ ราคาผลผลิต ต้นทุนการผลิต แหล่งของปัจจัยการผลิต ของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต การใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต ตลอดจนตลาดการค้าของถั่วงอก

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 3.1 แสดงแผนภาพขบวนการศึกษา



Copyright by Mahidol University

3.1.3 <u>ทดสอบแบบสำรวจและปรับปรุงแก้ไขแบบสำรวจ</u> ก่อนออกทำการเก็บข้อมูลภาคสนาม

3.2 ขั้นตอนการสำรวจข้อมูล

3.2.1 <u>การสำรวจขั้นตอนเทคโนโลยีในการผลิตระบบการเพาะด้วยน้ำในถังเพาะ</u> ซึ่งในขั้นนี้ใช้แบบสำรวจและสอบถามผู้ที่มีประสบการณ์ในการผลิต และทำการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.2 <u>การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากกระบวนการผลิต</u> โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาทางด้านแรงงานและเวลาที่ใช้ในขบวนการผลิต ตลอดจนปัญหาที่มีต่อคุณภาพและปริมาณผลผลิต

3.2.3 <u>การสำรวจอุณหภูมิรดน้ำที่เหมาะสมของถั่วงอกในถังเพาะ</u> ซึ่งทำการสำรวจจากระบบการผลิตจริง โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่ทำการติดตั้งอยู่ภายในถังเพาะ โดยทำการติดตั้งไว้ 3 จุด แบ่งเป็น ถังเพาะตอนบน 1 จุด ถังเพาะตอนกลาง 1 จุด และถังเพาะตอนล่าง 1 จุด วัดอุณหภูมิก่อนทำการรดน้ำและอุณหภูมิภายหลังทำการรดน้ำ ตลอดระยะเวลาการเพาะ ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ และนำอุณหภูมิที่วัดได้ในแต่ละบริเวณ มาทำการเฉลี่ยเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอก ซึ่งวางแผนการสำรวจในขั้นตอนนี้ 3 ซ้ำ

3.2.4 <u>การสำรวจปริมาณน้ำที่ใช้รดถั่วงอก</u> ซึ่งทำการสำรวจจากระบบการผลิตจริง ตลอดระยะเวลาการเพาะ โดยใช้อุปกรณ์ที่ทราบปริมาตรเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทำการรดน้ำ ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสิ้นสุดการเพาะ ซึ่งวางแผนการสำรวจในขั้นตอนนี้ 3 ซ้ำ

3.2.5 <u>การสำรวจระยะห่างในการรดน้ำถั่วงอกแต่ละครั้ง</u> ทำการสำรวจจากระบบการผลิตจริงตลอดเวลาการเพาะ โดยใช้การจับเวลาระยะห่างของการรดน้ำในแต่ละครั้ง ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ ซึ่งวางแผนการสำรวจในขั้นตอนนี้ 3 ซ้ำ

3.2.6 <u>การสำรวจคุณภาพน้ำที่ใช้รดถั่วงอก</u> ซึ่งทำการสำรวจจากระบบการผลิตจริง ตลอดระยะเวลาการเพาะ โดยทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ใช้ในกระบวนการเพาะถั่วงอก ก่อนและหลังการรดน้ำ เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้ดื่ม ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสิ้นสุดการเพาะ ซึ่งวางแผนการสำรวจในขั้นตอนนี้ 3 ซ้ำ

Copyright by Mahidol University

3.2.7 <u>การสำรวจพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตครั้ง</u> ทำการสำรวจจากระบบการผลิตจริงตลอดเวลาการเพาะ โดยการติดตั้งมาตรวัดกระแสไฟฟ้า วัดอัตราการบริโภคไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการรดน้ำถั่วงอก ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ ซึ่งวางแผนการสำรวจในขั้นตอนนี้ 3 ซ้ำ

3.2.8 <u>การสำรวจแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต</u> ทำการสำรวจจากระบบการผลิตจริงตลอดเวลาการเพาะ โดยใช้การคำนวณเวลา (ชั่วโมง) การทำงานที่ใช้ทำงานในกระบวนการเพาะถั่วงอก ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ ซึ่งวางแผนการสำรวจในขั้นตอนนี้ 3 ซ้ำ

3.2.9 <u>การสำรวจระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต</u> ทำการสำรวจจากระบบการผลิตจริงตลอดเวลาการเพาะ โดยใช้คุณภาพมาตรฐานของผลผลิตเป็นดัชนีชี้วัดวันสุดท้ายของการเพาะ ถ้าผลผลิตมีคุณภาพได้มาตราฐานเมื่อไรจะถือว่าวันนั้นเป็นวันสุดท้ายของการเพาะ แต่ถ้าคุณภาพผลผลิตยังไม่ได้มาตรฐานวันสุดท้ายของการเพาะจะไม่เกิน 3 วัน จะทำการสำรวจตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ ซึ่งวางแผนการสำรวจในขั้นตอนนี้ 3 ซ้ำ

3.2.10 <u>การสำรวจความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเพาะ</u> ทำการสำรวจจากระบบการผลิตจริงตลอดเวลาการเพาะ โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ คือ เทอร์โมมิเตอร์ชนิดกระเปาะเปียก (WET BULB THERMOMETER) และเทอร์โมมิเตอร์ชนิดกระเปาะแห้ง (DRY BULB THERMOMETER) ตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์อยู่ภายในถังเพาะ จะทำการสำรวจตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ ซึ่งวางแผนการสำรวจในขั้นตอนนี้ 3 ซ้ำ

3.2.11 <u>การสำรวจอัตราการระเหยของน้ำในถังเพาะ</u> ทำการสำรวจจากระบบการผลิตจริงตลอดเวลาการเพาะ โดยใช้ถาดวัดการระเหย (EVAPORTION PAN) ชนิด U.S. WEATHER BUREAU CLASS A วัดการระเหยของน้ำ โดยทำการวัดอัตราการระเหยของน้ำในสภาพบรรยากาศเดียวกันกับภายในถังเพาะ และทำการวัดทุกครั้งที่มีการรดน้ำถั่วงอก จะทำการสำรวจตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุท้ายของการเพาะ ซึ่งวางแผนในการสำรวจในขั้นตอนนี้ 3 ซ้ำ

3.2.12 <u>การสำรวจความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเพาะ</u> ทำการสำรวจจากระบบการผลิตจริง ตลอดเวลาการเพาะ โดยใช้อุปกรณ์ที่ชื่อว่า STEVENSON SCREEN ซึ่งมีลักษณะเป็นตู้และมีเทอร์โมมิเตอร์ชนิดกระเปาะเปียก (WET BULB THERMOMETER) และเทอร์โมมิเตอร์ชนิดกระเปาะแห้ง (DRY BULB THERMOMETER) อยู่ภายใน และใช้เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดความ

Copyright by Mahidol University

ชื้นสัมพัทธ์ในโรงเพาะ จะทำการสำรวจ ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ ซึ่งวางแผนการสำรวจในขั้นตอนนี้ 3 ซ้ำ

3.2.13 การสำรวจอุณหภูมิภายในโรงเพาะ ทำการสำรวจจากระบบการผลิตจริง ตลอดเวลาการเพาะ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ในการตรวจวัดอุณหภูมิภายในโรงเพาะ ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ ซึ่งวางแผนการสำรวจในขั้นตอนนี้ 3 ซ้ำ

3.2.14 การสำรวจความเข้มของแสงภายในโรงเพาะ ทำการสำรวจจากระบบการผลิตจริงตลอดระยะเวลาการเพาะ โดยใช้เครื่องมือวัดความเข้มแสง (LUX METER) ตรวจวัดความเข้มแสงภายในโรงเพาะ ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ ซึ่งวางแผนการสำรวจในขั้นตอนนี้ 3 ซ้ำ

3.3 ขั้นตอนการทดลองและออกข้อกำหนด

3.3.1 การออกแบบถังเพาะถั่วงอก ถังที่ใช้ในการเพาะถั่วงอกในการศึกษาครั้งนี้เป็นถังโลหะทำจากเหล็กชุบตะกั่ว โดยลักษณะของถังทั้ง 3 ด้านจะเป็นเหล็กชุบตะกั่ว ส่วนที่เหลือ 1 ด้านจะเป็นกระจกเพื่อสังเกตการเจริญเติบโตของถั่วงอก มีขนาดความกว้าง 5.65 นิ้ว ขนาดความยาว 6.75 นิ้ว ขนาดความสูง 9.50 นิ้ว ซึ่งถังที่กล่าวมาเป็นถังบรรจุขนมปังขนาดเล็กที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป โดยนำมาดัดแปลงเพื่อให้เหมาะสมกับการทดลอง ซึ่งถังเพาะที่ใช้ในการทดลองนี้สามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

1) ถังเพาะชนิดที่ 1 เป็นถังเพาะที่ใช้สำหรับผลิตถั่วงอกระบบน้ำผ่าน สามารถทำได้โดยการนำถังบรรจุขนมปังซึ่งมีขนาดตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้นมาทำการเจาะรูระบายน้ำบริเวณก้นถังเพาะจำนวน 20 รู โดยเจาะรูระบายน้ำเป็นแถว 4 แถว แถวละ 5 รู เพื่อให้น้ำไหลออกได้สะดวก

2) ถังเพาะชนิดที่ 2 เป็นถังเพาะที่ใช้สำหรับวัดระดับอุณหภูมิและผลิตถั่วงอกระบบน้ำผ่าน สามารถทำได้โดยวิธีการเดียวกันกับถังเพาะชนิดที่ 1 และจะมีวิธีการที่เพิ่มเติมขึ้นมาสำหรับการติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งทำได้โดยทำการเจาะรูเพื่อติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์บริเวณตอนบนของถังเพาะ 1 จุด บริเวณตอนกลางของถังเพาะทำการเจาะเพื่อติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ 1 จุด และบริเวณตอนล่างของถัง

Copyright by Mahidol University

เพาะทำการเจาะเพื่อติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ 1 จุด รวมบริเวณที่ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ทั้งสิ้น 3 จุด ในแต่ละจุดที่ทำการติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์จะห่างกัน 8 เซนติเมตร

3) ถังเพาะชนิดที่ 3 เป็นถังเพาะที่ใช้สำหรับผลิตถั่วงอกระบบน้ำขัง สามารถทำได้โดยการนำถังบรรจุขนมปังซึ่งมีขนาดตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้นมาทำการเจาะรูระบายน้ำบริเวณก้นถังเพาะจำนวน 5 รู โดยเจาะรูระบายน้ำตามมุมถัง 4 มุม และตรงกลางถัง 1 รู ทำการอุดรูระบายน้ำด้วยจุกยาง และทำการผนึกขอบกระจกด้านหน้าถังกับแผ่นโลหะของตัวถังให้ติดสนิทกันเพื่อป้องกันน้ำรั่วซึมออกจากถังเพาะในระหว่างการขังน้ำ

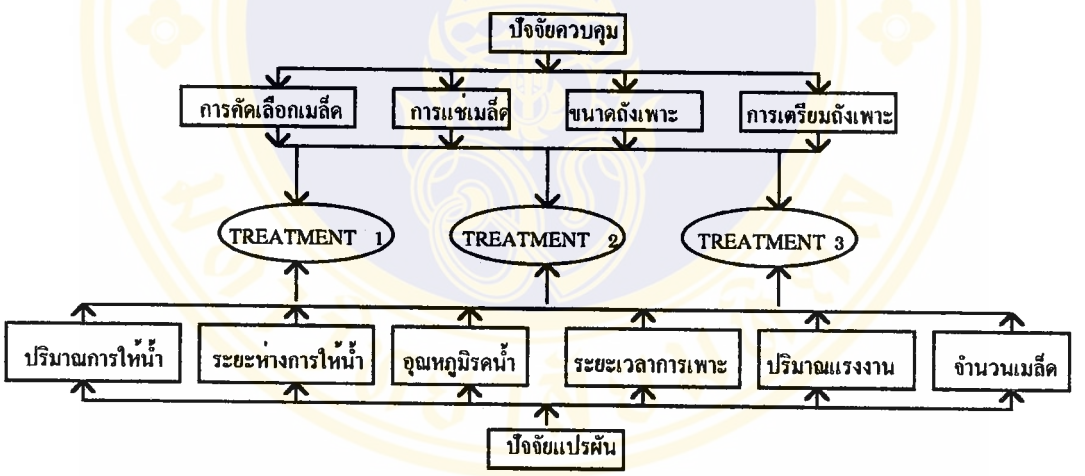
4) ถังเพาะชนิดที่ 4 เป็นถังเพาะที่ใช้สำหรับผลิตถั่วงอกระบบน้ำผ่านทรงเตี้ย สามารถทำได้โดยการนำถังพลาสติคบรรจุน้ำมันเครื่องขนาด 5 ลิตร นำมาทำความสะอาด จากนั้นทำการเจาะช่องด้านหน้าถังให้เปิดออกโดยมีขนาดความกว้าง 5 นิ้ว ขนาดความยาว 8 นิ้ว และทำการเจาะรูระบายน้ำบริเวณด้านล่างถังจำนวน 20 รู โดยเจาะรูระบายน้ำเป็นแถว 4 แถว แถวละ 5 รู เพื่อให้น้ำไหลออกได้สะดวก

ภาพที่ 3.2 แสดงถังเพาะชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

Copyright by Mahidol University

3.3.2 <u>การทดลองเปรียบเทียบปริมาณถั่วเขียวที่เหมาะสมต่อปริมาตรถังเพาะ</u> เป็นการทดลองเพื่อหาปริมาณเมล็ดถั่วเขียวเหมาะสมต่อปริมาตรถังเพาะ สำหรับกระบวนการเพาะถั่วงอก เพื่อให้ได้ถั่วงอกที่มีคุณภาพและปริมาณมาตรฐาน โดยทำการทดลองเปรียบเทียบเพาะถั่วเขียวที่มีปริมาณต่างๆ กันในถังเพาะที่มีปริมาตรเดียวกัน สำหรับการคัดเลือกปริมาณถั่วเขียวที่เหมาะสมต่อการทดลองเพาะในขั้นต่อๆไปนั้น จะใช้ดัชนีในการชี้วัดที่ได้จากผลการทดลองในขั้นนี้ซึ่งประกอบด้วย คุณภาพและปริมาณของผลผลิต ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต ตลอดจนปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต สำหรับการทดลองแบ่งออกเป็น 3 วิธี (TREATMENT) ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการเพาะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ปัจจัยควบคุม และปัจจัยแปรผัน การทดลองในขั้นตอนนี้จะทดลอง 3 ซ้ำ (REPLICATION) แผนการทดลองแสดงไว้ดังภาพ

ภาพที่ 3.3 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบปริมาณถั่วเขียวเหมาะสมสำหรับการเพาะถั่วงอก



TREATMENT 1 การเพาะโดยใช้ระดับปริมาณถั่วเขียว 0.60 กิโลกรัม

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

Copyright by Mahidol University

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง พร้อมทั้งบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

TREATMENT 2 การเพาะโดยใช้ระดับปริมาณถั่วเขียว 0.80 กิโลกรัม

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.80 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง พร้อมทั้งบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

TREATMENT 3 การเพาะโดยใช้ระดับปริมาณถั่วเขียว 1.00 กิโลกรัม

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 1.00 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง พร้อมทั้งบันทึกผล

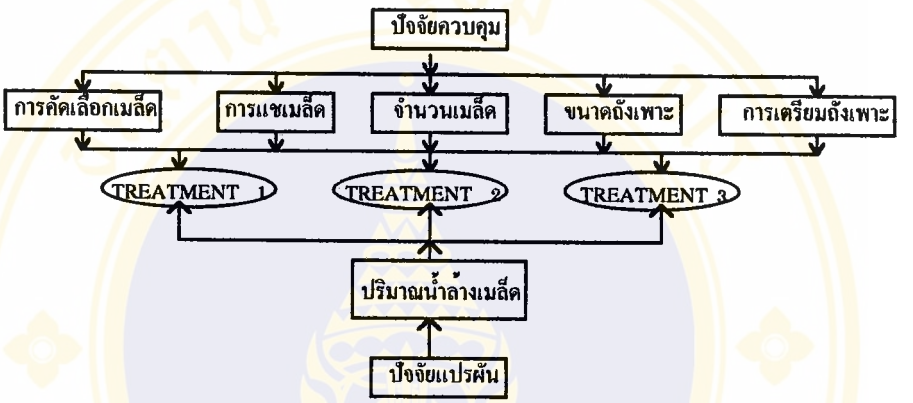
5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

3.3.3 <u>การทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการล้างเมล็ด</u> เป็นการทดลองเพื่อหาปริมาณน้ำล้างเมล็ดที่เหมาะสม สำหรับกระบวนการเพาะถั่วงอก เพื่อที่จะเป็นการลดปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ในการคัดเลือกปริมาณน้ำล้างเมล็ดที่เหมาะสมต่อการทดลองเพาะในขั้นต่อไปนั้น

Copyright by Mahidol University

จะใช้ดัชนีในการชี้วัดที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ซึ่งประกอบด้วย คุณภาพและปริมาณของน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดถั่วเขียว สำหรับการทดลองแบ่งออกเป็น 3 วิธี (TREATMENT) ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการเพาะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ปัจจัยควบคุม และปัจจัยแปรผัน การทดลองในขั้นตอนนี้จะทดลอง 3 ซ้ำ (REPLICATION) แผนการทดลองแสดงไว้ดังภาพ

ภาพที่ 3.4 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับการล้างเมล็ดถั่วเขียว



TREATMENT 1 การเพาะโดยใช้ปริมาณน้ำล้างเมล็ด 2 ลิตร

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล 2 ลิตร

2. เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการล้างเมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

TREATMENT 2 การเพาะโดยใช้ปริมาณน้ำล้างเมล็ด 4 ลิตร

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล 4 ลิตร

2. เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการล้างเมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

Copyright by Mahidol University

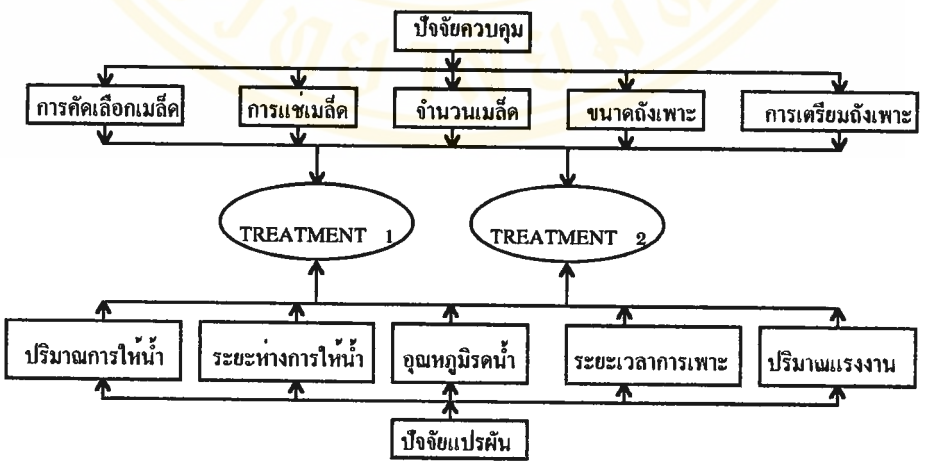
TREATMENT 3 การเพาะโดยใช้ปริมาณน้ำล้างเมล็ด 6 ลิตร

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล 6 ลิตร

2. เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการล้างเมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

3.3.4 <u>การทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการแช่เมล็ด</u> เป็นการทดลองเพื่อหาปริมาณน้ำแช่เมล็ดที่เหมาะสม สำหรับกระบวนการเพาะถั่วงอก เพื่อที่จะเป็นการลดปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ในการคัดเลือกปริมาณน้ำแช่เมล็ดที่เหมาะสมต่อการทดลองเพาะในขั้นต่อไปนั้น จะใช้ดัชนีในการชี้วัดที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ซึ่งประกอบด้วย คุณภาพและปริมาณของผลผลิต ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต ตลอดจนคุณภาพและปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต สำหรับการทดลองแบ่งออกเป็น 2 วิธี (TREATMENT) ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการเพาะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ปัจจัยควบคุม และปัจจัยแปรผัน การทดลองในขั้นตอนนี้จะทดลอง 3 ซ้ำ (REPLICATION) แผนการทดลองแสดงไว้ดังภาพ

ภาพที่ 3.5 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับการแช่เมล็ดถั่วเขียว



Copyright by Mahidol University

TREATMENT 1 การเพาะโดยใช้ปริมาณน้ำแช่เมล็ด 2.50 ลิตร

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 2.50 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง พร้อมทั้งบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

TREATMENT 2 การเพาะโดยใช้ปริมาณน้ำแช่เมล็ด 5.00 ลิตร

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5.00 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง พร้อมทั้งบันทึกผล

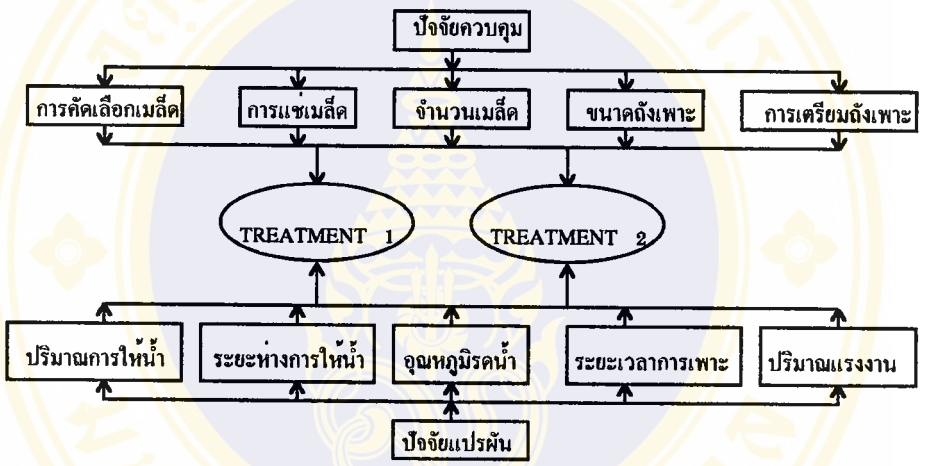
5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

3.3.5 <u>การทดลองเปรียบเทียบอิทธิพลของน้ำปูนใสที่มีผลต่อคุณภาพถั่วงอก</u> เป็นการทดลองเพื่อหาวิธีการแช่เมล็ดที่เหมาะสมสำหรับการงอกของถั่วเขียว โดยทำการเพาะถั่วงอกจากวิธีการแช่เมล็ดถั่วเขียว 2 วิธี เพื่อที่จะได้ถั่วงอกที่มีคุณภาพและปริมาณมาตรฐาน ในการคัดเลือกเลือกวิธีการ

Copyright by Mahidol University

แช่เมล็ดที่เหมาะสมต่อการทดลองเพาะในขั้นต่อไปนั้น จะใช้ดัชนีในการชี้วัดที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ซึ่งประกอบด้วย คุณภาพและปริมาณของผลผลิต ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต ตลอดจนปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต สำหรับการทดลองแบ่งออกเป็น 2 วิธี (TREATMENT) ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการเพาะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ปัจจัยควบคุม และปัจจัยแปรผัน การทดลองในขั้นตอนนี้จะทดลอง 3 ซ้ำ (REPLICATION) แผนการทดลองแสดงไว้ดังภาพ

ภาพที่ 3.6 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเพาะถั่วงอก



TREATMENT 1 การเพาะโดยใช้น้ำปูนใสในการแช่เมล็ด

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาลผสมปูนแดง โดยใช้ปูนแดงขนาดประมาณ 0.5 กรัม และใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง พร้อมทั้งบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

TREATMENT 2 การเพาะโดยไม่ใช้น้ำปูนใสในการแช่เมล็ด

Copyright by Mahidol University

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

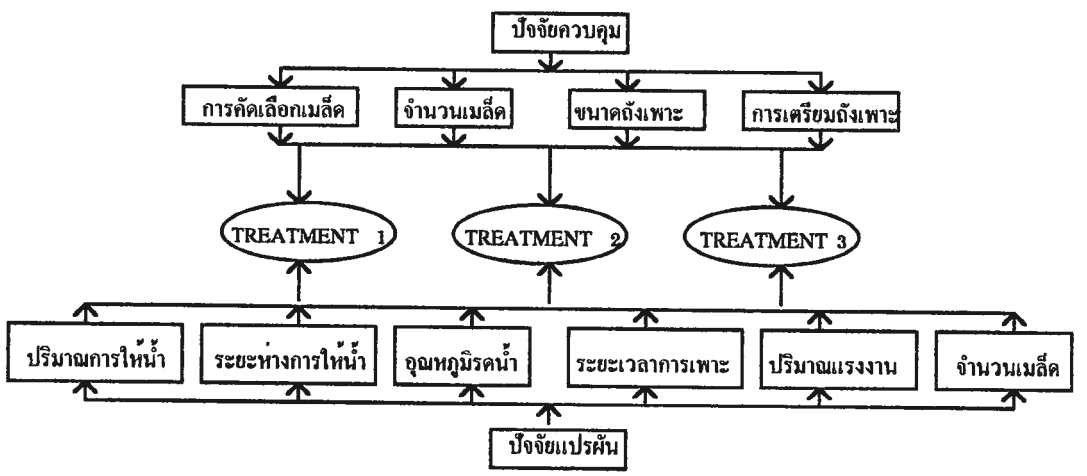
3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง พร้อมทั้งบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

3.3.6 <u>การทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการแช่เมล็ดที่เหมาะสมต่อการงอก</u> เป็นการทดลองเพื่อหาระยะเวลาการแช่เมล็ดที่เหมาะสมสำหรับการงอกของถั่วเขียว โดยคำนวณจากปริมาณความชื้นของเมล็ดในชั่วโมงต่างๆที่ทำการแช่ ซึ่งปริมาณความชื้นของเมล็ดสามารถคำนวณได้จากปริมาณน้ำหนักของเมล็ดที่แช่เปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้งของเมล็ด ในการคัดเลือกระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่เมล็ดต่อการทดลองเพาะในขั้นต่อไปนั้น จะใช้ดัชนีในการชี้วัดที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ซึ่งประกอบด้วย คุณภาพและปริมาณของผลผลิต ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต ตลอดจนปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต สำหรับการทดลองแบ่งออกเป็น 3 วิธี (TREATMENT) ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการเพาะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ปัจจัยควบคุม และปัจจัยแปรผัน การทดลองในขั้นตอนนี้จะทดลอง 3 ซ้ำ (REPLICATION) แผนการทดลองแสดงไว้ดังภาพ

ภาพที่ 3.7 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการแช่เมล็ดที่เหมาะสม



Copyright by Mahidol University

TREATMENT 1 การเพาะโดยใช้ระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 2 ชั่วโมง

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนักเมล็ดแห้ง 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 2 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักเมล็ดที่ผ่านการแช่ พร้อมทั้งบันทึกผล

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง พร้อมทั้งบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

TREATMENT 2 การเพาะโดยใช้ระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 3 ชั่วโมง

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนักเมล็ดแห้ง 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 3 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักเมล็ดที่ผ่านการแช่ พร้อมทั้งบันทึกผล

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง พร้อมทั้งบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

TREATMENT 3 การเพาะโดยใช้ระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 4 ชั่วโมง

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนักเมล็ดแห้ง 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักเมล็ดที่ผ่านการแช่ พร้อมทั้งบันทึกผล

Copyright by Mahidol University

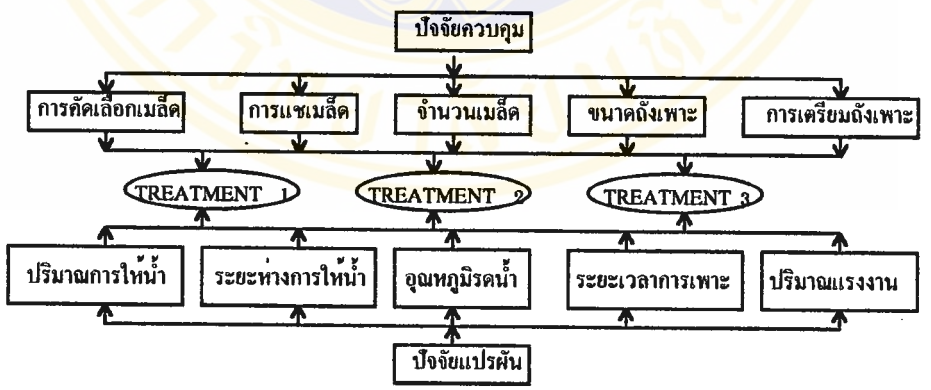
3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง พร้อมทั้งบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

3.3.7 <u>การทดลองเปรียบเทียบระยะห่างการรดน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเพาะถั่วงอก</u> เป็นการทดลองเพื่อหาระยะห่างการรดน้ำที่เหมาะสมสำหรับการงอกของถั่วเขียวในถังเพาะ เพื่อที่จะเป็นการลดปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ในการคัดเลือกระยะเวลาการขังน้ำที่เหมาะสมต่อการทดลองเพาะในขั้นต่อไปนั้น จะใช้ดัชนีในการชี้วัดที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ซึ่งประกอบด้วย คุณภาพและปริมาณของผลผลิต ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต ตลอดจนคุณภาพและปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต สำหรับการทดลองแบ่งออกเป็น 3 วิธี (TREATMENT) ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการเพาะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ปัจจัยควบคุม และปัจจัยแปรผัน การทดลองในขั้นตอนนี้จะทดลอง 3 ซ้ำ (REPLICATION) แผนการทดลองแสดงไว้ดังภาพ

ภาพที่ 3.8 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบระยะห่างการรดน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเพาะถั่วงอก



TREATMENT 1 การเพาะโดยใช้ระดับระยะห่างการรดน้ำ 3 ชั่วโมง

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

Copyright by Mahidol University

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง และขังน้ำไว้ในถังเพาะเป็นเวลา 3 นาที เมื่อครบเวลาจึงทำการปล่อยน้ำออกจากถังเพาะ เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

TREATMENT 2 การเพาะโดยใช้ระดับระยะห่างการรดน้ำ 5 ชั่วโมง

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง และขังน้ำไว้ในถังเพาะเป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบเวลาจึงทำการปล่อยน้ำออกจากถังเพาะ เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

TREATMENT 3 การเพาะโดยใช้ระดับระยะห่างการรดน้ำ 7 ชั่วโมง

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

Copyright by Mahidol University

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

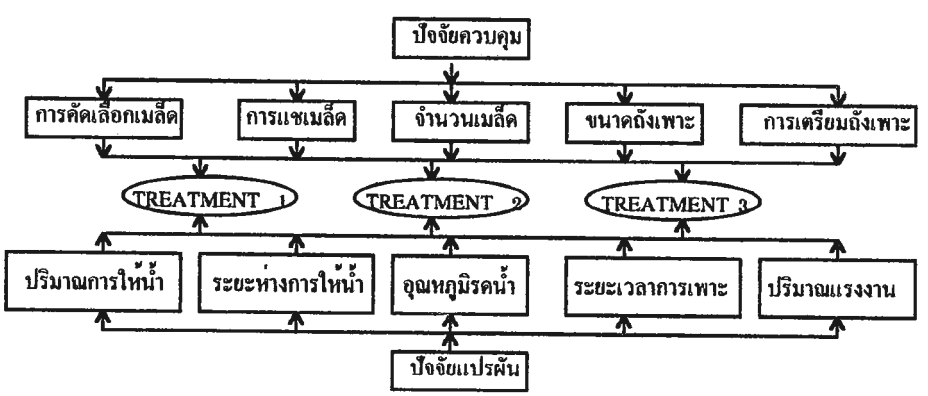
3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง และขังน้ำไว้ในถังเพาะเป็นเวลา 7 นาที เมื่อครบเวลาจึงทำการปล่อยน้ำออกจากถังเพาะ เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

3.3.8 <u>การทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำรดเมล็ดที่เหมาะสมสำหรับการเพาะถั่วงอก</u> เป็นการทดลองเพื่อหาปริมาณน้ำรดที่เหมาะสมสำหรับการงอกของถั่วเขียวในถังเพาะ เพื่อที่จะเป็นการลดปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ในการคัดเลือกระยะเวลาการขังน้ำที่เหมาะสมต่อการทดลองเพาะในขั้นต่อไปนั้น จะใช้ดัชนีในการชี้วัดที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ซึ่งประกอบด้วย คุณภาพและปริมาณของผลผลิต ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต ตลอดจนคุณภาพและปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต สำหรับการทดลองแบ่งออกเป็น 3 วิธี (TREATMENT) ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการเพาะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ปัจจัยควบคุม และปัจจัยแปรผัน การทดลองในขั้นตอนนี้จะทดลอง 3 ซ้ำ (REPLICATION) แผนการทดลองแสดงไว้ดังภาพ

ภาพที่ 3.9 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำรดที่เหมาะสมสำหรับการเพาะถั่วงอก



Copyright by Mahidol University

TREATMENT 1 การเพาะโดยใช้ระดับปริมาณน้ำรด 60 ลิตร

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง และขังน้ำไว้ในถังเพาะเป็นเวลา 3 นาที เมื่อครบเวลาจึงทำการปล่อยน้ำออกจากถังเพาะ เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

TREATMENT 2 การเพาะโดยใช้ระดับปริมาณน้ำรด 140 ลิตร

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง และขังน้ำไว้ในถังเพาะเป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบเวลาจึงทำการปล่อยน้ำออกจากถังเพาะ เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

Copyright by Mahidol University

TREATMENT 3 การเพาะโดยใช้ระดับปริมาณน้ำรด 280 ลิตร

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 10 ลิตร ซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

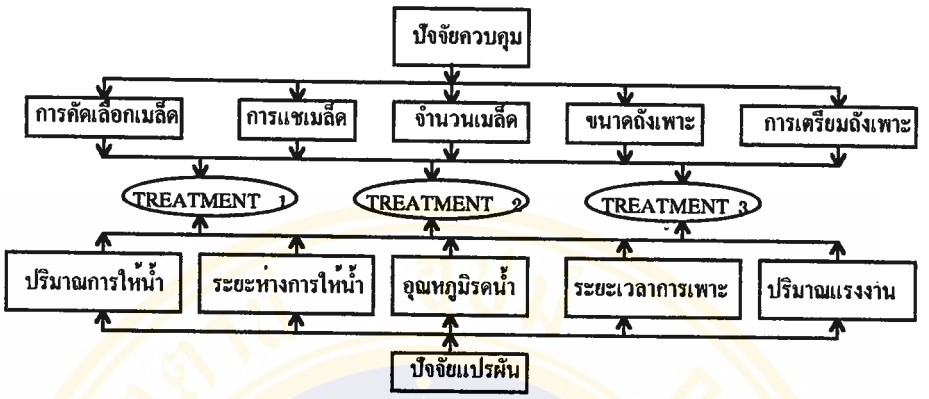
4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง และขังน้ำไว้ในถังเพาะเป็นเวลา 7 นาที เมื่อครบเวลาจึงทำการปล่อยน้ำออกจากถังเพาะ เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

3.3.9 <u>การทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเพาะถั่วงอก</u> เป็นการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกของถั่วเขียว ในบริเวณต่างๆของถังเพาะ เพื่อที่จะทำการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิไว้ที่บริเวณนั้น ในการเลือกบริเวณที่จะใช้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิต่อการทดลองเพาะในขั้นต่อไปนั้น จะใช้ดัชนีในการชี้วัดที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ซึ่งประกอบด้วย คุณภาพและปริมาณของผลผลิต ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต ตลอดจนปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต สำหรับการทดลองแบ่งออกเป็น 3 วิธี (TREATMENT) ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการเพาะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ปัจจัยควบคุม และปัจจัยแปรผัน การทดลองในขั้นตอนนี้จะทดลอง 3 ซ้ำ (REPLICATION) แผนการทดลองแสดงไว้ดังภาพ

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 3.10 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเพาะถั่วงอก



TREATMENT 1 การเพาะโดยใช้อุณหภูมิตอนบนของถังเพาะเป็นอุณหภูมิรดน้ำ

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 10 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ถังเพาะที่ใช้ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิไว้ภายในบริเวณโดยรอบตอนบนของถังเพาะ ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นเมื่อถึงอุณหภูมิรดน้ำซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ได้จากการสำรวจและทำการรดน้ำตามปริมาณที่ได้จากการสำรวจเช่นกันโดยเปิดกระสอบออก ทำการเว้นระยะเวลาการรดน้ำแต่ละครั้งตามระยะเวลาที่ได้จากการสำรวจ

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

TREATMENT 2 การเพาะโดยใช้อุณหภูมิตอนกลางของถังเพาะเป็นอุณหภูมิรดน้ำ

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

Copyright by Mahidol University

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ถังเพาะที่ใช้ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิไว้ภายในบริเวณโดยรอบตอนกลางของถังเพาะ ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นเมื่อถึงอุณหภูมิรดน้ำซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ได้จากการสำรวจและทำการรดน้ำตามปริมาณที่ได้จากการสำรวจเช่นกันโดยเปิดกระสอบออก ทำการเว้นระยะเวลาการรดน้ำแต่ละครั้งตามระยะเวลาที่ได้จากการสำรวจ

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

TREATMENT 3 การเพาะโดยใช้อุณหภูมิตอนล่างของถังเพาะเป็นอุณหภูมิรดน้ำ

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ถังเพาะที่ใช้ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิไว้ภายในบริเวณโดยรอบตอนล่างของถังเพาะ ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นเมื่อถึงอุณหภูมิรดน้ำซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ได้จากการสำรวจและทำการรดน้ำตามปริมาณที่ได้จากการสำรวจเช่นกันโดยเปิดกระสอบออก ทำการเว้นระยะเวลาการรดน้ำแต่ละครั้งตามระยะเวลาที่ได้จากการสำรวจ

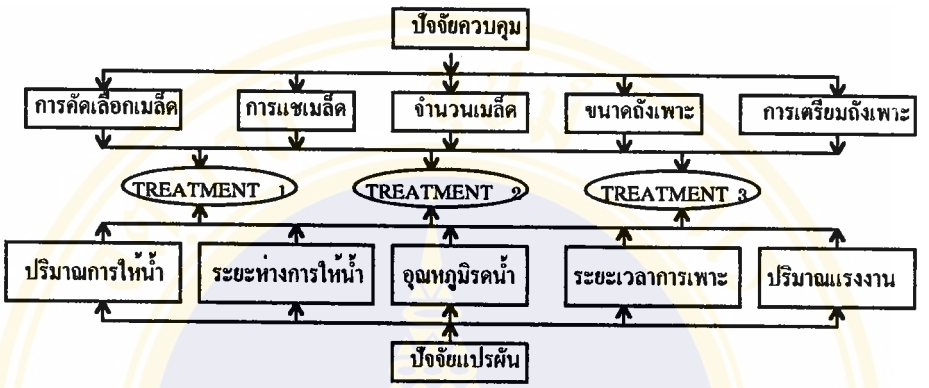
5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

3.3.10 <u>การทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการขังน้ำที่เหมาะสมในการควบคุมอุณหภูมิ</u> เป็นการทดลองเพื่อหาระยะเวลาในการขังน้ำที่เหมาะสมในการควบคุมอุณหภูมิ สำหรับการงอกของถั่วเขียวในถังเพาะ เพื่อที่จะเป็นการลดปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ในการคัดเลือกระยะเวลาการขังน้ำที่เหมาะสมต่อการทดลองเพาะในขั้นต่อไปนั้น จะใช้ดัชนีในการชี้วัดที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ ซึ่งประกอบด้วย คุณภาพและปริมาณของผลผลิต ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต ตลอดจนคุณภาพและปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต สำหรับการทดลองแบ่งออกเป็น 3 วิธี (TREATMENT) ซึ่ง

Copyright by Mahidol University

ปัจจัยที่ใช้ในการเพาะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ปัจจัยควบคุม และปัจจัยแปรผัน การทดลองในขั้นตอนนี้จะทดลอง 3 ซ้ำ (REPLICATION) แผนการทดลองแสดงไว้ดังภาพ

ภาพที่ 3.11 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการขังน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเพาะถั่วงอก



TREATMENT 1 การเพาะโดยใช้ระดับระยะเวลาการขังน้ำ 5 นาที

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง และขังน้ำไว้ในถังเพาะเป็นเวลา 3 นาที เมื่อครบเวลาจึงทำการปล่อยน้ำออกจากถังเพาะ เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

Copyright by Mahidol University

TREATMENT 2 การเพาะโดยใช้ระดับระยะเวลาการขังน้ำ 10 นาที

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง และขังน้ำไว้ในถังเพาะเป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบเวลาจึงทำการปล่อยน้ำออกจากถังเพาะ เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

TREATMENT 3 การเพาะโดยใช้ระดับระยะเวลาการขังน้ำ 15 นาที

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

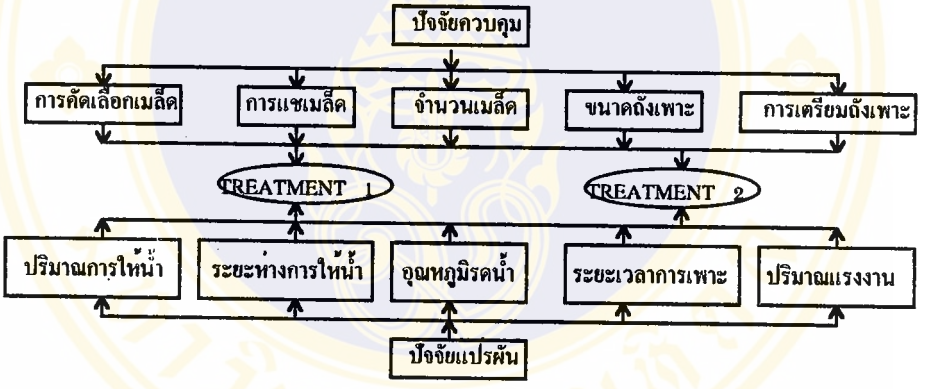
4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง และขังน้ำไว้ในถังเพาะเป็นเวลา 7 นาที เมื่อครบเวลาจึงทำการปล่อยน้ำออกจากถังเพาะ เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

Copyright by Mahidol University

3.3.11 <u>การทดลองเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำที่เหมาะสมสำหรับการเพาะถั่วงอก</u> เป็นการทดลองเพื่อหาวิธีการให้น้ำที่เหมาะสมสำหรับการงอกของถั่วเขียวในถังเพาะ เพื่อที่จะเป็นการลดปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ในการคัดเลือกระยะเวลาการขังน้ำที่เหมาะสมต่อการทดลองเพาะในขั้นต่อไปนั้น จะใช้ดัชนีในการชี้วัดที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ซึ่งประกอบด้วย คุณภาพและปริมาณของผลผลิต ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต ตลอดจนคุณภาพและปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต สำหรับการทดลองแบ่งออกเป็น 3 วิธี (TREATMENT) ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการเพาะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ปัจจัยควบคุม และปัจจัยแปรผัน การทดลองในขั้นตอนนี้จะทดลอง 3 ซ้ำ (REPLICATION) แผนการทดลองแสดงไว้ดังภาพ

ภาพที่ 3.12 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำที่เหมาะสมสำหรับการเพาะถั่วงอก



TREATMENT 1 การเพาะโดยใช้วิธีการรดน้ำผ่านถังเพาะ

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง และขังน้ำไว้ในถังเพาะเป็นเวลา 3 นาที เมื่อครบเวลาจึงทำการปล่อยน้ำออกจากถังเพาะ เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการแช่

Copyright by Mahidol University

เมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

TREATMENT 2 การเพาะโดยใช้วิธีการขังน้ำในถังเพาะ

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

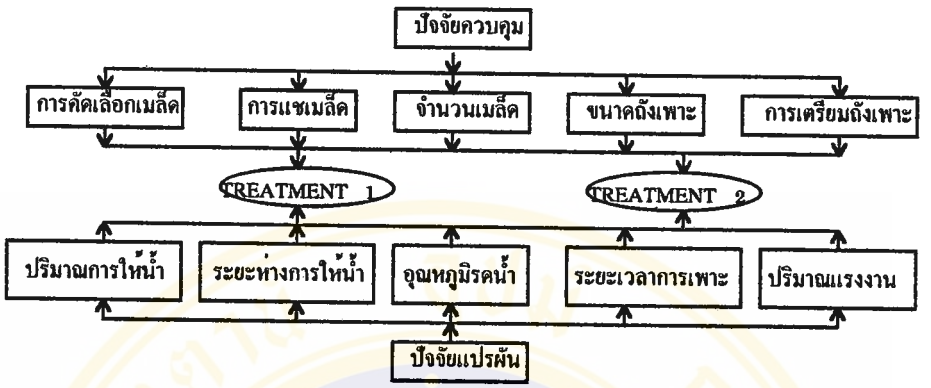
4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง และขังน้ำไว้ในถังเพาะเป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบเวลาจึงทำการปล่อยน้ำออกจากถังเพาะ เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

3.3.12 <u>การทดลองเปรียบเทียบรูปทรงถังเพาะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะถั่วงอก</u> เป็นการทดลองเพื่อหารูปทรงถังเพาะที่เหมาะสมสำหรับการงอกของถั่วเขียวในถังเพาะ เพื่อที่จะเป็นการลดปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ในการคัดเลือกระยะเวลาการขังน้ำที่เหมาะสมต่อการทดลองเพาะในขั้นต่อไปนั้น จะใช้ดัชนีในการชี้วัดที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ซึ่งประกอบด้วย คุณภาพและปริมาณของผลผลิต ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต ตลอดจนคุณภาพและปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต สำหรับการทดลองแบ่งออกเป็น 3 วิธี (TREATMENT) ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการเพาะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ปัจจัยควบคุม และปัจจัยแปรผัน การทดลองในขั้นตอนนี้จะทดลอง 3 ซ้ำ (REPLICATION) แผนการทดลองแสดงไว้ดังภาพ

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 3.13 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบรูปทรงถังเพาะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะถั่วงอก



TREATMENT 1 การเพาะโดยใช้ถังเพาะทรงสูง

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง และขังน้ำไว้ในถังเพาะเป็นเวลา 3 นาที เมื่อครบเวลาจึงทำการปล่อยน้ำออกจากถังเพาะ เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

TREATMENT 2 การเพาะโดยใช้ถังเพาะทรงเตี้ย

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาล โดยใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

Copyright by Mahidol University

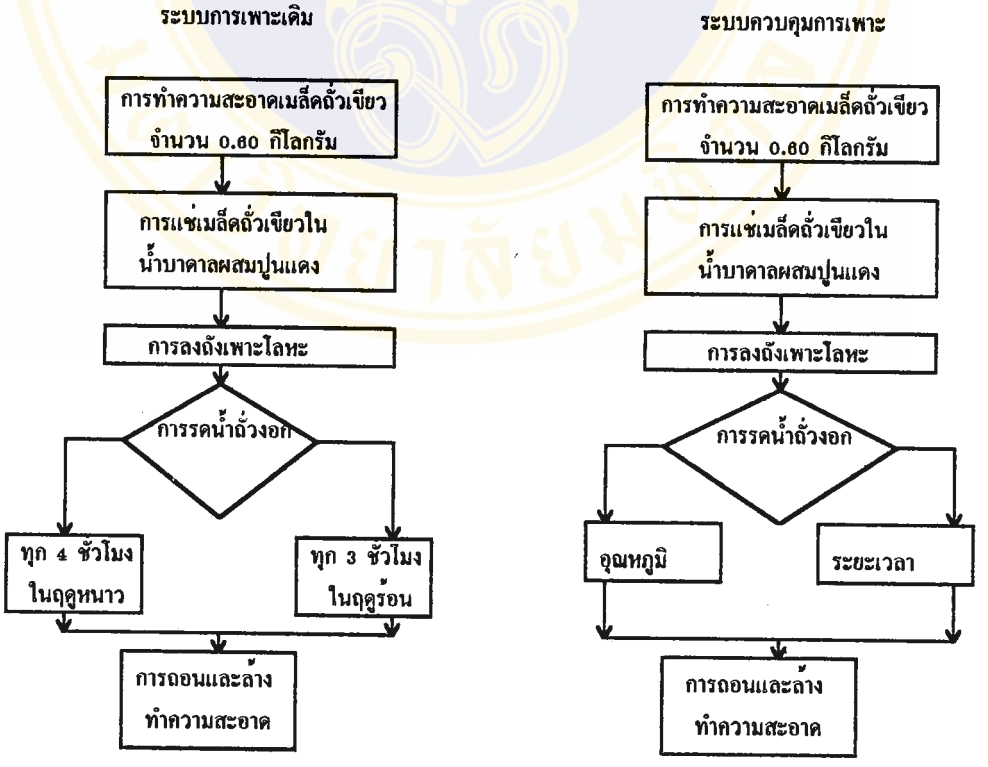
3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นทำการรดน้ำทุก 3 ชั่วโมง และขังน้ำไว้ในถังเพาะเป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบเวลาจึงทำการปล่อยน้ำออกจากถังเพาะ เก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ด ทำการตรวจคุณภาพน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ด เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับดื่ม พร้อมทั้งวัดปริมาณน้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดและบันทึกผล

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

3.3.13 <u>การออกข้อกำหนดในกระบวนการผลิตถั่วงอก</u> วิธีการทดลองในการทดลองนี้ แบ่งออกเป็น 2 วิธีการ (TREATMENT) คือ การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะ และการเพาะถั่วงอกโดยใช้ระบบการเพาะเดิม แต่ละวิธีทำการเพาะ 3 ซ้ำ (REPLICATION)

ภาพที่ 3.14 แสดงผังงานการเพาะถั่วงอก



Copyright by Mahidol University

(1) <u>ระบบการเพาะเดิม</u> เป็นระบบการเพาะถั่วงอกที่เป็นเทคโนโลยีดั้งเดิม โดยใช้ประสบการณ์และภูมิปัญญาของผู้ทำการเพาะเป็นสำคัญ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

-การคัดเลือกเมล็ด ถั่วเขียวที่จะนำมาเพาะส่วนมากจะนิยมใช้ถั่วเขียวพันธุ์ผิวมัน ลักษณะของถั่วเขียวที่ดีควรมีเมล็ดโตและสม่ำเสมอ ไม่มีถั่วหินเศษหิน ดิน กรวด ทรายปะปน และควรเป็นถั่วเกรด A ลักษณะของถั่วเขียวที่ไม่ควรนำมาเพาะ คือ ถั่วที่มีเมล็ดไม่สม่ำเสมอ โตบ้างเล็กบ้าง มีถั่วหิน เศษกรวด ดิน หินปะปนอยู่มาก และถั่วที่คลุกสารพิษฆ่าแมลงป้องกันตัวมอด

-ปริมาณถั่วเขียว ถังเพาะขนาดปริมาตร 5 ลิตร จะใช้เมล็ดถั่วเขียวปริมาณ 0.60 กิโลกรัม

-ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างเมล็ด ก่อนที่จะนำเมล็ดถั่วเขียวไปเพาะ จะทำการล้างเมล็ดถั่วเขียวด้วยน้ำบาดาลปริมาณ 8 ลิตร จนเมล็ดถั่วเขียวสะอาด

-ปริมาณน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ดและวิธีการแช่เมล็ด เมื่อล้างเมล็ดถั่วเขียวแล้ว จากนั้นจะทำการแช่เมล็ดถั่วเขียว โดยแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำบาดาลปริมาณ 5 ลิตร และผสมปูนแดงปริมาณ 0.50 กรัม แช่น้ำให้ท่วมเมล็ดถั่วเขียว

-ระยะเวลาการแช่เมล็ด ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ 4 ชั่วโมง ถ้าเป็นฤดูหนาวจะต้องผสมน้ำอุ่นในการแช่เมล็ดด้วย เมล็ดถั่วเขียวที่เสีย ลีบ จะลอยอยู่บนผิวน้ำซึ่งถั่วเขียวพวกนี้จะคัดทิ้งไปไม่ใช้ในการพาะเนื่องจากจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ถั่วเน่าได้ จากนั้นจึงนำเมล็ดถั่วเขียวที่ดีลงถังเพาะ

-การลงถังเพาะ ถังเพาะที่ใช้ในวิธีนี้ใช้ถังเพาะที่มีการเจาะรูที่ก้นถัง เพื่อให้น้ำระบายได้สะดวก ก่อนนำถั่วเขียวลงเพาะจะใช้ตาข่ายรองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดถั่วเขียวไหลออกนอกถังเพาะ จากนั้นหว่านเมล็ดถั่วเขียวที่ผ่านการแช่น้ำแล้วลงในถังเพาะ เมื่อนำเมล็ดถั่วเขียวลงถังเพาะเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการปิดถังด้วยกระสอบเปียกเพื่อป้องกันแสงแดดและเพิ่มความชื้นให้แก่เมล็ดถั่ว

-การรดน้ำ เมื่อทำการลงถังเพาะเรียบร้อยแล้ว ใช้สายยางต่อน้ำรดลงในถังเพาะทุกๆ 3 ชั่วโมง ถ้าเป็นฤดูหนาวจะยืดระยะห่างในการรดน้ำออกไปเป็น 4 ชั่วโมง การรดน้ำลงในถังเพาะจะทำการรดจนกว่าน้ำที่ผ่านออกมาจากถังเพาะ จะมีอุณหภูมิอยู่ในระดับเดียวกันกับน้ำที่ยังไม่ได้ใช้รด

Copyright by Mahidol University

-การถอนและล้างถั่วงอก หลังจากเพาะถั่วแล้ว 3 วัน ก็ทำการถอนและล้างเปลือกถั่วเขียวออกจากถั่วงอก โดยวิธีการล้างเพื่อแยกถั่วงอกออกจากเปลือกถั่วเขียว คือ การนำถั่วงอกไปล้างในกะละมังที่บรรจุน้ำไว้เกือบเต็ม เปลือกถั่วเขียวก็จะลอยขึ้นมาเหนือผิวน้ำ และสามารถช้อนเปลือกถั่วเขียวไปทิ้งได้อย่างสะดวก

(2) <u>ระบบควบคุมการเพาะ</u> เป็นระบบการเพาะถั่วงอกที่เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนามาจากข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ ที่ได้จากการศึกษาและทดลอง และสามารถที่จะพัฒนาให้เป็นระบบการผลิตที่ได้มาตรฐาน ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

-การคัดเลือกเมล็ด ถั่วเขียวที่จะนำมาเพาะส่วนมากจะนิยมใช้ถั่วเขียวพันธุ์ผิวมัน ลักษณะของถั่วเขียวที่ดีควรมีเมล็ดโตและสม่ำเสมอ ไม่มีถั่วหินเศษหิน ดิน กรวด ทรายปะปน และควรเป็นถั่วเกรด A ลักษณะของถั่วเขียวที่ไม่ควรนำมาเพาะ คือ ถั่วที่มีเมล็ดไม่สม่ำเสมอ โตบ้างเล็กบ้าง มีถั่วหิน เศษกรวด ดิน หินปะปนอยู่มาก และถั่วที่คลุกสารพิษฆ่าแมลงป้องกันตัวมอด

-ปริมาณถั่วเขียว ถังเพาะขนาดปริมาตร 5 ลิตร จะใช้เมล็ดถั่วเขียวปริมาณ EX กิโลกรัม

-ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างเมล็ด ก่อนที่จะนำเมล็ดถั่วเขียวไปเพาะ จะทำการล้างเมล็ดถั่วเขียวด้วยน้ำบาดาลปริมาณ EX ลิตร จนเมล็ดถั่วเขียวสะอาด

-ปริมาณน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ดและวิธีการแช่เมล็ด เมื่อล้างเมล็ดถั่วเขียวแล้ว จากนั้นจะทำการแช่เมล็ดถั่วเขียว โดยแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำบาดาลปริมาณ EX ลิตร และ EX ปูนแดงปริมาณ 0.50 กรัม แช่น้ำให้ท่วมเมล็ดถั่วเขียว

-ระยะเวลาการแช่เมล็ด ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ EX ชั่วโมง ถ้าเป็นฤดูหนาวจะต้องผสมน้ำอุ่นในการแช่เมล็ดด้วย เมล็ดถั่วเขียวที่เสีย ลีบ จะลอยอยู่บนผิวน้ำซึ่งถั่วเขียวพวกนี้จะคัดทิ้งไปไม่ใช้ในการพาะเนื่องจากจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ถั่วเน่าได้ จากนั้นจึงนำเมล็ดถั่วเขียวที่ดีลงถังเพาะ

-การลงถังเพาะ ถังเพาะที่ใช้ในวิธีนี้ใช้ถังเพาะที่มีการเจาะรูที่ก้นถัง เพื่อให้น้ำระบายได้สะดวก ก่อนนำถั่วเขียวลงเพาะจะใช้ตาข่ายรองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดถั่วเขียวไหลออกนอกถังเพาะ จากนั้นหว่านเมล็ดถั่วเขียวที่ผ่านการแช่น้ำแล้วลงในถังเพาะ เมื่อนำเมล็ดถั่วเขียวลงถังเพาะเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการปิดถังด้วยกระสอบเปียกเพื่อป้องกันแสงแดดและเพิ่มความชื้นให้แก่เมล็ดถั่ว

Copyright by Mahidol University

-การรดน้ำ เมื่อทำการลงถังเพาะเรียบร้อยแล้ว ใช้สายยางต่อน้ำรดลงในถังเพาะทุกๆ EX ชั่วโมง ถ้าเป็นฤดูหนาวจะยืดระยะห่างในการรดน้ำออกไปเป็น EX ชั่วโมง ซึ่งในการรดน้ำจะใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ดถั่วเขียวเป็นตัวชี้วัดระยะห่างในการรดน้ำแต่ละครั้ง

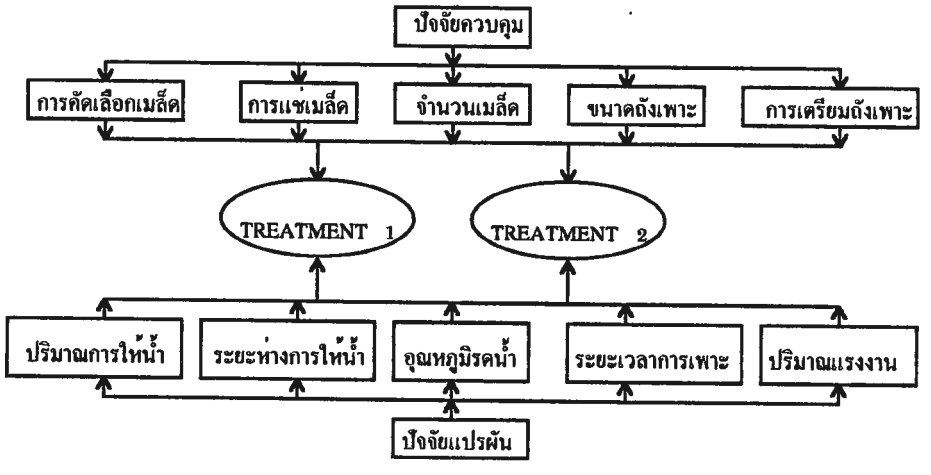
-ระยะเวลาการขังน้ำ ในการควบคุมอุณหภูมิจะใช้การขังน้ำช่วยในการรดน้ำ เพื่อเป็นการลดปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ดังนั้นการรดน้ำจึงทำการขังน้ำภายในถังเพาะเป็นเวลา EX นาที แล้วจึงปล่อยน้ำออกจากถังเพาะ และให้อุณหภูมิในถังเพาะอยู่ในระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอก เพื่อให้ถั่วงอกสามารถงอกได้ดี

-การถอนและล้างถั่วงอก หลังจากเพาะถั่วแล้ว EX วัน ก็ทำการถอนและล้างเปลือกถั่วเขียวออกจากถั่วงอก โดยวิธีการล้างเพื่อแยกถั่วงอกออกจากเปลือกถั่วเขียว คือ การนำถั่วงอกไปล้างในกะละมังที่บรรจุน้ำไว้เกือบเต็ม เปลือกถั่วเขียวก็จะลอยขึ้นมาเหนือผิวน้ำ และสามารถช้อนเปลือกถั่วเขียวไปทิ้งได้อย่างสะดวก

หมายเหตุ EX หมายถึง ข้อมูลที่จะได้จากผลการทดลองในข้อที่ 3.3.2-3.3.12

3.3.14 <u>การทดลองเปรียบเทียบการเพาะถั่วงอก</u> การทดลองนี้ทำการวางแผนการทดลอง โดยแบ่งการเพาะออกเป็น 2 วิธี (TREATMENT) คือ การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระบบควบคุม และการเพาะถั่วงอกโดยใช้ระบบเดิม ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการเพาะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ปัจจัยควบคุม และปัจจัยแปรผัน การทดลองในขั้นตอนนี้จะทดลอง 3 ซ้ำ (REPLICATION) แผนการทดลองแสดงไว้ดังภาพ

ภาพที่ 3.15 แสดงแผนการทดลองเปรียบเทียบการเพาะถั่วงอก



Copyright by Mahidol University

TREATMENT 1 การเพาะโดยใช้ระบบควบคุม

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก EX กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวล้างน้ำบาดาลปริมาตร EX ลิตร ให้สะอาด แล้วมาแช่ในน้ำบาดาล EX ปูนแดง (ถ้าผสมปูนแดง จะใช้ปูนแดงขนาดประมาณ 0.50 กรัม) และใช้น้ำบาดาลปริมาตร EX ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ EX ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ถังเพาะที่ใช้ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิไว้ภายในถังเพาะในบริเวณที่ได้คัดเลือกแล้วว่าเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด ที่ได้จากจากการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอก ที่ก้นถังเพาะมีรูซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นเมื่อถึงอุณหภูมิรดน้ำซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ได้จากการสำรวจและทำการรดน้ำตามปริมาณที่ได้จากการสำรวจเช่นกันโดยเปิดกระสอบออก และทำการขังน้ำที่ใช้รดไว้ในถังเพาะ เป็นเวลา EX นาที จากนั้นทำการเว้นระยะเวลาการรดน้ำแต่ละครั้งตามระยะเวลาที่ได้จากการสำรวจ

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

หมายเหตุ EX หมายถึง ข้อมูลที่จะได้จากผลการทดลองในข้อที่ 3.3.2–3.3.13

TREATMENT 2 การเพาะโดยใช้ระบบเดิม

1. นำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันเกรด A น้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ล้างเมล็ดพันธุ์ให้สะอาดด้วยน้ำบาดาล

2. นำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่ล้างน้ำให้สะอาดแล้วมาแช่ในน้ำบาดาลผสมปูนแดง โดยใช้ปูนแดงขนาดประมาณ 0.50 กรัม และใช้น้ำบาดาลปริมาตร 5 ลิตร โดยใช้เวลาแช่เมล็ดพันธุ์ 4 ชั่วโมง

3. เมื่อแช่เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจนครบเวลาแล้ว นำเมล็ดพันธุ์ใส่ลงในถังเพาะขนาดประมาณ 5 ลิตร ถังเพาะที่ใช้จะมีรูที่ก้นถังซึ่งใช้ตาข่ายสีฟ้ารองที่ก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์ไหลออกนอกถังเพาะ

4. เมื่อใส่เมล็ดพันธุ์ลงในถังเพาะแล้ว ทำการปิดถังเพาะด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันการถูกแสงและให้ภายในถังเพาะมีความชื้นเพียงพอ จากนั้นรดน้ำทุกๆ 3 ชั่วโมงโดยเปิดกระสอบออก

5. เมื่อครบเวลาการเพาะ ทำการถอนถั่วงอกออกจากถังเพาะและล้างให้สะอาด

Copyright by Mahidol University

3.4 ขั้นตอนการเก็บและบันทึกข้อมูล

3.4.1 <u>การเก็บข้อมูลคุณภาพและปริมาณถั่วงอก</u> เป็นการเก็บตัวอย่างถั่วงอกที่ทำการเพาะทั้ง 2 วิธี เพื่อใช้เป็นข้อมูลในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลเหล่านี้ ได้แก่ ขนาดหัวถั่วงอก ความยาวลำต้นถั่วงอก ความกว้างรอบลำต้นถั่วงอก สีผิวลำต้นถั่วงอก สีผิวรากถั่วงอก ความสะอาดทั้งส่วนหัวลำต้น ความสะอาดของรากถั่วงอก ปริมาณของถั่วงอกที่ใช้การได้ การเก็บตัวอย่างทำการเก็บทุกๆ 3 ชั่วโมง โดยทำการเก็บตัวอย่างละ 10 ตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและทำการบันทึกข้อมูลในรูปแบบตาราง

3.4.2 <u>การเก็บข้อมูลอุณหภูมิรดน้ำที่เหมาะสมของถั่วงอกในถังเพาะ</u> ซึ่งทำการเก็บข้อมูลจากระบบการผลิตจริง โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่ทำการติดตั้งอยู่ภายในถังเพาะ โดยทำการติดตั้งไว้ 3 จุด แบ่งเป็น ถังเพาะตอนบน 1 จุด ถังเพาะตอนกลาง 1 จุด และถังเพาะตอนล่าง 1 จุด วัดอุณหภูมิก่อนทำการรดน้ำและอุณหภูมิภายหลังทำการรดน้ำ ตลอดระยะเวลาการเพาะ ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ และนำอุณหภูมิที่วัดได้ในแต่ละบริเวณ มาทำการเฉลี่ยเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอก ทำการบันทึกข้อมูลในรูปแบบของตาราง

3.4.3 <u>การเก็บข้อมูลปริมาณน้ำที่ใช้รดถั่วงอก</u> ซึ่งทำการเก็บข้อมูลจากระบบการผลิตจริง ตลอดระยะเวลาการเพาะ โดยใช้อุปกรณ์ที่ทราบปริมาตรเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทำการรดน้ำ ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสิ้นสุดการเพาะ ทำการบันทึกข้อมูลในรูปแบบของตาราง

3.4.4 <u>การเก็บข้อมูลระยะห่างในการรดน้ำถั่วงอกแต่ละครั้ง</u> ทำการเก็บข้อมูลจากระบบการผลิตจริง ตลอดเวลาการเพาะ โดยใช้การจับเวลาระยะห่างของการรดน้ำในแต่ละครั้ง ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ ทำการบันทึกข้อมูลในรูปแบบของตาราง

3.4.5 <u>การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำที่ใช้รดถั่วงอก</u> ซึ่งทำการเก็บข้อมูลจากระบบการผลิตจริง ตลอดระยะเวลาการเพาะ โดยทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ใช้ในกระบวนการเพาะถั่วงอก ก่อนและหลังการรดน้ำ เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้ดื่ม ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสิ้นสุดการเพาะ ทำการบันทึกผลในรูปแบบของตาราง

3.4.6 <u>การเก็บข้อมูลพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตครั้ง</u> ทำการเก็บข้อมูลจากระบบการผลิตจริง ตลอดเวลาการเพาะ โดยการติดตั้งมาตรวัดกระแสไฟฟ้า วัดอัตราการบริโภคไฟฟ้าของเครื่อง

Copyright by Mahidol University

สูบน้ำที่ใช้ในการรดน้ำถั่วงอก ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ ทำการบันทึกข้อมูลในรูปแบบของตาราง

3.4.7 การเก็บข้อมูลแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ทำการเก็บข้อมูลจากระบบการผลิตจริง ตลอดเวลาการเพาะ โดยใช้การคำนวณเวลา (ชั่วโมง) การทำงานที่ใช้ทำงานในกระบวนการเพาะถั่วงอก ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ ทำการบันทึกข้อมูลในรูปแบบของตาราง

3.4.8 การเก็บข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต ทำการเก็บข้อมูลจากระบบการผลิตจริง ตลอดเวลาการเพาะ โดยใช้คุณภาพมาตรฐานของผลผลิตเป็นดัชนีชี้วัดวันสุดท้ายของการเพาะ ถ้าผลผลิตมีคุณภาพได้มาตราฐานเมื่อไรจะถือว่าวันนั้นเป็นวันสุดท้ายของการเพาะ แต่ถ้าคุณภาพผลผลิตยังไม่ได้มาตรฐานวันสุดท้ายของการเพาะจะไม่เกิน 3 วัน จะทำการสำรวจตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ ทำการบันทึกข้อมูลในรูปแบบของตาราง

3.4.9 การสำรวจความชื้นสัมพัทธ์ภายในถังเพาะ ทำการสำรวจจากระบบการผลิตจริง ตลอดเวลาการเพาะ โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ คือ เทอร์โมมิเตอร์ชนิดกระเปาะเปียก (WET BULB THERMOMETER) และเทอร์โมมิเตอร์ชนิดกระเปาะแห้ง (DRY BULB THERMOMETER) ตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์อยู่ภายในถังเพาะ จะทำการสำรวจตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ ซึ่งวางแผนการสำรวจในขั้นตอนนี้ 2 ซ้ำ

3.4.10 การสำรวจอัตราการระเหยของน้ำในถังเพาะ ทำการสำรวจจากระบบการผลิตจริง ตลอดเวลาการเพาะ โดยใช้ถาดวัดการระเหย (EVAPORTION PAN) ชนิด U.S. WEATHER BUREAU CLASS A วัดการระเหยของน้ำ โดยทำการวัดอัตราการระเหยของน้ำในสภาพบรรยากาศเดียวกันกับภายในถังเพาะ และทำการวัดทุกครั้งที่มีการรดน้ำถั่วงอก จะทำการสำรวจตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุท้ายของการเพาะ ซึ่งวางแผนในการสำรวจในขั้นตอนนี้ 2 ซ้ำ

3.4.11 การเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเพาะ ทำการเก็บข้อมูลจากระบบการผลิตจริง ตลอดเวลาการเพาะ โดยใช้อุปกรณ์ที่ชื่อว่า STEVENSON SCREEN ซึ่งมีลักษณะเป็นตู้และมีเทอร์โมมิเตอร์ชนิดกระเปาะเปียก (WET BULB THERMOMETER) และเทอร์โมมิเตอร์ชนิดกระเปาะแห้ง (DRY BULB THERMOMETER) อยู่ภายใน และใช้เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเพาะ จะทำการสำรวจ ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ ทำการบันทึกข้อมูลในรูปแบบของตาราง

Copyright by Mahidol University

3.4.12 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในโรงเพาะ ทำการเก็บข้อมูลจากระบบการผลิตจริง ตลอดเวลาการเพาะ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ในการตรวจวัดอุณหภูมิภายในโรงเพาะ ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ ทำการบันทึกข้อมูลในรูปแบบของตาราง

3.4.13 การเก็บข้อมูลความเข้มของแสงภายในโรงเพาะ ทำการเก็บข้อมูลจากระบบการผลิตจริง ตลอดระยะเวลาการเพาะ โดยใช้เครื่องมือวัดความเข้มแสง (LUX METER) ตรวจวัดความเข้มแสงภายในโรงเพาะ ตั้งแต่การเพาะวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของการเพาะ ทำการบันทึกผลในรูปแบบของตาราง

3.5 ขั้นตอนการประมวลและวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 การประมวลและวิเคราะห์ผลการทดลอง เป็นการประมวลและวิเคราะห์กลุ่มข้อมูลที่เป็นปัจจัยที่ใช้ในการชี้วัดกระบวนการผลิต ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มดัชนีดังต่อไปนี้

(1) ด้านคุณภาพผลผลิต
(2) ด้านปริมาณผลผลิต
(3) ด้านปัจจัยการผลิต
(4) ด้านคุณภาพน้ำ

(1) ด้านคุณภาพผลผลิต ซึ่งคุณภาพผลผลิตจะแบ่งออกเป็น 4 เกรด ได้แก่ เกรด A เกรด B เกรด C และเกรด D โดยจะแบ่งเกรดของผลผลิตที่ได้จากการผลิตแต่ละครั้งออกเป็นร้อยละ (%) และนำคุณภาพผลผลิตของแต่ละกลุ่มมาทำการเปรียบเทียบกัน โดยการวิเคราะห์สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย ดังนี้

(1) การทดสอบภายในตัวเองของแต่ละกลุ่ม โดยการหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความแปรปรวน

(2) เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่ม โดยถ้าเป็นข้อมูล 2 กลุ่มจะใช้ T-TEST ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ และถ้าเป็นข้อมูล 3 กลุ่มจะใช้ ANOVA ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์

Copyright by Mahidol University

สมมติฐานทางการวิจัย

H_O : ถั่วงอกที่ผลิตโดยกระบวนการผลิตทุกกระบวนการมีคุณภาพไม่แตกต่างกัน

H_A : ถั่วงอกที่ผลิตโดยกระบวนการผลิตอย่างน้อย 1 กระบวนการให้คุณภาพแตกต่างกัน

สมมติฐานทางสถิติ

$$H_O : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$$

μ_1 : คุณภาพถั่วงอกที่ผลิตโดยกระบวนการผลิตที่ 1

μ_2 : คุณภาพถั่วงอกที่ผลิตโดยกระบวนการผลิตที่ 2

(2) ด้านปริมาณผลผลิต ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการผลิตแต่ละครั้งจะคิดเป็นน้ำหนักในหน่วยกิโลกรัม (KG) โดยคิดน้ำหนักรวมทั้งหมดของผลผลิตไม่มีการแยกน้ำหนักตามคุณภาพผลผลิต และนำปริมาณผลผลิตของแต่ละกลุ่มมาทำการเปรียบเทียบกัน โดยการวิเคราะห์สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย ดังนี้

(1) การทดสอบภายในตัวเองของแต่ละกลุ่ม โดยการหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความแปรปรวน

(2) เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่ม โดยถ้าเป็นข้อมูล 2 กลุ่มจะใช้ T-TEST ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ และถ้าเป็นข้อมูล 3 กลุ่มจะใช้ ANOVA ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์

สมมติฐานทางการวิจัย

H_O : ถั่วงอกที่ผลิตโดยกระบวนการผลิตทุกกระบวนการมีปริมาณไม่แตกต่างกัน

H_A : ถั่วงอกที่ผลิตโดยกระบวนการผลิตอย่างน้อย 1 กระบวนการให้ปริมาณแตกต่างกัน

สมมติฐานทางสถิติ

$$H_O : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$$

Copyright by Mahidol University

μ_1 : ปริมาณถั่วงอกที่ผลิตโดยกระบวนการผลิตที่ 1

μ_2 : ปริมาณถั่วงอกที่ผลิตโดยกระบวนการผลิตที่ 2

(3) ด้านปัจจัยการผลิต ซึ่งปัจจัยการผลิตจะแบ่งออกเป็น 4 ปัจจัย ได้แก่ น้ำ แรงงาน พลังงาน และระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต โดยจะคิดปริมาณปัจจัยการผลิตรวมทั้งหมดไม่มีการแยกปริมาณปัจจัยการผลิตแต่ละปัจจัย และนำปริมาณปัจจัยการผลิตของแต่ละกลุ่มมาทำการเปรียบเทียบกัน โดยการวิเคราะห์สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย ดังนี้

(1) การทดสอบภายในตัวเองของแต่ละกลุ่ม โดยการหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความแปรปรวน

(2) เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่ม โดยถ้าเป็นข้อมูล 2 กลุ่มจะใช้ T-TEST ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ และถ้าเป็นข้อมูล 3 กลุ่มจะใช้ ANOVA ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์

สมมติฐานทางการวิจัย

H_O : ถั่วงอกที่ผลิตโดยกระบวนการผลิตทุกกระบวนการใช้ปัจจัยการผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ถั่วงอกที่ผลิตโดยกระบวนการผลิตอย่างน้อย 1 กระบวนการใช้ปัจจัยการผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ

$$H_O : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$$

μ_1 : ปริมาณปัจจัยการผลิตที่ใช้ผลิตถั่วงอกโดยกระบวนการผลิตที่ 1

μ_2 : ปริมาณปัจจัยการผลิตที่ใช้ผลิตถั่วงอกโดยกระบวนการผลิตที่ 2

(4) ด้านคุณภาพน้ำ ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำจะแบ่งออกเป็น 6 พารามิเตอร์ ได้แก่ ACIDITY ALKALINITY HARDNESS DO pH และ TURBIDITY โดยจะคิดพารามิเตอร์รวมทั้งหมดไม่มีการแยกวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์ และนำพารามิเตอร์ของแต่ละกลุ่มมาทำการเปรียบเทียบกันและเปรียบเทียบกับค่ามาตราฐานน้ำดื่มตามพระราชบัญญัติน้ำบาดาลพุทธศักราช 2521 โดยการวิเคราะห์สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย ดังนี้

Copyright by Mahidol University

(1) การทดสอบภายในตัวเองของแต่ละกลุ่ม โดยการหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความแปรปรวน

(2) เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่ม โดยถ้าเป็นข้อมูล 2 กลุ่มจะใช้ T-TEST ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ และถ้าเป็นข้อมูล 3 กลุ่มจะใช้ ANOVA ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์

สมมติฐานทางการวิจัย

H_O : ถั่วงอกที่ผลิตโดยกระบวนการผลิตทุกกระบวนการให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน

H_A : ถั่วงอกที่ผลิตโดยกระบวนการผลิตอย่างน้อย 1 กระบวนการให้คุณภาพน้ำแตกต่างกัน

สมมติฐานทางสถิติ

$$H_O : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$$

μ_1 : คุณภาพน้ำที่ได้จากการผลิตถั่วงอกโดยกระบวนการผลิตที่ 1

μ_2 : คุณภาพน้ำที่ได้จากการผลิตถั่วงอกโดยกระบวนการผลิตที่ 2

3.5.2 <u>การประมวลและวิเคราะห์ความเหมาะสม</u> การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยีเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับการวิเคราะห์ระบบการผลิต ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลป้อนกลับ (TRANSFORMATION PROCESS FEEDBACK CONTROL) ของระบบการผลิต ทั้งข้อมูลทางคุณภาพและปริมาณ การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยี ประกอบด้วยการวิเคราะห์ 3 หลักเกณฑ์ ดังนี้

(1) การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางประสิทธิผลการผลิต (EFFECTIVENESS)

(2) การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางสมรรถนะการผลิต (PERFORMANCE)

(3) การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางประสิทธิภาพการผลิต (EFFICIENCY)

(1) การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านประสิทธิผลการผลิต (EFFECTIVENESS) สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ข้อมูลจากระบบการผลิต ในรูปแบบของการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยมีกลุ่มข้อมูลที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่ ปริมาณผลผลิตที่ได้ และปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ไป มีหน่วยเป็นเท่า ซึ่งมีสตูร ในการคำนวณ ดังนี้

Copyright by Mahidol University

$$\text{EFFECTIVENESS} = \frac{\text{OUTPUT}}{\text{INPUT}}$$

โดยที่ OUTPUT คือ น้ำหนักสุทธิของปริมาณผลผลิตที่ได้
INPUT คือ น้ำหนักสุทธิของปริมาณวัตถุดิบที่ใช้

(2) การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านสมรรถนะการผลิต (PERFORMANCE) สามารถวิเคราะห์ได้ในรูปแบบของความสัมพันธ์กันระหว่างข้อมูล 2 กลุ่ม คือ ข้อมูลทางด้านประสิทธิผลการผลิตและข้อมูลทางด้านสมรรถนะการผลิต ซึ่งข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มเป็นข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันอย่างซับซ้อนในลักษณะขององค์ประกอบและหน้าที่ของข้อมูล โดยมีลักษณะของการวิเคราะห์เป็นการแปลรูปแบบของข้อมูลทางด้านประสิทธิผลการผลิต ให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลทางด้านสมรรถนะการผลิต มีหน่วยเป็นเท่า ซึ่งมีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{PERFORMANCE} = \frac{\text{OUTPUT}}{\text{INPUT}}$$

โดยที่ OUTPUT คือ น้ำหนักสุทธิของปริมาณผลผลิตที่ได้
INPUT คือ น้ำหนักสุทธิของปริมาณวัตถุดิบที่ใช้

(3) การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านประสิทธิภาพการผลิต (EFFICIENCY) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีใน 2 ประเด็น คือ

1) ประสิทธิภาพเชิงเทคโนโนโลยี
2) ประสิทธภาพเชิงการเงิน

1) ประสิทธิภาพเชิงเทคโนโลยี สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ข้อมูลจากระบบการผลิตในรูปแบบของการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยมีกลุ่มข้อมูลที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่ ประสิทธิผลการผลิต และสมรรถนะการผลิต มีหน่วยเป็นร้อยละ ซึ่งมีสตูรในการคำนวณ ดังนี้

Copyright by Mahidol University

$$\text{EFFICIENCY} = \frac{\text{OUTPUT}}{\text{INPUT}} \times 100$$

โดยที่ OUTPUT คือ EFFECTIVENESS

INPUT คือ PERFORMANCE

2) ประสิทธิภาพเชิงการเงิน สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ข้อมูลจากระบบการผลิต ในรูปแบบของการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยมีกลุ่มข้อมูลที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่ กำไรผลิตที่ได้ และต้นทุนการผลิตที่ใช้ไป มีหน่วยเป็นร้อยละ ซึ่งมีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{EFFICIENCY} = \frac{\text{OUTPUT}}{\text{INPUT}} \times 100$$

โดยที่ OUTPUT คือ BENEFIT

INPUT คือ COST

Copyright by Mahidol University

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา

ผลการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพและปริมาณผลผลิต ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต ตลอดจนคุณภาพและปริมาณน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิต ในระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกเพื่อออกแบบเทคโนโลยีที่ใช้ในการควบคุมการเพาะถั่วงอก ซึ่งแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น (1) ผลการทดลองและการออกข้อกำหนดในกระบวนการผลิต (2) การวิเคราะห์ความเหมาะสมของกระบวนการผลิต และสามารถแบ่งประเด็นผลการศึกษาในแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

4.1 ผลการทดลองและออกข้อกำหนดในกระบวนการผลิต

- 4.1.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณถั่วเขียวที่เหมาะสม
- 4.1.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำล้างเมล็ดที่เหมาะสม
- 4.1.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำแช่เมล็ดที่เหมาะสม
- 4.1.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบอิทธิพลของน้ำปูนใส
- 4.1.5 ผลการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการแช่เมล็ดที่เหมาะสม
- 4.1.6 ผลการทดลองเปรียบเทียบระยะห่างการรดน้ำที่เหมาะสม
- 4.1.7 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำรดเมล็ดที่เหมาะสม
- 4.1.8 ผลการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหมาะสม
- 4.1.9 ผลการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการขังน้ำที่เหมาะสม
- 4.1.10 ผลการทดลองเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำที่เหมาะสม
- 4.1.11 ผลการทดลองเปรียบเทียบรูปทรงถังเพาะที่เหมาะสม
- 4.1.12 ผลการออกข้อกำหนดในกระบวนการผลิตถั่วงอก
- 4.1.13 ผลการทดลองเปรียบเทียบการเพาะถั่วงอกที่เหมาะสม

4.2 การวิเคราะห์ความเหมาะสมของกระบวนการผลิต

- 4.2.1 การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางประสิทธิผลการผลิต
- 4.2.2 การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางสมรรถนะการผลิต
- 4.2.3 การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางประสิทธิภาพการผลิต

Copyright by Mahidol University

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณถั่วเขียวที่เหมาะสม

ทำการทดลองระหว่างวันที่ 6-9 มิถุนายน พ.ศ. 2538 ณ โรงเพาะถั่วงอก ต.บ้านแก้ง อ.เมือง จ.สระแก้ว ช่วงที่ทำการทดลองสภาพบรรยากาศทั่วไปมีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย 30.23 ^{o}C อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย 28.1 ^{o}C ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเฉลี่ย 91 % อัตราการระเหยน้ำโดยเฉลี่ย 1.2 มม. ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที

(1) ผลการทดลอง

1. ผลผลิต การเพาะถั่วงอกโดยใช้ปริมาณถั่วเขียวทั้ง 3 ระดับ สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน 4 เกรด (ตาราง 4.1) พบว่า ระดับปริมาณถั่วเขียว 600 กรัม สามารถให้ถั่วงอกเกรด A B และ C โดยให้ถั่วงอกคุณภาพเกรด A มากที่สุด และไม่ให้ถั่วงอกเกรด D เลย สำหรับระดับปริมาณถั่วเขียว 800 กรัม และ 1,000 กรัม ให้ถั่วงอกทุกเกรด และมีปริมาณในแต่ละเกรดใกล้เคียงกัน สำหรับปริมาณถั่วงอกที่เพาะได้จากปริมาณถั่วเขียว 600 800 และ 1,000 กรัม พบว่ามีอัตราเพิ่มขึ้น 6.30 4.80 และ 4.50 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง ตามลำดับ ผลผลิตที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณถั่วเขียว 0.6, 0.8 และ 1 กิโลกรัม

ทรีทเมนต์	ผลผลิต (กิโลกรัม)	ผลผลิต (%)			
		เกรด A	เกรด B	เกรด C	เกรด D
1	3.80	56.70	30.00	13.30	-
2	3.85	31.50	27.50	15.60	25.40
3	4.50	32.80	28.50	17.90	20.80

Copyright by Mahidol University

2. <u>ปัจจัยการผลิต</u> การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกสำหรับปริมาณถั่วเขียว 3 ระดับ (ตาราง 4.2) พบว่า ระดับปริมาณถั่วเขียว 800 กรัม ใช้ทรัพยากรในการผลิตน้อยที่สุด ทั้งทางด้านน้ำ พลังงาน แรงงาน และระยะเวลาการผลิต สำหรับระดับปริมาณถั่วเขียว 600 กรัม และ 1,000 กรัม ใช้ทรัพยากรน้ำ พลังงาน แรงงาน ในกระบวนการผลิตใกล้เคียงกัน แต่ที่ระดับปริมาณถั่วเขียว 1,000 กรัม ใช้ระยะเวลาในการผลิตสั้นกว่า ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการทดลองขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณถั่วเขียว0.6,0.8 และ 1 กิโลกรัม

ทรีทเมนต์	ปัจจัยการผลิต			
	น้ำ (ลิตร)	แรงงาน (นาที)	พลังงาน (วัตต์)	เวลา (ชั่วโมง)
1	58.90	68.00	736.25	72.00
2	46.90	53.00	586.25	60.00
3	56.90	64.00	711.25	60.00

(2) การวิเคราะห์ผล

1. <u>คุณภาพผลผลิต</u>

สมมติฐานการวิจัย H_O : ปริมาณถั่วเขียวทั้ง 3 ระดับให้คุณภาพผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ปริมาณถั่วเขียวอย่างน้อย 1 ระดับให้คุณภาพผลผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 3

Copyright by Mahidol University

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	1223.854	2	611.927	17302.365	.000
TREAT	1223.854	2	611.927	17302.365	.000
EXPLAINED	1223.854	2	611.927	17302.365	.000
RESIDUAL	.212	6	.035		
TOTAL	1224.066	8	153.008		

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะทั้ง 3 วิธี ไม่เท่ากัน

2. <u>ปัจจัยการผลิต</u>

สมมติฐานการวิจัย H_O : ปริมาณถั่วเขียวทั้ง 3 ระดับใช้ปัจจัยการผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ปริมาณถั่วเขียวอย่างน้อย 1 ระดับใช้ปัจจัยการผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 3

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	7725.239	2	3862.620	1055.614	.000
TREAT	7725.239	2	3862.620	1055.614	.000
EXPLAINED	7725.239	2	3862.620	1055.614	.000
RESIDUAL	21.955	6	3.659		
TOTAL	7747.194	8	968.399		

Copyright by Mahidol University

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะทั้ง 3 วิธี ไม่เท่ากัน

3. ปริมาณผลผลิต

สมมติฐานการวิจัย H_O : ปริมาณถั่วเขียวทั้ง 3 ระดับให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ปริมาณถั่วเขียวอย่างน้อย 1 ระดับให้ปริมาณผลผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 3

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	.755	2	.377	409.205	.000
TREAT	.755	2	.377	409.205	.000
EXPLAINED	.755	2	.377	409.205	.000
RESIDUAL	.006	6	.001		
TOTAL	.760	8	.095		

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะทั้ง 3 วิธี ไม่เท่ากัน

(3) การอภิปรายผลการทดลอง

การเพาะถั่วงอกโดยใช้ปริมาณถั่วเขียวทั้ง 3 (ตาราง 4.1) พบว่า ที่ระดับถั่วเขียว 800 และ 1,000 กรัม จัดว่าเป็นระดับปริมาณถั่วเขียวที่มากเกินไปสำหรับถังเพาะขนาด 5 ลิตร ก่อให้เกิดการอัดแน่นอย่างมากในถังเพาะ การรดน้ำจึงไม่สามารถรดได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอทั้งถังเพาะ มีผลให้

Copyright by Mahidol University

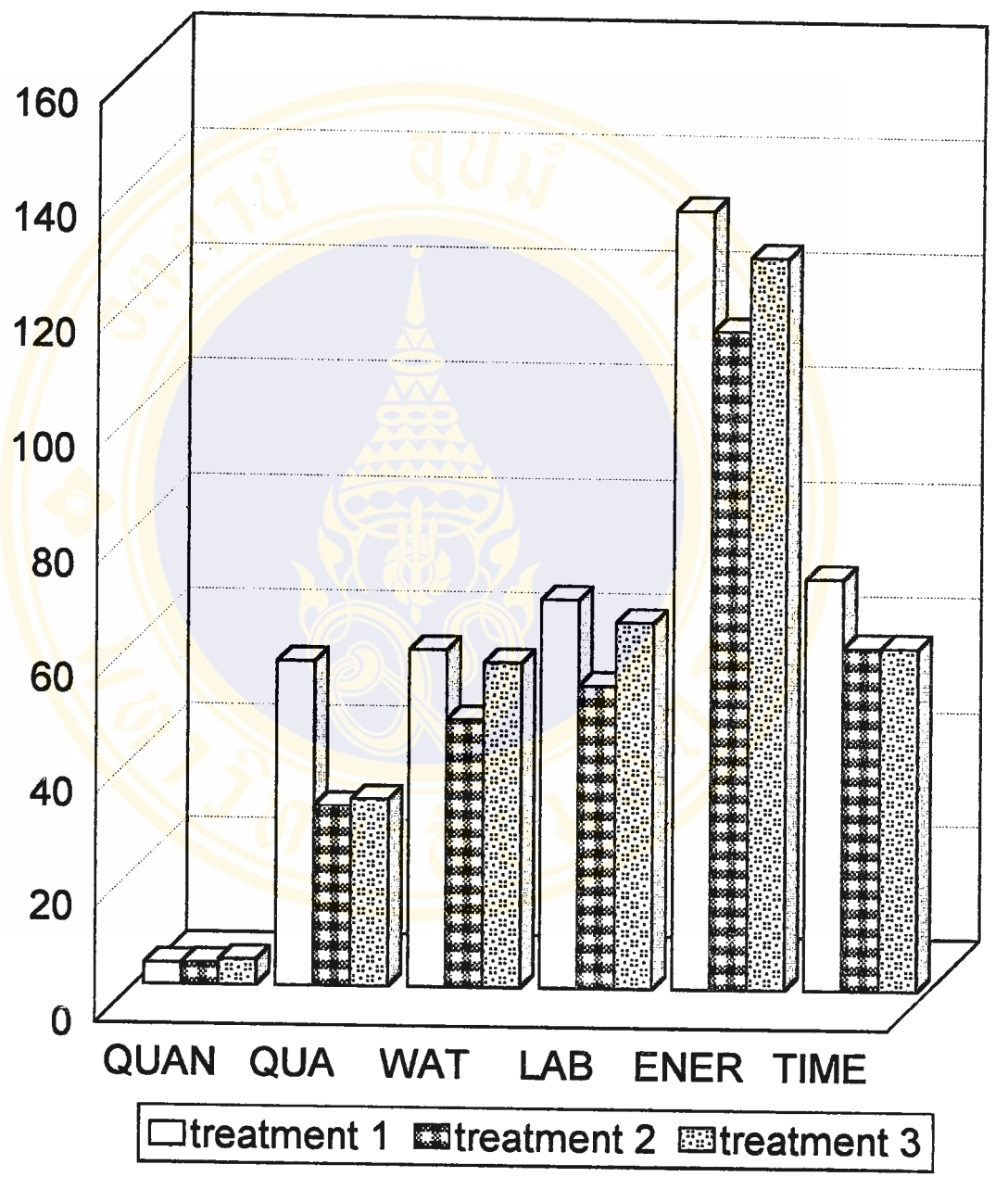
ถั่วเขียวบริเวณกลางถังเพาะไม่สามารถงอกได้อย่างสมบูรณ์ (เกรด D) สำหรับที่ระดับถั่วเขียว 600 กรัม จัดว่าเป็นระดับถั่วเขียวที่เหมาะสมสำหรับถังเพาะ 6 ลิตร ทำให้การรดน้ำสามารถรดได้อย่างทั่วถึงและมีความสม่ำเสมอมากกว่า เนื่องจากมีความพรุนภายในถังเพาะอยู่ในระดับที่พอเหมาะ มีผลให้ถั่วงอกที่เพาะได้จึงงอกได้อย่างสมบูรณ์กว่าระดับถั่วเขียว 800 และ 1,000 กรัม

การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกสำหรับปริมาณถั่วเขียว 3 ระดับ (ตาราง 4.2) พบว่า การใช้ทรัพยากรการผลิตจะแปรผันตามปริมาณถั่วเขียวในถังเพาะ จะเห็นว่า ที่ระยะเวลาการผลิตเดียวกัน ถั่วเขียวระดับ 800 และ 1,000 กรัม จะใช้ทรัพยากรการผลิตเพิ่มขึ้น ตามลำดับ การที่ระดับปริมาณถั่วเขียวที่ 800 และ 1,000 กรัม มีระยะเวลาการผลิตสั้น เนื่องจากว่า ปริมาณถั่วเขียวที่ระดับนี้เป็นระดับปริมาณถั่วเขียวที่มากเกินไป พบว่า ถั่วเขียวภายในถังเพาะยังไม่งอกอย่างสมบูรณ์ก็ต้องทำการหยุดเพาะ เนื่องจากถั่วงอกที่เพาะได้เกิดการล้นออกนอกถังเพาะ

การทดลองในขั้นนี้ พบว่า ระดับปริมาณถั่วเขียว 600 กรัม เป็นระดับปริมาณถั่วเขียวที่เหมาะสมที่สุดสำหรับถังเพาะขนาด 6 ลิตร เนื่องจาก สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพเกรด A มากที่สุด และไม่ให้ถั่วงอกเกรด D เลย และให้ถั่วงอกเพิ่มขึ้นถึง 6.30 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 4.1 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณถั่วเขียว 0.6, 0.8 และ 1 กิโลกรัม



QUAN : ปริมาณผลผลิต QUA : คุณภาพผลผลิต WAT : ปริมาณน้ำที่ใช้
LAB : ปริมาณแรงงานที่ใช้ ENER : ปริมาณพลังงานที่ใช้ TIME : ปริมาณระยะเวลาที่ใช้

Copyright by Mahidol University

4.1.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำล้างที่เหมาะสม

ทำการทดลองระหว่างวันที่ 6-9 มิถุนายน พ.ศ. 2538 ณ โรงเพาะถั่วงอก ต.บ้านแก้ง อ.เมือง จ.สระแก้ว ช่วงที่ทำการทดลองสภาพบรรยากาศทั่วไปมีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย 30.23 °C อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย 28.1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเฉลี่ย 91 % อัตราการระเหยน้ำโดยเฉลี่ย 1.2 มม. ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที

(1) ผลการทดลอง

1. คุณภาพน้ำ การล้างเมล็ดถั่วเขียวโดยใช้ปริมาณน้ำล้างทั้ง 3 ระดับ สามารถให้คุณภาพน้ำทางกายภาพแตกต่างกัน (ตาราง 4.3) สำหรับคุณภาพน้ำทางเคมีไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ระดับปริมาณน้ำล้างเมล็ดทั้ง 3 ระดับ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของน้ำภายหลังจากการล้างเมล็ดถั่วเขียว คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป คือ ความขุ่น (TURBIDITY) พบว่า ที่ระดับปริมาณน้ำล้างเมล็ดถั่วเขียว 2 ลิตร ให้คุณภาพน้ำที่มีความขุ่นสูงสุด สำหรับปริมาณน้ำล้างเมล็ดถั่วเขียว 4 และ 6 ลิตร ให้คุณภาพน้ำที่มีความขุ่นไม่แตกต่างกัน สำหรับคุณภาพน้ำทางเคมีที่ทำการตรวจวัดในการทดลองขั้นนี้ พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำภายหลังการใช้ล้างเมล็ดถั่วเขียว คุณภาพน้ำก่อนใช้/คุณภาพน้ำหลังใช้ ที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำล้างเมล็ด 2, 4 และ 6 ลิตร

ทรีทเมนต์	คุณภาพน้ำ					
	HARDNESS	ACIDITY	ALKALINITY	DO	pH	TURBIDITY
1	90/90	9/9	66/66	7.2/7.2	6.5/6.5	5/15
2	90/90	9/9	66/66	7.2/7.2	6.5/6.5	5/10
3	90/90	9/9	66/66	7.2/7.2	6.5/6.5	5/10

Copyright by Mahidol University

(2) การวิเคราะห์ผล

1. คุณภาพน้ำ

สมมติฐานการวิจัย H_O : ปริมาณน้ำล้างทั้ง 3 ระดับให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน

H_A : ปริมาณน้ำล้างอย่างน้อย 1 ระดับให้คุณภาพน้ำแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 3

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	81.690	2	40.845	1313.339	.000
TREAT	81.690	2	40.845	1313.339	.000
EXPLAINED	81.690	2	40.845	1313.339	.000
RESIDUAL	.187	6	.031		
TOTAL	81.876	8	10.235		

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ คุณภาพน้ำล้างเมล็ดถั่วเขียวที่ได้จากระดับปริมาณน้ำล้างเมล็ดทั้ง 3 ระดับ ไม่เท่ากัน

(3) การอภิปรายผลการทดลอง

การล้างเมล็ดถั่วเขียวโดยใช้ปริมาณน้ำล้างทั้ง 3 ระดับ (ตาราง 4.3) พบว่า สามารถให้คุณภาพน้ำทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไป นั่นคือ ความขุ่น (TURBIDITY) พบว่า น้ำที่ผ่านการล้างเมล็ดถั่วเขียวจะมีความขุ่นเพิ่มมากขึ้น สาเหตุของความขุ่นที่เพิ่มขึ้นเกิดจากดิน และเปลือกฝักถั่วเขียวที่ติดปะปนมากับเมล็ดถั่วเขียว สำหรับคุณภาพน้ำทางเคมี ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดใน

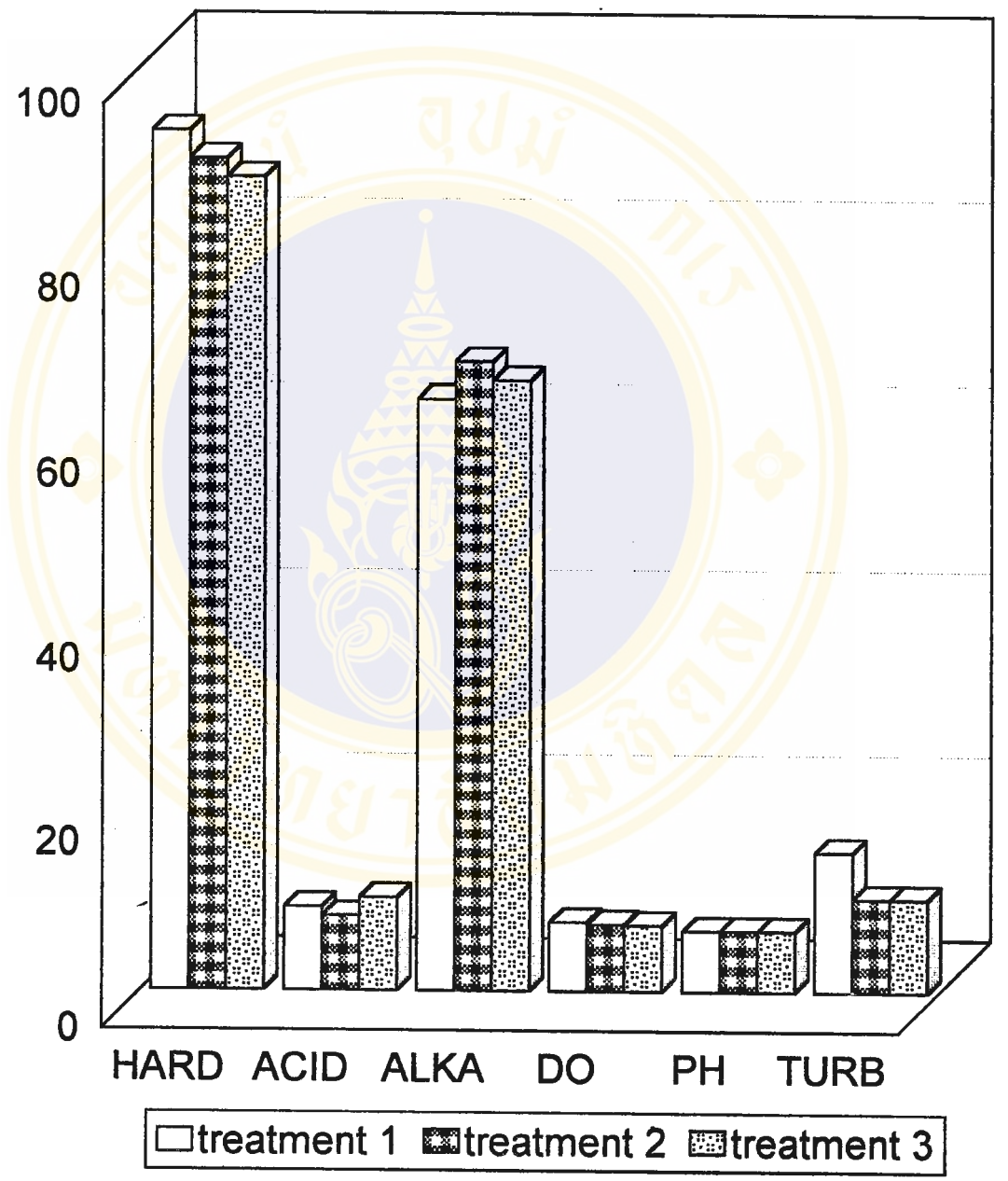
Copyright by Mahidol University

การทดลองขั้นนี้ ได้แก่ ความกระด้าง (HARDNESS) ความเป็นกรด (ACIDITY) ความเป็นด่าง (ALKALINITY) DO (DISSOLVED OXYGEN) และ $_pH$ พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำภายหลังการใช้ล้างเมล็ดถั่วเขียว

การทดลองในขั้นนี้ พบว่า ระดับปริมาณน้ำล้างเมล็ด 4 ลิตร เป็นระดับปริมาณน้ำล้างเมล็ดถั่วเขียวที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก สามารถให้คุณภาพน้ำที่มีความขุ่นต่ำที่สุด และใช้ปริมาณน้ำในการล้างเมล็ดเพียง 4 ลิตรเท่านั้น

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 4.2 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำล้างเมล็ด 2, 4 และ 6 ลิตร



QUAN : ปริมาณผลผลิต QUA : คุณภาพผลผลิต WAT : ปริมาณน้ำที่ใช้
LAB : ปริมาณแรงงานที่ใช้ ENER : ปริมาณพลังงานที่ใช้ TIME : ปริมาณระยะเวลาที่ใช้

Copyright by Mahidol University

4.1.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำแช่เมล็ดที่เหมาะสม

ทำการทดลองระหว่างวันที่ 6-9 มิถุนายน พ.ศ. 2538 ณ โรงเพาะถั่วงอก ต.บ้านแก้ง อ.เมือง จ.สระแก้ว ช่วงที่ทำการทดลองสภาพบรรยากาศทั่วไปมีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย 30.23 °C อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย 28.1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเฉลี่ย 91 % อัตราการระเหยน้ำโดยเฉลี่ย 1.2 มม. ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที

(1) ผลการทดลอง

1. ผลผลิต การเพาะถั่วงอกโดยใช้ปริมาณน้ำแช่เมล็ดถั่วเขียวทั้ง 2 ระดับ สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพ 3 เกรด (ตาราง 4.4) พบว่า ที่ระดับปริมาณน้ำแช่เมล็ดถั่วเขียวทั้งระดับ 2.50 และ 5.00 ลิตร สามารถให้ถั่วงอกเกรด A B และ C และในแต่ละเกรดมีปริมาณใกล้เคียงกันทั้ง 2 ระดับ โดยทั้ง 2 ระดับให้ถั่วงอกเกรด A มากที่สุด และไม่ให้ถั่วงอกเกรด D เลย นอกจากนี้ปริมาณถั่วงอกที่เพาะได้จากปริมาณน้ำแช่เมล็ดถั่วเขียวทั้งระดับ 2.50 และ 5.00 ลิตร พบว่า มีอัตราเพิ่มขึ้น 6.41 และ 6.40 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง ตามลำดับ ผลผลิตที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำแช่เมล็ด 2.50 และ 5 ลิตร

ทรีทเมนต์	ผลผลิต (กิโลกรัม)	ผลผลิต (%)			
		เกรด A	เกรด B	เกรด C	เกรด D
1	3.85	54.20	30.80	15.00	-
2	3.84	52.20	28.70	19.10	-

2. ปัจจัยการผลิต การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกสำหรับปริมาณน้ำแช่เมล็ดถั่วเขียว 2 ระดับ (ตาราง 4.5) พบว่า ระดับปริมาณน้ำแช่เมล็ดถั่วเขียวทั้งระดับ 2.50 และ 5.00 ลิตร ใช้ทรัพยากรน้ำ พลังงาน แรงงาน และระยะเวลา ในกระบวนการผลิตใกล้เคียงกัน ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการทดลองขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.5

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 4.5 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำแช่เมล็ด 2.50 และ 5 ลิตร

ทรีทเมนต์	ปัจจัยการผลิต			
	น้ำ (ลิตร)	แรงงาน (นาที)	พลังงาน (วัตต์)	เวลา (ชั่วโมง)
1	48.88	56.00	611.00	60.00
2	45.81	55.00	572.63	60.00

3. <u>คุณภาพน้ำ</u> การแช่เมล็ดถั่วเขียวโดยใช้ปริมาณน้ำแช่ทั้ง 2 ระดับ สามารถให้คุณภาพน้ำภายหลังการแช่เมล็ดถั่วเขียว (ตาราง 4.6) ทั้งคุณภาพน้ำทางเคมีและคุณภาพน้ำทางกายภาพไม่แตกต่างกัน และในแต่ละระดับยังให้คุณภาพน้ำก่อน/หลังการแช่เมล็ดถั่วเขียวไม่มีการเปลี่ยนแปลง คุณภาพน้ำก่อนใช้/คุณภาพน้ำหลังใช้ ที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำแช่เมล็ด 2.50 และ 5 ลิตร

ทรีทเมนต์	คุณภาพน้ำ					
	HARDNESS	ACIDITY	ALKALINITY	DO	$_{P}H$	TURBIDITY
1	92/92	6/6	65/65	7.4/7.4	6.5/6.5	5/5
2	90/90	8/8	66/66	7.2/7.2	6.5/6.5	5/5

(2) การวิเคราะห์ผล

1. <u>คุณภาพผลผลิต</u>

สมมติฐานการวิจัย H_O : ปริมาณน้ำแช่ทั้ง 2 ระดับให้คุณภาพผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ปริมาณน้ำแช่อย่างน้อย 1 ระดับให้คุณภาพผลผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$

μ_1 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

Copyright by Mahidol University

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
15.37	.122	4.25	4	.013	4.25	2.26	.041

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_A และยอมรับ H_O นั่นคือ คุณภาพผลผลิตที่ได้จากระดับการแช่น้ำทั้ง 2 ระดับ เท่ากัน

2. ปัจจัยการผลิต

สมมติฐานการวิจัย H_O : ปริมาณน้ำแช่ทั้ง 2 ระดับใช้ปัจจัยการผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ปริมาณน้ำแช่อย่างน้อย 1 ระดับใช้ปัจจัยการผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$

μ_1 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 2

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
1.09	.955	7.60	4	.002	7.60	3.99	.002

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_A และยอมรับ H_O นั่นคือ ปัจจัยการผลิตผลิตที่ใช้ในระดับการแช่น้ำทั้ง 2 ระดับ เท่ากัน

3. ปริมาณผลผลิต

Copyright by Mahidol University

สมมติฐานการวิจัย H_O : ปริมาณน้ำแช่ทั้ง 2 ระดับให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ปริมาณน้ำแช่อย่างน้อย 1 ระดับให้ปริมาณผลผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$

μ_1 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
1.33	.857	1.89	4	.132	1.89	3.92	.133

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_A และยอมรับ H_O นั่นคือ ปริมาณผลผลิตที่ได้จากระดับการแช่น้ำทั้ง 2 ระดับ เท่ากัน

4. คุณภาพน้ำ

สมมติฐานการวิจัย H_O : ปริมาณน้ำแช่ทั้ง 2 ระดับให้คุณภาพน้ำแช่ไม่แตกต่างกัน

H_A : ปริมาณน้ำแช่อย่างน้อย 1 ระดับให้คุณภาพน้ำแช่แตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$

μ_1 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
126.58	.016	-2.04	4	.111	-2.04	2.03	.177

Copyright by Mahidol University

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_A และยอมรับ H_o นั่นคือ คุณภาพน้ำแช่เมล็ดที่ได้จากระดับการแช่น้ำทั้ง 2 ระดับ เท่ากัน

(3) การอภิปรายผลการทดลอง

การเพาะถั่วงอกโดยใช้ปริมาณน้ำแช่เมล็ดถั่วเขียวทั้ง 2 ระดับ (ตาราง 4.4) พบว่า ระดับปริมาณน้ำแช่เมล็ดถั่วเขียวทั้งระดับ 2.50 และ 5.00 ลิตร สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพและปริมาณไม่แตกต่างกัน

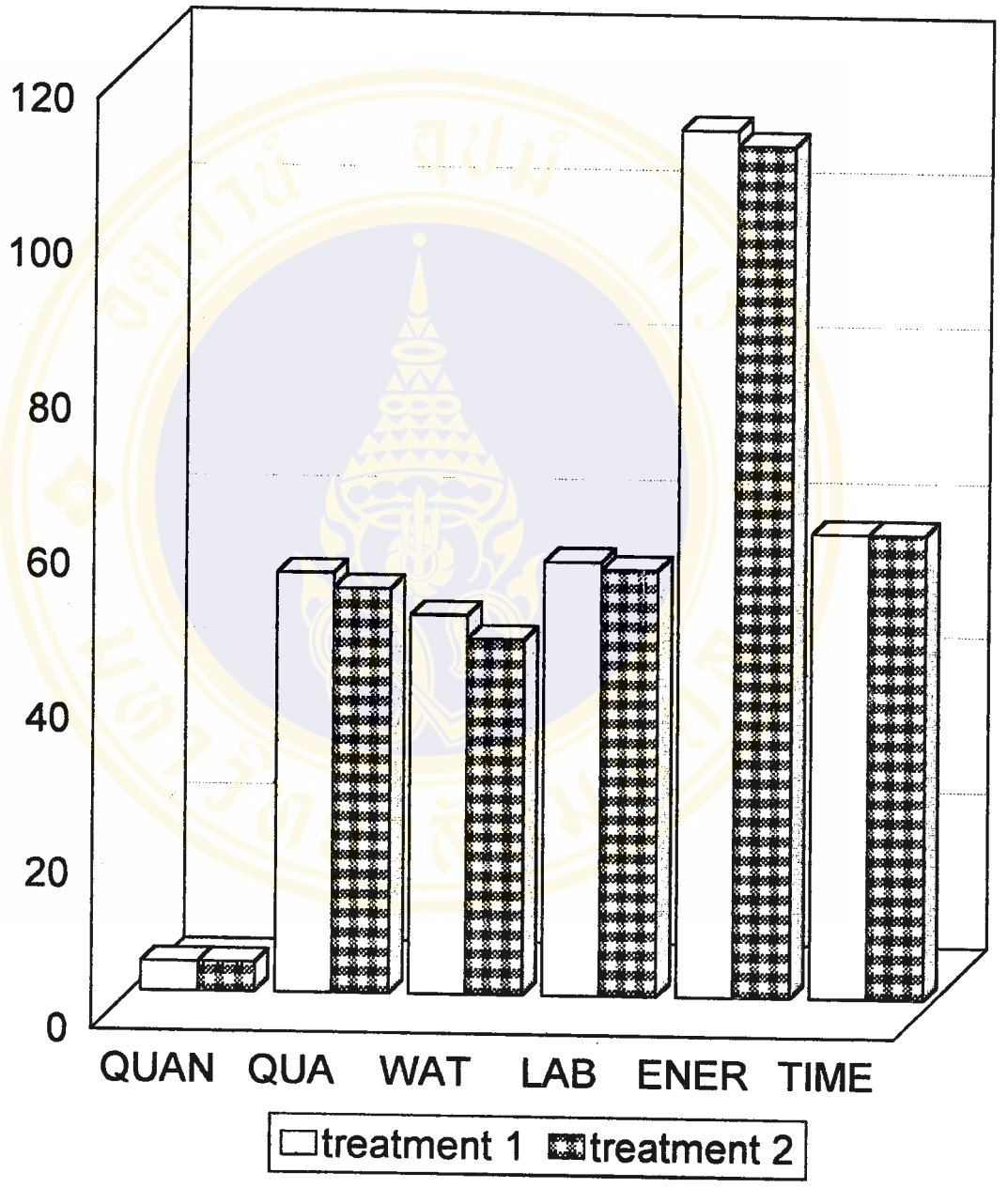
การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกสำหรับปริมาณน้ำแช่เมล็ดถั่วเขียว 2 ระดับ (ตาราง 4.5) พบว่า ระดับปริมาณน้ำแช่เมล็ดถั่วเขียวทั้งระดับ 2.50 และ 5.00 ลิตร ใช้ทรัพยากรน้ำ พลังงานแรงงาน และระยะเวลา ในกระบวนการผลิตใกล้เคียงกัน

การแช่เมล็ดถั่วเขียวโดยใช้ปริมาณน้ำแช่ทั้ง 2 ระดับ สามารถให้คุณภาพน้ำภายหลังการแช่เมล็ดถั่วเขียว (ตาราง 4.6) ทั้งคุณภาพน้ำทางเคมีและคุณภาพน้ำทางกายภาพไม่แตกต่างกัน และในแต่ละระดับยังให้คุณภาพน้ำก่อน/หลังการแช่เมล็ดถั่วเขียวไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องมาจาก การล้างเมล็ดถั่วเขียวได้ล้างสิ่งสกปรกออกไปหมดแล้ว ดังนั้น น้ำที่ผ่านการแช่เมล็ดถั่วเขียวจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ

การทดลองในขั้นนี้ พบว่า ระดับปริมาณน้ำแช่เมล็ดถั่วเขียว 2.50 ลิตร เป็นระดับปริมาณน้ำแช่เมล็ดถั่วเขียวที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก เป็นระดับปริมาณน้ำแช่เมล็ดถั่วเขียวที่ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทั้งทางเคมีและทางกายภาพ นอกจากนี้ยังใช้ปริมาณน้ำในการแช่เมล็ดเพียง 2.50 ลิตรเท่านั้น

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 4.3 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำแช่เมล็ด 2.50 และ 5 ลิตร



QUAN : ปริมาณผลผลิต QUA : คุณภาพผลผลิต WAT : ปริมาณน้ำที่ใช้
LAB : ปริมาณแรงงานที่ใช้ ENER : ปริมาณพลังงานที่ใช้ TIME : ปริมาณระยะเวลาที่ใช้

Copyright by Mahidol University

4.1.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบอิทธิพลของน้ำปูนใส

ทำการทดลองระหว่างวันที่ 6-9 มิถุนายน พ.ศ. 2538 ณ โรงเพาะถั่วงอก ต.บ้านแก้ง อ.เมือง จ.สระแก้ว ช่วงที่ทำการทดลองสภาพบรรยากาศทั่วไปมีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย 30.23 °C อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย 28.1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเฉลี่ย 91 % อัตราการระเหยน้ำโดยเฉลี่ย 1.2 มม. ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที

(1) ผลการทดลอง

1. ผลผลิต การเพาะถั่วงอกโดยใช้กรรมวิธีทั้ง 2 แบบ สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน 3 เกรด (ตาราง 4.7) พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยวิธีการแช่เมล็ดถั่วเขียวด้วยน้ำปูนใส สามารถให้ถั่วงอกเกรด A B และ C โดยให้ถั่วงอกเกรด A และเกรด B ในปริมาณมากกว่าการเพาะถั่วงอกโดยวิธีการไม่แช่เมล็ดถั่วเขียวด้วยน้ำปูนใส และการเพาะถั่วงอกโดยวิธีการแช่เมล็ดถั่วเขียวด้วยน้ำปูนใสให้ถั่วงอกเกรด C ในปริมาณที่น้อยกว่าการเพาะถั่วงอกโดยวิธีการไม่แช่เมล็ดถั่วเขียวด้วยน้ำปูนใส นอกจากนี้การเพาะทั้ง 2 แบบไม่ให้ถั่วงอกเกรด D เลย สำหรับ ปริมาณถั่วงอกที่เพาะได้จากวิธีการเพาะถั่วงอกโดยการแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำปูนใส และการเพาะถั่วงอกโดยวิธีการไม่แช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำปูนใส พบว่า มีอัตราเพิ่มขึ้น 6.83 และ 6.58 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้งตามลำดับ ผลผลิตที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบการแช่เมล็ดและไม่แช่เมล็ดในน้ำปูนใส

ทรีทเมนต์	ผลผลิต (กิโลกรัม)	ผลผลิต (%)			
		เกรด A	เกรด B	เกรด C	เกรด D
1	4.10	51.20	36.70	12.10	–
2	3.95	43.90	30.50	25.60	–

2. ปัจจัยการผลิต การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกโดยกรรมวิธี 2 แบบ (ตาราง 4.8) พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยวิธีการแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำปูนใส ใช้ทรัพยากรน้ำ พลังงาน แรงงาน ในกระบวนการผลิตมากกว่าการเพาะถั่วงอกโดยวิธีการไม่แช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำปูนใส จะเห็นว่าระยะเวลาการผลิตของกรรมวิธีการเพาะถั่วงอกทั้ง 2 แบบ ใช้ระยะเวลาการผลิตเท่ากัน ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการทดลองขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.8

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 4.8 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองการแช่เมล็ดและไม่แช่เมล็ดในน้ำปูนใส

ทรีทเมนต์	ปัจจัยการผลิต			
	น้ำ (ลิตร)	แรงงาน (นาที)	พลังงาน (วัตต์)	เวลา (ชั่วโมง)
1	58.33	51.00	729.13	60.00
2	45.88	52.00	573.50	60.00

3. <u>คุณภาพน้ำ</u> การเพาะถั่วงอกโดยวิธีการแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำปูนใส สามารถให้คุณภาพน้ำภายหลังการแช่เมล็ดถั่วเขียว (ตาราง 4.9) คุณภาพน้ำทางกายภาพไม่แตกต่างกันกับการเพาะถั่วงอกโดยการไม่แช่น้ำปูนใส ส่วนคุณภาพน้ำทางเคมีที่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการใช้ คือ ความเป็นด่าง (ALKALINITY) สำหรับคุณภาพน้ำทางเคมีพารามิเตอร์ที่เหลือ ไม่ว่าจะเป็นความกระด้าง (HARDNESS) ความเป็นกรด (ACIDITY) DO (DISSOLVED OXYGEN) และ $_{P}H$ รวมไปถึงคุณภาพน้ำทางกายภาพ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง คุณภาพน้ำก่อนแช่เมล็ด/คุณภาพน้ำหลังแช่เมล็ด ที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบการแช่เมล็ดและไม่แช่เมล็ดในน้ำปูนใส

ทรีทเมนต์	คุณภาพน้ำ					
	HARDNESS	ACIDITY	ALKALINITY	DO	$_{P}H$	TURBIDITY
1	91/91	7/7	65/75	7.3/7.3	6.5/6.5	5/5
2	91/91	7/7	65/65	7.3/7.3	6.5/6.5	5/5

(2) การวิเคราะห์ผล

1. <u>คุณภาพผลผลิต</u>

สมมติฐานการวิจัย H_O : น้ำปูนใสไม่มีอิทธิพลต่อคุณภาพผลผลิต

H_A : การแช่น้ำปูนใสมีอิทธิพลต่อคุณภาพผลผลิต

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$

Copyright by Mahidol University

μ_1 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
2.48	.575	20.44	4	.000	20.44	3.39	.000

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ คุณภาพผลผลิตที่ได้จากกรรมวิธีทั้ง 2 ระดับ ไม่เท่ากัน

2. ปัจจัยการผลิต

สมมติฐานการวิจัย H_O : การแช่น้ำปูนใสไม่มีอิทธิพลต่อการใช้ปัจจัยการผลิต

H_A : การแช่น้ำปูนใสมีอิทธิพลต่อการใช้ปัจจัยการผลิต

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$

μ_1 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 2

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
1.15	.929	15.87	4	.000	15.87	3.98	.000

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในกรรมวิธีทั้ง 2 ระดับ ไม่เท่ากัน

Copyright by Mahidol University

3. ปริมาณผลผลิต

สมมติฐานการวิจัย H_O : การแช่น้ำปูนใสไม่มีอิทธิพลต่อการให้ปริมาณผลผลิต

H_A : การแช่น้ำปูนใสมีอิทธิพลต่อการให้ปริมาณผลผลิต

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$

μ_1 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
3.00	.500	31.00	4	.000	31.00	3.20	.000

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปริมาณผลผลิตที่ได้จากกรรมวิธีทั้ง 2 ระดับ ไม่เท่ากัน

4. คุณภาพน้ำ

สมมติฐานการวิจัย H_O : การแช่น้ำปูนใสไม่มีอิทธิพลต่อคุณภาพน้ำแช่

H_A : การแช่น้ำปูนใสมีอิทธิพลต่อคุณภาพน้ำแช่

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$

μ_1 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

Copyright by Mahidol University

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
126.58	.016	46.66	4	.000	46.66	2.03	.000

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_A นั่นคือ คุณภาพน้ำที่ได้จากกรรมวิธีทั้ง 2 ระดับ ไม่เท่ากัน

(3) การอภิปรายผลการทดลอง

การเพาะถั่วงอกโดยใช้กรรมวิธีทั้ง 2 แบบ (ตาราง 4.7) พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยวิธีการแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำปูนใสและการเพาะถั่วงอกโดยวิธีการไม่แช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำปูนใส ให้ถั่วงอกที่มีปริมาณไม่แตกต่างกัน สำหรับคุณภาพของถั่วงอกนั้น พบว่า การเพาะโดยวิธีการแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำปูนใส ให้ถั่วงอกคุณภาพเกรด A ในปริมาณที่มากกว่า

การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกโดยกรรมวิธี 2 แบบ (ตาราง 4.8) พบว่า ปริมาณการใช้ทรัพยากรการผลิตจะแปรผันตามความร้อนที่เกิดขึ้นภายในถังเพาะ การเพาะถั่วงอกโดยวิธีการแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำปูนใส มีผลให้เกิดความร้อนภายในถังเพาะขึ้นมากกว่าการเพาะถั่วงอกโดยวิธีการไม่แช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำปูนใส น้ำปูนใสนอกจากจะมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรค และทำให้ถั่วงอกที่เพาะได้มีความกรอบแล้ว น้ำปูนใสยังสามารถเร่งการเจริญเติบโตของถั่วงอกได้อีกด้วย พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยวิธีการแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำปูนใส สามารถให้ถั่วงอกเกรด A ในปริมาณมาก และเนื่องจากน้ำปูนใสก่อให้เกิดความร้อน ดังนั้นการเพาะถั่วงอกโดยวิธีการแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำปูนใส จึงใช้น้ำในกระบวนการผลิตมากกว่าการเพาะถั่วงอกโดยวิธีการไม่แช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำปูนใส ซึ่งสอดคล้องกับการใช้ทรัพยากรการผลิตในการเพาะถั่วงอกโดยการแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำปูนใส ในปริมาณที่มากกว่าการเพาะถั่วงอกโดยวิธีการไม่แช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำปูนใส

การเพาะถั่วงอกโดยวิธีการแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำปูนใส (ตาราง 4.9) พบว่า คุณภาพน้ำทางกายภาพ นั่นคือ ความขุ่น (TURBIDITY) ไม่แตกต่างกันกับการเพาะถั่วงอกโดยการไม่แช่น้ำปูนใส ส่วนคุณภาพน้ำทางเคมีที่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังการใช้ คือ ความเป็นด่าง (ALKALINITY)

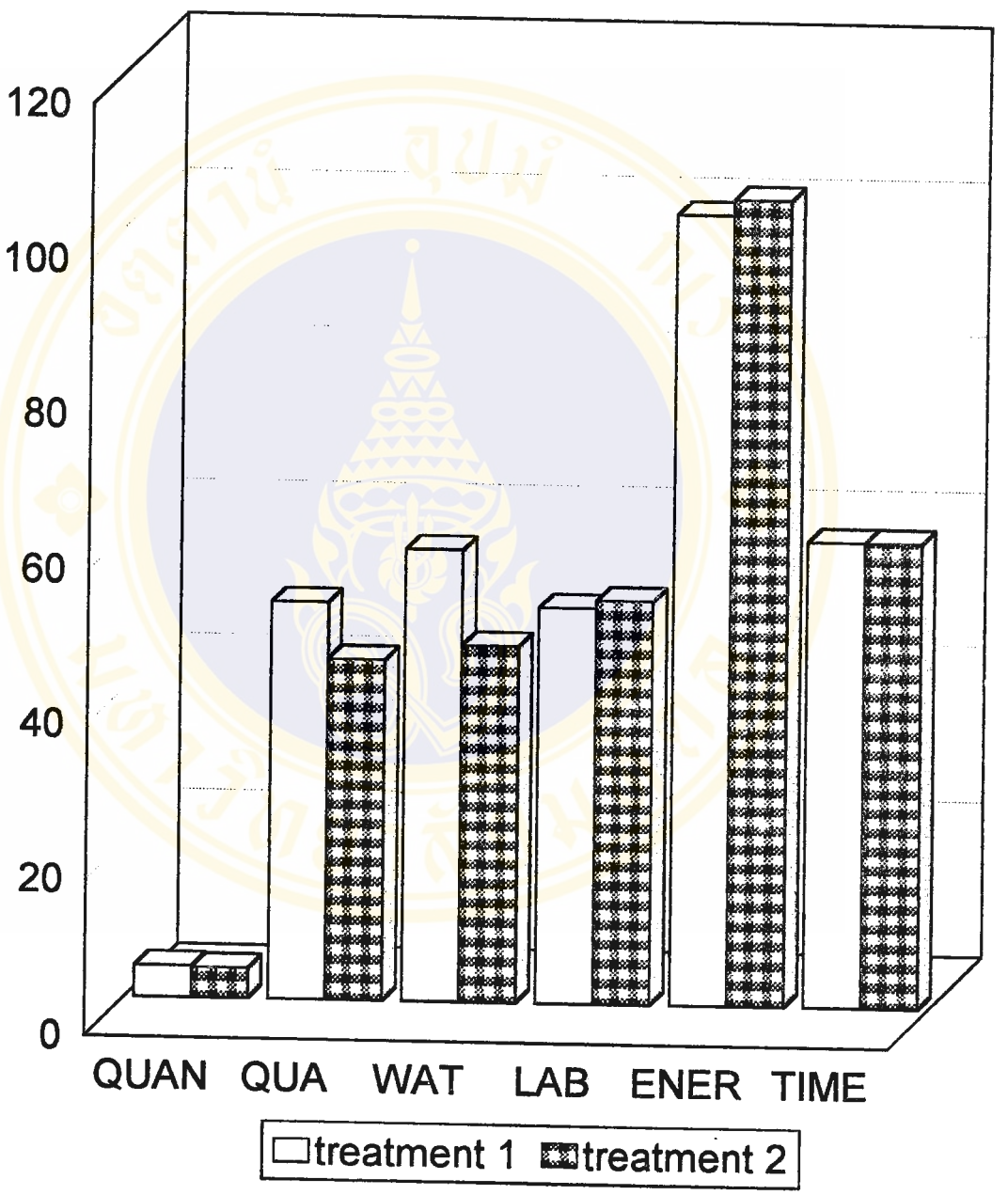
Copyright by Mahidol University

เนื่องจากปริมาณ OH^- ที่เพิ่มขึ้นจากน้ำปูนใส สำหรับคุณภาพน้ำทางเคมีพารามิเตอร์ที่เหลือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

การทดลองในขั้นนี้ พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยวิธีการแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำปูนใส เป็นวิธีการเพาะถั่วงอกที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพเกรด A มากที่สุด และไม่ให้ถั่วงอกเกรด D เลย และให้ถั่วงอกเพิ่มขึ้นถึง 6.83 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 4.4 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบการแช่เมล็ดและไม่แช่เมล็ดในน้ำปูนใส



QUAN : ปริมาณผลผลิต QUA : คุณภาพผลผลิต WAT : ปริมาณน้ำที่ใช้
LAB : ปริมาณแรงงานที่ใช้ ENER : ปริมาณพลังงานที่ใช้ TIME : ปริมาณระยะเวลาที่ใช้

Copyright by Mahidol University

4.1.5 ผลการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการแช่เมล็ดที่เหมาะสม

ทำการทดลองระหว่างวันที่ 6-9 มิถุนายน พ.ศ. 2538 ณ โรงเพาะถั่วงอก ต.บ้านแก้ง อ.เมือง จ.สระแก้ว ช่วงที่ทำการทดลองสภาพบรรยากาศทั่วไปมีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย 30.23 °C อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย 28.1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเฉลี่ย 91 % อัตราการระเหยน้ำโดยเฉลี่ย 1.2 มม. ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที

(1) ผลการทดลอง

1. ผลผลิต การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระยะเวลาการแช่เมล็ดทั้ง 3 ระดับ สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน 4 เกรด (ตาราง 4.10) พบว่า ระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 4 ชั่วโมง สามารถให้ถั่วงอกเกรด A B และ C โดยให้ถั่วงอกเกรด A และเกรด B ในปริมาณมากที่สุด ให้ถั่วงอกเกรด C น้อยที่สุด และไม่ให้ถั่วงอกเกรด D เลย สำหรับระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 2 และ 3 ชั่วโมง สามารถให้ถั่วงอกทุกเกรด โดยให้ถั่วงอกเกรด A B C และ D ลดลง ตามลำดับ ในแต่ละระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด นอกจากนี้ ระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 3 ชั่วโมง สามารถให้ถั่วงอกในทุกเกรดมากกว่าระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 2 ชั่วโมง ปริมาณถั่วงอกที่เพาะได้จากระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 2 3 และ 4 ชั่วโมง พบว่า มีอัตราเพิ่มขึ้น 6.50 6.50 และ 6.80 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง ตามลำดับ ผลผลิตที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการแช่เมล็ด 2, 3 และ 4 ชั่วโมง

ทรีทเมนต์	ผลผลิต (กิโลกรัม)	ผลผลิต (%)			
		เกรด A	เกรด B	เกรด C	เกรด D
1	3.90	30.30	25.30	24.90	19.50
2	3.95	37.80	27.50	22.80	11.90
3	4.10	55.45	29.70	14.85	-

Copyright by Mahidol University

2. ปัจจัยการผลิต การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกสำหรับระยะเวลาการแช่เมล็ด 3 ระดับ (ตาราง 4.11) พบว่า ระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 4 ชั่วโมง ใช้ทรัพยากรในการผลิตน้อยที่สุดทั้งทางด้านน้ำ พลังงาน แรงงาน และระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต สำหรับระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 3 และ 2 ชั่วโมง ใช้ทรัพยากรการผลิตเพิ่มขึ้น ตามลำดับ และมีอัตราการใช้ทรัพยากรการผลิตมากกว่าระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 4 ชั่วโมง ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการทดลองขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการแช่เมล็ด2,3และ4 ชั่วโมง

ทรีทเมนต์	ปัจจัยการผลิต			
	น้ำ (ลิตร)	แรงงาน (นาที)	พลังงาน (วัตต์)	เวลา (ชั่วโมง)
1	65.28	72.00	816.00	72.00
2	56.15	63.00	701.88	72.00
3	49.21	56.00	615.13	60.00

(2) การวิเคราะห์ผล

1. คุณภาพผลผลิต

สมมติฐานการวิจัย H_0 : เวลาแช่เมล็ดทั้ง 3 ระดับให้คุณภาพผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : เวลาแช่เมล็ดอย่างน้อย 1 ระดับให้คุณภาพผลผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 3

Copyright by Mahidol University

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	695.894	2	347.947	610.636	.000
TREAT	695.894	2	347.947	610.636	.000
EXPLAINED	695.894	2	347.947	610.636	.000
RESIDUAL	3.419	6	.570		
TOTAL	699.313	8	87.414		

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ คุณภาพผลผลิตที่ได้จากระยะเวลาการแช่เมล็ดทั้ง 3 ระดับ ไม่เท่ากัน

2. ปัจจัยการผลิต

สมมติฐานการวิจัย H_O : เวลาแช่เมล็ดทั้ง 3 ระดับใช้ปัจจัยการผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : เวลาแช่เมล็ดอย่างน้อย 1 ระดับใช้ปัจจัยการผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 3

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	2437.036	2	1218.518	1296.909	.000
TREAT	2437.036	2	1218.518	1296.909	.000
EXPLAINED	2437.036	2	1218.518	1296.909	.000
RESIDUAL	5.637	6	.940		
TOTAL	2442.673	8	305.334		

Copyright by Mahidol University

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปัจจัยการผลผลิตที่ใช้ในระยะเวลาการแช่เมล็ดทั้ง 3 ระดับ ไม่เท่ากัน

3. ปริมาณผลผลิต

สมมติฐานการวิจัย H_O : เวลาแช่เมล็ดทั้ง 3 ระดับให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : เวลาแช่เมล็ดอย่างน้อย 1 ระดับให้ปริมาณผลผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 3

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	.104	2	.052	28.479	.001
TREAT	.104	2	.052	28.479	.001
EXPLAINED	.140	2	.052	28.479	.001
RESIDUAL	.011	6	.002		
TOTAL	.115	8	.014		

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปริมาณผลผลิตที่ได้จากระยะเวลาการแช่เมล็ดทั้ง 3 ระดับ ไม่เท่ากัน

(3) การอภิปรายผลการทดลอง

การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระยะเวลาการแช่เมล็ดทั้ง 3 (ตาราง 4.10) พบว่า การเพาะถั่วงอกที่ระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 4 ชั่วโมง ให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพและปริมาณมากที่สุด สำหรับระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 3 และ 2 ชั่วโมง ให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพและปริมาณลดลง ตามลำดับ ที่ระดับระยะ

Copyright by Mahidol University

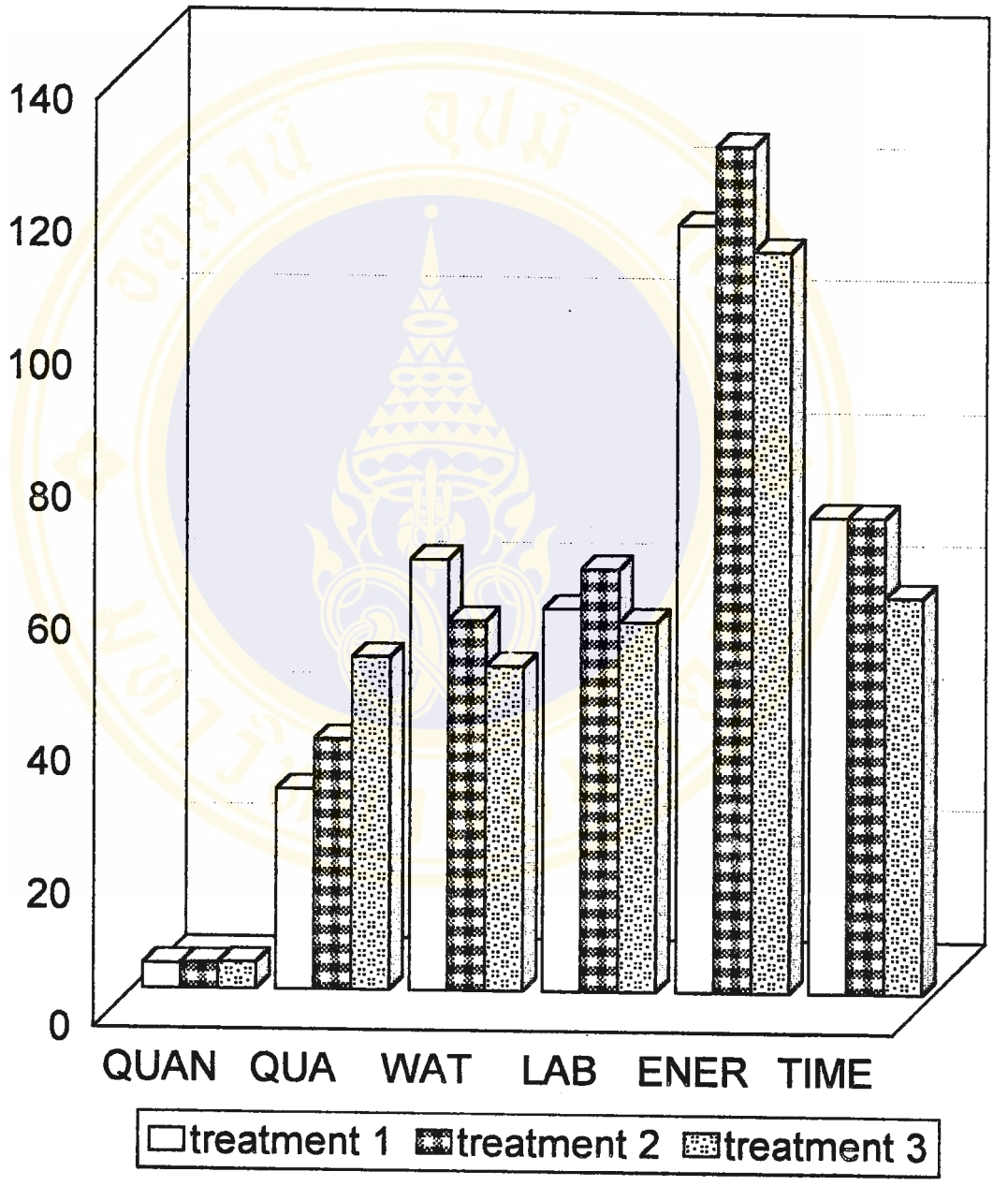
เวลาการแช่เมล็ด 4 ชั่วโมง จัดว่าเป็นระดับระยะเวลาการแช่เมล็ดที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีระดับความชื้นเริ่มต้นสำหรับการงอก 130 % ของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง หรือมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเป็น 2.00 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง ซึ่งจัดว่าเป็นระดับความชื้นเริ่มต้นสำหรับการงอกที่เหมาะสม สำหรับระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 3 และ 2 ชั่วโมง มีระดับความชื้นเริ่มต้นสำหรับการงอก 110 และ 90 % ของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง ตามลำดับ หรือมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเป็น 1.80 และ 1.60 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจัดว่าเป็นระดับความชื้นเริ่มต้นสำหรับการงอกที่น้อยเกินไป ในการเพาะจึงต้องใช้ระยะเวลาถึง 72 ชั่วโมง จะเห็นว่า ระดับความชื้นเริ่มต้นสำหรับการงอกที่ 90 และ 110 % ของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง เป็นระดับความชื้นเริ่มต้นที่น้อยเกินไป มีผลให้ถั่วงอกที่ทำการเพาะเกิดการงอกอย่างไม่สมบูรณ์ (เกรด D) และมีอัตราการงอกช้าไป 18 และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อเทียบกับระดับความชื้นเริ่มต้นสำหรับการงอกที่ 130 % ของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง (60 ชั่วโมง)

การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกสำหรับระยะเวลาการแช่เมล็ด 3 ระดับ (ตาราง 4.11) พบว่า ระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 4 ชั่วโมง ใช้ทรัพยากรในการผลิตน้อยที่สุด ทั้งทางด้านน้ำ พลังงาน แรงงาน และระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต สำหรับระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 3 และ 2 ชั่วโมง ใช้ทรัพยากรการผลิตเพิ่มขึ้น ตามลำดับ และมีอัตราการใช้ทรัพยากรการผลิตมากกว่าระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 4 ชั่วโมง เนื่องจากที่ระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 3 และ 2 ชั่วโมง ใช้ระยะเวลาในการผลิตยาวนานออกไปถึง 12 ชั่วโมง ดังนั้นอัตราการใช้ทรัพยากรในการผลิตจึงมากกว่าระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 4 ชั่วโมง ซึ่งมีระยะเวลาในการผลิตสั้นกว่าเพียง 60 ชั่วโมง

การทดลองในขั้นนี้ พบว่า ระดับระยะเวลาการแช่เมล็ด 4 ชั่วโมง เป็นระดับระยะเวลาการแช่เมล็ดที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสามารถให้ระดับความชื้นเริ่มต้นสำหรับการงอกในระดับที่พอเหมาะ และสามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพเกรด A มากที่สุด และไม่ให้ถั่วงอกเกรด D เลย และให้ถั่วงอกเพิ่มขึ้นถึง 6.80 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง นอกจากนี้ยังเป็นระดับระยะเวลาการแช่เมล็ดที่ใช้อัตราทรัพยากรการผลิตน้อยที่สุด

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 4.5 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการแช่เมล็ด 2, 3 และ 4 ชั่วโมง



QUAN : ปริมาณผลผลิต QUA : คุณภาพผลผลิต WAT : ปริมาณน้ำที่ใช้
LAB : ปริมาณแรงงานที่ใช้ ENER : ปริมาณพลังงานที่ใช้ TIME : ปริมาณระยะเวลาที่ใช้

Copyright by Mahidol University

4.1.6 ผลการทดลองเปรียบเทียบระยะห่างการรดน้ำที่เหมาะสม

ทำการทดลองระหว่างวันที่ 11-14 มิถุนายน พ.ศ. 2538 ณ โรงเพาะถั่วงอก ต.บ้านแก้ง อ.เมือง จ.สระแก้ว ช่วงที่ทำการทดลองสภาพบรรยากาศทั่วไปมีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย 30.54 °C อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย 28.1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเฉลี่ย 91 % อัตราการระเหยน้ำโดยเฉลี่ย 1.2 มม. ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที

(1) ผลการทดลอง

1. ผลผลิต การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระยะห่างการรดน้ำทั้ง 3 ระดับ สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน 4 เกรด (ตาราง 4.12) พบว่า ระดับระยะห่างการรดน้ำ 3 ชั่วโมง สามารถให้ถั่วงอกเกรด A B และ C โดยให้ถั่วงอกเกรด A ในปริมาณที่มากที่สุด และให้ถั่วงอกเกรด B และ C ในปริมาณลดลง ตามลำดับ สำหรับระดับระยะห่างการรดน้ำ 5 และ 7 ชั่วโมง สามารถให้ถั่วงอกเกรด A B และ C โดยให้ถั่วงอกเกรด B ในปริมาณที่มากที่สุด และให้ถั่วงอกเกรด D และ C ในปริมาณลดลง ตามลำดับ สำหรับ ปริมาณถั่วงอกที่เพาะได้จากระดับระยะห่างการรดน้ำ 3 5 และ 7 ชั่วโมง พบว่า มีอัตราเพิ่มขึ้น 6.50 6.08 และ 5.80 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง ตามลำดับ ผลผลิตที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบระยะห่างการรดน้ำ 3, 5 และ 7 ชั่วโมง

ทรีทเมนต์	ผลผลิต (กิโลกรัม)	ผลผลิต (%)			
		เกรด A	เกรด B	เกรด C	เกรด D
1	3.90	53.60	25.40	19.00	–
2	3.65	–	22.50	40.70	36.80
3	3.48	–	18.30	42.50	39.20

2. ปัจจัยการผลิต การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกสำหรับระยะห่างการรดน้ำ 3 ระดับ (ตาราง 4.13) พบว่า ระดับระยะห่างการรดน้ำ 3 ชั่วโมง ใช้ทรัพยากรการผลิตมากที่สุด ทั้งทางด้านน้ำ พลังงาน แรงงาน และระยะเวลาการผลิต สำหรับระดับระยะห่างการรดน้ำ 5 และ 7

Copyright by Mahidol University

ชั่วโมง ใช้ทรัพยากรการผลิตในทุกด้านลดลง ตามลำดับ ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการทดลองขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบระยะห่างการรดน้ำ 3,5 และ 7 ชั่วโมง

ทรีทเมนต์	ปัจจัยการผลิต			
	น้ำ (ลิตร)	แรงงาน (นาที)	พลังงาน (วัตต์)	เวลา (ชั่วโมง)
1	72.80	80.00	910.00	60.00
2	57.40	60.00	717.50	60.00
3	36.50	40.00	456.25	60.00

3. <u>คุณภาพน้ำ</u> การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระยะห่างการรดน้ำทั้ง 3 ระดับ สามารถให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน (ตาราง 4.14) ทั้งคุณภาพน้ำทางเคมีและคุณภาพน้ำทางกายภาพ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทั้งก่อน/หลังการรดน้ำ คุณภาพน้ำก่อนใช้/คุณภาพน้ำหลังใช้ ที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบระยะห่างการรดน้ำ 3, 5 และ 7 ชั่วโมง

ทรีทเมนต์	คุณภาพน้ำ					
	HARDNESS	ACIDITY	ALKALINITY	DO	$_{P}H$	TURBIDITY
1	93/93	9/9	66/66	7.4/7.4	6.5/6.5	5/5
2	93/93	9/9	66/66	7.4/7.4	6.5/6.5	5/5
3	93/93	9/9	66/66	7.4/7.4	6.5/6.5	5/5

(2) การวิเคราะห์ผล

1. <u>คุณภาพผลผลิต</u>

สมมติฐานการวิจัย H_O : ระยะการรดน้ำทั้ง 3 ระดับให้คุณภาพผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ระยะการรดน้ำอย่างน้อย 1 ระดับให้คุณภาพผลผลิตแตกต่าง

Copyright by Mahidol University

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 3

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	5620.923	2	2810.462	127554.99	.000
TREAT	5620.923	2	2810.462	127554.99	.000
EXPLAINED	5620.923	2	2810.462	127554.99	.000
RESIDUAL	.132	6	.022		
TOTAL	5621.055	8	702.632		

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ คุณภาพผลผลิตที่ได้จากระยะห่างการรดน้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่เท่ากัน

2. <u>ปัจจัยการผลิต</u>

สมมติฐานการวิจัย H_O : ระยะการรดน้ำทั้ง 3 ระดับใช้ปัจจัยการผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ระยะการรดน้ำอย่างน้อย 1 ระดับใช้ปัจจัยการผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 3

Copyright by Mahidol University

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	38219.371	2	19109.986	3836.995	.000
TREAT	38219.971	2	19109.986	3836.995	.000
EXPLAINED	38219.971	2	19109.896	3836.995	.000
RESIDUAL	29.883	6	4.980		
TOTAL	38249.854	8	4781.232		

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปัจจัยการผลผลิตที่ใช้ในระยะห่างการรดน้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่เท่ากัน

3. ปริมาณผลผลิต

สมมติฐานการวิจัย H_O : ระยะการรดน้ำทั้ง 3 ระดับให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ระยะการรดน้ำอย่างน้อย 1 ระดับให้ปริมาณผลผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 3

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	.291	2	.146	229.895	.000
TREAT	.291	2	.146	229.895	.000
EXPLAINED	.291	2	.146	229.895	.000
RESIDUAL	.004	6	.001		
TOTAL	.295	8	.037		

Copyright by Mahidol University

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปริมาณผลผลิตที่ได้จากระยะห่างการรดน้ำทั้ง 3 ระดับ ไม่เท่ากัน

4. <u>คุณภาพน้ำ</u>

สมมติฐานการวิจัย H_O : ระยะการรดน้ำทั้ง 3 ระดับให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน

H_A : ระยะการรดน้ำอย่างน้อย 1 ระดับให้คุณภาพน้ำแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 3

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	81.690	2	40.845	1313.339	.000
TREAT	81.960	2	40.845	1313.339	.000
EXPLAINED	81.960	2	40.845	1313.339	.000
RESIDUAL	.187	6	.031		
TOTAL	81.876	8	10.235		

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ยอมรับ H_O และปฏิเสธ H_A นั่นคือ คุณภาพน้ำที่ได้จากระยะห่างการรดน้ำทั้ง 3 ระดับ เท่ากัน

(3) การอภิปรายผลการทดลอง

การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระยะห่างการรดน้ำทั้ง 3 (ตาราง 4.12) พบว่า บทบาทสำคัญอีกประการหนึ่งของน้ำในขบวนการงอกของเมล็ดนอกเหนือจากการเพิ่มความชื้นเริ่มต้นให้แก่เมล็ดก่อนการเพาะ นั่นคือการทำให้เมล็ดเกิดขบวนการงอกที่สมบูรณ์นั่นเอง พบว่า ถ้าระยะห่างการรดน้ำยาว

Copyright by Mahidol University

นานมากเกินไป (5 และ 7 ชั่วโมง) เมล็ดถั่วเขียวจะเกิดการงอกอย่างไม่สมบูรณ์ (เกรด D) ส่วนเมล็ดถั่วเขียวที่งอกได้ก็มักจะได้ถั่วงอกที่มีลักษณะผอม (เกรด B) ซึ่งเป็นเกรดของถั่วงอกที่เพาะได้เป็นส่วนมากของระดับระยะห่างการรดน้ำ 5 และ 7 ชั่วโมง ถ้าระยะห่างการรดน้ำอยู่ในช่วงที่เหมาะสม (3 ชั่วโมง) เมล็ดถั่วเขียวจะเกิดการงอกอย่างสมบูรณ์ และให้ถั่วงอกที่มีลักษณะอวบในปริมาณที่มากกว่า ถั่วงอกที่เพาะได้ส่วนใหญ่จะเป็นเกรด A

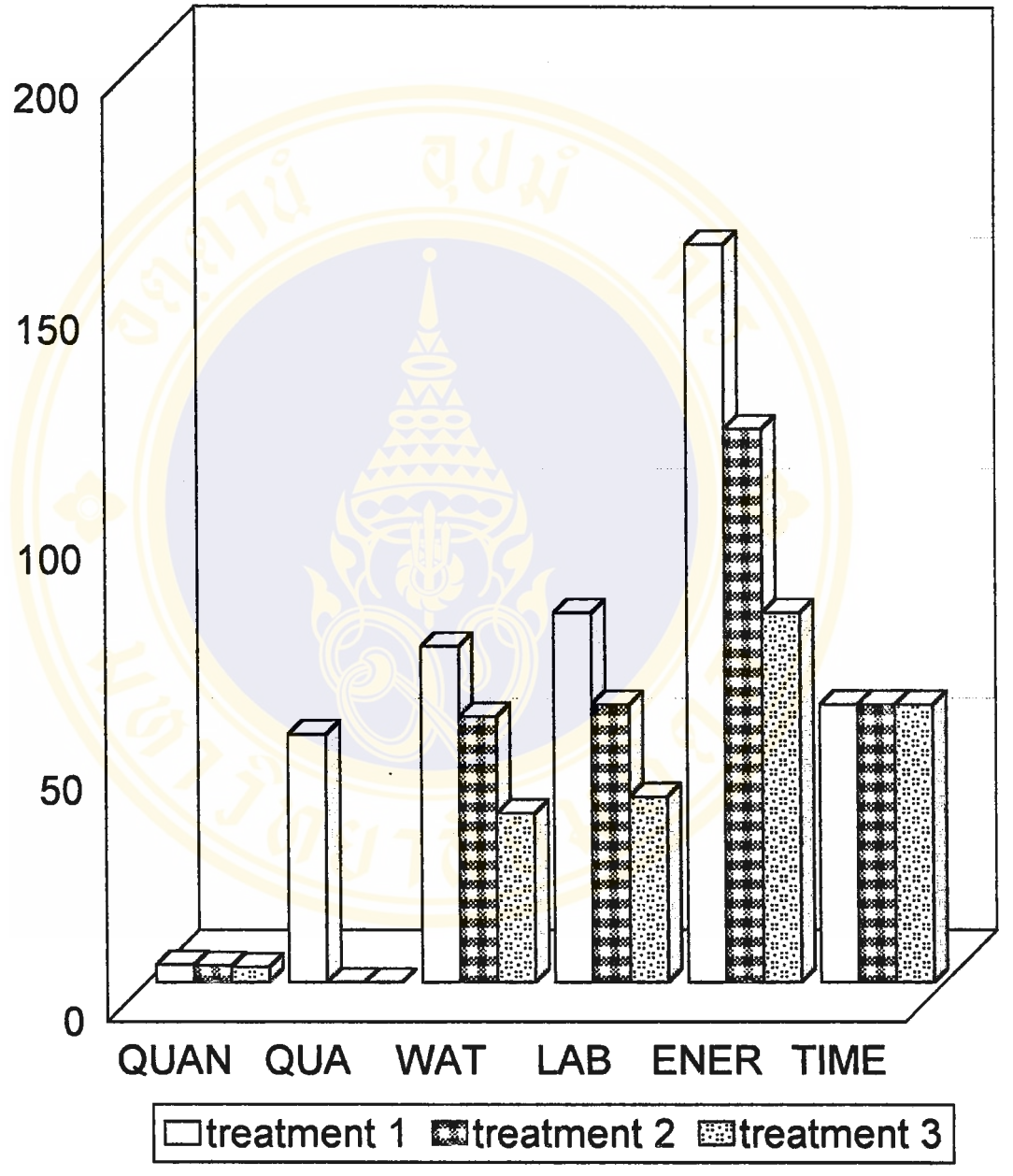
การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกสำหรับระยะห่างการรดน้ำ 3 ระดับ (ตาราง 4.13) พบว่าที่ระดับระยะห่างการรดน้ำ 3 ชั่วโมง จัดว่าเป็นระดับระยะห่างการรดน้ำที่เหมาะสม และมีจำนวนการรดน้ำ 20 ครั้ง ตลอดระยะเวลาการผลิตจึงทำให้มีการใช้ทรัพยากรการผลิตในอัตราที่สูงที่สุด สำหรับระดับระยะห่างการรดน้ำ 5 และ 7 ชั่วโมง เป็นระดับระยะห่างการรดน้ำที่นานเกินไป และมีจำนวนการรดน้ำ 12 และ 9 ครั้ง ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการผลิตจึงทำให้มีการใช้ทรัพยากรการผลิตในอัตราที่ลดลงมาเป็นอันดับ 2 และ 3 ตามลำดับ

การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระยะห่างการรดน้ำทั้ง 3 ระดับ สามารถให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน (ตาราง 4.14) ทั้งคุณภาพน้ำทางเคมีและคุณภาพน้ำทางกายภาพ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทั้งก่อน/หลังการรดน้ำ พบว่า ระยะห่างการรดน้ำทั้ง 3 ระดับแต่ละกลุ่มเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันสามารถให้คุณภาพน้ำที่ไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ไม่ว่าจะเป็นระยะห่างการรดน้ำระดับใดก็ไม่ทำให้คุณภาพน้ำที่ผ่านการรดเปลี่ยนแปลงไป สำหรับคุณภาพน้ำทางเคมีที่ทำการตรวจวัดในการทดลองขั้นนี้ ไม่ว่าจะเป็นความกระด้าง (HARDNESS) ความเป็นกรด (ACIDITY) ความเป็นด่าง (ALKALINITY) DO (DISSOLVED OXYGEN) และ $_{p}H$ รวมไปถึงคุณภาพน้ำทางกายภาพ นั่นคือ ความขุ่น (TURBIDITY) พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง

การทดลองในขั้นนี้ พบว่า ระดับระยะห่างการรดน้ำ 3 ชั่วโมง เป็นระดับระยะห่างการรดน้ำที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพเกรด A มากที่สุด และไม่ให้ถั่วงอกเกรด D เลย และให้ถั่วงอกเพิ่มขึ้นถึง 6.50 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 4.6 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบระยะห่างการรดน้ำ 3, 5 และ 7 ชั่วโมง



QUAN : ปริมาณผลผลิต QUA : คุณภาพผลผลิต WAT : ปริมาณน้ำที่ใช้
LAB : ปริมาณแรงงานที่ใช้ ENER : ปริมาณพลังงานที่ใช้ TIME : ปริมาณระยะเวลาที่ใช้

Copyright by Mahidol University

4.1.7 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำรดที่เหมาะสม

ทำการทดลองระหว่างวันที่ 11-14 มิถุนายน พ.ศ. 2538 ณ โรงเพาะถั่วงอก ต.บ้านแก้ง อ.เมือง จ.สระแก้ว ช่วงที่ทำการทดลองสภาพบรรยากาศทั่วไปมีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย 30.54 °C อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย 28.1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเฉลี่ย 91 % อัตราการระเหยน้ำโดยเฉลี่ย 1.2 มม. ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที

(1) ผลการทดลอง

1. ผลผลิต การเพาะถั่วงอกโดยใช้ปริมาณน้ำรดทั้ง 3 ระดับ สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน 3 เกรด (ตาราง 4.15) พบว่า ระดับปริมาณน้ำรด 60 ลิตร สามารถให้ถั่วงอกเกรด A B และ C โดยมีปริมาณลดลง ตามลำดับ สำหรับระดับปริมาณน้ำรด 140 และ 280 ลิตร สามารถให้ถั่วงอกเกรด A และ B โดยมีปริมาณถั่วงอกเกรด A มากที่สุด และทั้ง 2 ระดับปริมาณน้ำรดให้ปริมาณถั่วงอกใกล้เคียงกัน สำหรับปริมาณถั่วงอกที่เพาะได้จากระดับการรดน้ำ 60 140 และ 280 ลิตร พบว่า มีอัตราเพิ่มขึ้น 6.41 6.86 และ 6.91 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง ตามลำดับ ผลผลิตที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำรด 60, 140 และ 280 ลิตร

ทรีทเมนต์	ผลผลิต (กิโลกรัม)	ผลผลิต (%)			
		เกรด A	เกรด B	เกรด C	เกรด D
1	3.85	56.40	25.00	18.60	-
2	4.12	84.80	15.20	-	-
3	4.15	87.60	12.40	-	-

2. ปัจจัยการผลิต การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกสำหรับปริมาณน้ำรด 3 ระดับ (ตาราง 4.16) พบว่า ระดับปริมาณน้ำรด 60 ลิตร ใช้ทรัพยากรน้ำ พลังงาน แรงงาน ในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด สำหรับระดับปริมาณน้ำรด 140 และ 280 ลิตร ใช้ทรัพยากรน้ำ พลังงาน แรงงาน ในกระบวนการผลิตมากขึ้น ตามลำดับ ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการทดลองขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.16

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 4.16 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำรด 60, 140 และ 280 ลิตร

ทรีทเมนต์	ปัจจัยการผลิต			
	น้ำ (ลิตร)	แรงงาน (นาที)	พลังงาน (วัตต์)	เวลา (ชั่วโมง)
1	58.90	67.00	736.25	60.00
2	146.90	160.00	1,836.25	60.00
3	286.90	300.00	3,586.25	60.00

3. คุณภาพน้ำ การเพาะถั่วงอกโดยการใช้ปริมาณน้ำรดทั้ง 3 ระดับ สามารถให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน (ตาราง 4.17) ทั้งคุณภาพน้ำทางเคมีและคุณภาพน้ำทางกายภาพ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทั้งก่อน/หลังการรดน้ำ พบว่า ปริมาณน้ำรดทั้ง 3 ระดับแต่ละกลุ่มเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน สามารถให้คุณภาพน้ำที่ไม่แตกต่างกันอีกด้วย นั่นคือ ไม่ว่าจะเป็นปริมาณน้ำรดระดับใดก็ไม่ทำให้คุณภาพน้ำที่ผ่านการรดเปลี่ยนแปลงไป คุณภาพน้ำก่อนใช้/คุณภาพน้ำหลังใช้ ที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำรด 60, 140 และ 280 ลิตร

ทรีทเมนต์	คุณภาพน้ำ					
	HARDNESS	ACIDITY	ALKALINITY	DO	pH	TURBIDITY
1	93/93	8/8	66/66	7.2/7.2	6.5/6.5	5/5
2	92/92	9/9	68/68	7.4/7.4	6.5/6.5	5/5
3	94/94	10/10	66/66	7.2/7.2	6.5/6.5	5/5

(2) การวิเคราะห์ผล

1. คุณภาพผลผลิต

สมมติฐานการวิจัย H_0 : ปริมาณน้ำรดทั้ง 3 ระดับให้คุณภาพผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ปริมาณน้ำรดอย่างน้อย 1 ระดับให้คุณภาพผลผลิตแตกต่าง

Copyright by Mahidol University

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 3

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	1732.114	2	866.057	1809.186	.000
TREAT	1732.114	2	866.057	1809.186	.000
EXPLAINED	1732.114	2	866.057	1809.186	.000
RESIDUAL	2.872	6	.479		
TOTAL	1734.987	8	216.873		

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ คุณภาพผลผลิตที่ได้จากปริมาณน้ำรดทั้ง 3 ระดับ ไม่เท่ากัน

2. <u>ปัจจัยการผลิต</u>

สมมติฐานการวิจัย H_O : ปริมาณน้ำรดทั้ง 3 ระดับใช้ปัจจัยการผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ปริมาณน้ำรดอย่างน้อย 1 ระดับใช้ปัจจัยการผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปัจจัยการผลิตผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 3

Copyright by Mahidol University

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	1310574.663	2	655287.332	1083696.7	.000
TREAT	1310574.663	2	655287.332	1083696.7	.000
EXPLAINED	1310574.663	2	655287.332	1083696.7	.000
RESIDUAL	3.628	6	.605		
TOTAL	1310578.291	8	163822.286		

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในปริมาณน้ำรดทั้ง 3 ระดับ ไม่เท่ากัน

3. <u>ปริมาณผลผลิต</u>

สมมติฐานการวิจัย H_O : ปริมาณน้ำรดทั้ง 3 ระดับให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ปริมาณน้ำรดอย่างน้อย 1 ระดับให้ปริมาณผลผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 3

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	.151	2	.076	147.804	.000
TREAT	.151	2	.076	147.804	.000
EXPLAINED	.151	2	.076	147.804	.000
RESIDUAL	.003	6	.001		
TOTAL	.154	8	.019		

Copyright by Mahidol University

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปริมาณผลผลิตที่ได้จากปริมาณน้ำรดทั้ง 3 ระดับ ไม่เท่ากัน

4. คุณภาพน้ำ

สมมติฐานการวิจัย H_O : ปริมาณน้ำรดทั้ง 3 ระดับให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน

H_A : ปริมาณน้ำรดอย่างน้อย 1 ระดับให้คุณภาพน้ำแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 3

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	12.543	2	6.272	201.656	.000
TREAT	12.543	2	6.272	201.656	.000
EXPLAINED	12.543	2	6.272	201.656	.000
RESIDUAL	.187	6	.031		
TOTAL	12.730	8	1.591		

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ยอมรับ H_O และปฏิเสธ H_A นั่นคือ คุณภาพน้ำที่ได้จากปริมาณน้ำรดทั้ง 3 ระดับ เท่ากัน

(3) การอภิปรายผลการทดลอง

การเพาะถั่วงอกโดยใช้ปริมาณน้ำรดทั้ง 3 ระดับ (ตาราง 4.15) พบว่า บทบาทสำคัญอีกประการหนึ่งของน้ำในขบวนการงอกของเมล็ด นอกเหนือจากการเพิ่มความชื้นเริ่มต้นให้แก่เมล็ดก่อนการเพาะ นั่นคือการทำให้เมล็ดเกิดขบวนการงอกที่สมบูรณ์นั่นเอง พบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำในการ

Copyright by Mahidol University

ให้น้ำแบบการรดน้ำผ่านถังเพาะในแต่ละครั้ง จะช่วยให้ถั่วงอกที่เพาะได้โดยการรดน้ำผ่านถังเพาะมีคุณภาพที่ดีขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นสามารถแทรกซึมเข้าไประหว่างรูพรุนของถั่วงอกได้ดีขึ้น ทำให้ถั่วงอกได้รับน้ำอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอกันทั้งถังเพาะ ถ้าให้ปริมาณน้ำรดน้อยเกินไป (60 ลิตร) เมล็ดถั่วเขียวที่งอกจึงมีลักษณะปะปนกัน ระหว่างถั่วงอกที่มีลักษณะสมบูรณ์และถั่วงอกที่มีลักษณะค่อนข้างสมบูรณ์ (เกรด A B และ C) ถ้าให้ปริมาณน้ำรดอยู่ในช่วงที่เหมาะสม (140 และ 280 ลิตร) เมล็ดถั่วเขียวจะเกิดการงอกอย่างสมบูรณ์ และให้ถั่วงอกที่มีลักษณะสมบูรณ์ในปริมาณที่มากกว่า ถั่วงอกที่เพาะได้ส่วนใหญ่จะเป็นเกรด A

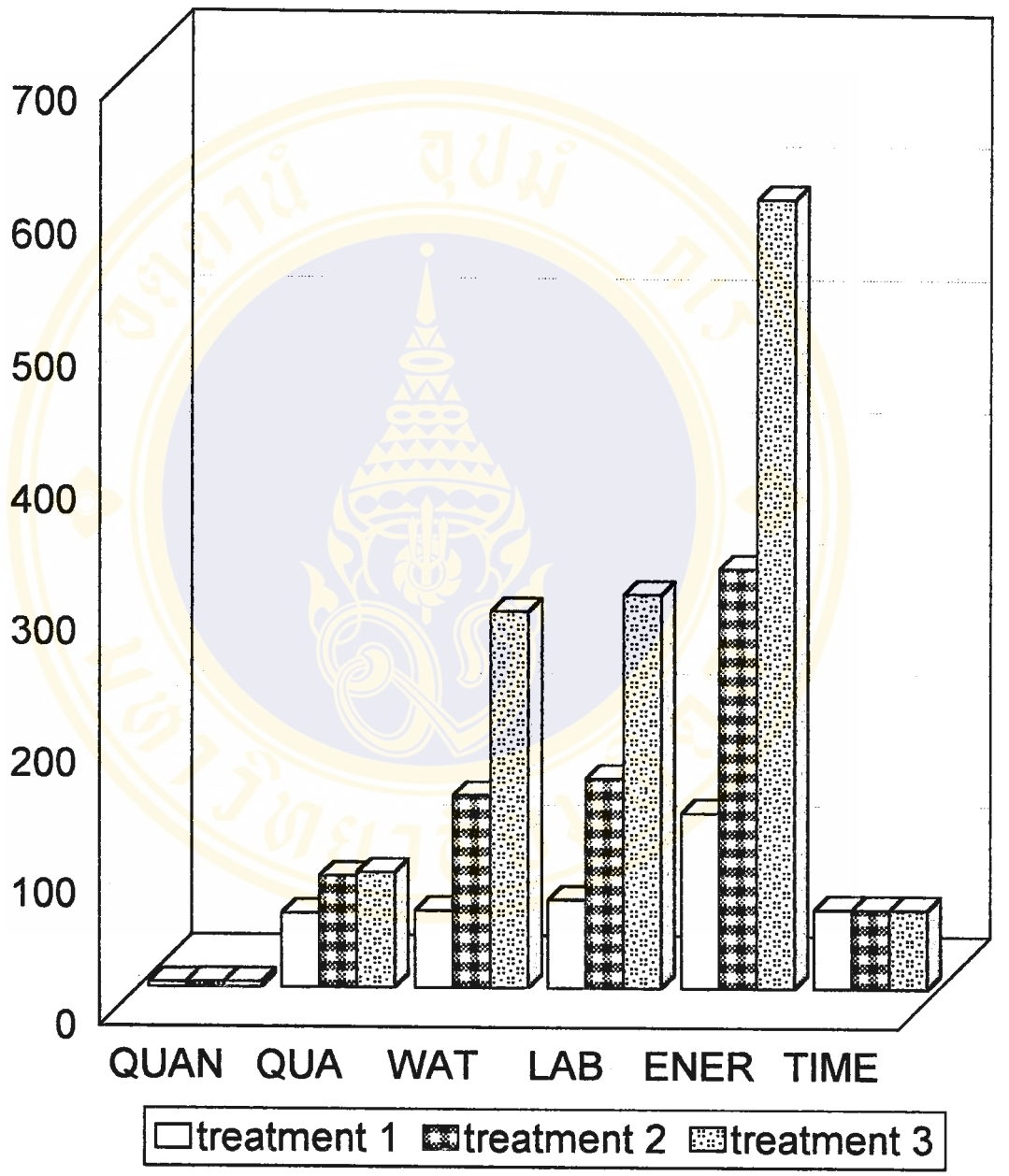
การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกสำหรับปริมาณน้ำรด 3 ระดับ (ตาราง 4.16) พบว่า การรดน้ำทั้ง 3 ระดับ มีจำนวนการรดน้ำ 20 ครั้ง ตลอดระยะเวลาการผลิตเท่ากัน แตกต่างกันที่แต่ละครั้งใช้ปริมาณน้ำรดไม่เท่ากัน พบว่า ที่ระดับปริมาณน้ำรด 60 ลิตร จัดว่าเป็นระดับปริมาณน้ำรดที่น้อยเกินไป เนื่องจากให้ถั่วงอกเกรด A น้อยที่สุด ระดับปริมาณน้ำรด 140 ลิตร จัดว่าเป็นระดับปริมาณน้ำรดที่เหมาะสม ระดับปริมาณน้ำรด 280 ลิตร จัดว่าเป็นระดับปริมาณน้ำรดที่มากเกินไป เนื่องจากให้ถั่วงอกเกรด A มากที่สุดและมีปริมาณใกล้เคียงกันทั้ง 2 ระดับปริมาณน้ำรด

การเพาะถั่วงอกโดยการใช้ปริมาณน้ำรดทั้ง 3 ระดับ สามารถให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน (ตาราง 4.17) ทั้งคุณภาพน้ำทางเคมีและคุณภาพน้ำทางกายภาพ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทั้งก่อน/หลังการรดน้ำ พบว่า ปริมาณน้ำรดทั้ง 3 ระดับแต่ละกลุ่มเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน สามารถให้คุณภาพน้ำที่ไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ไม่ว่าจะเป็นปริมาณน้ำรดระดับใดก็ไม่ทำให้คุณภาพน้ำที่ผ่านการรดเปลี่ยนแปลงไป สำหรับคุณภาพน้ำทางเคมีที่ทำการตรวจวัดในการทดลองขั้นนี้ ไม่ว่าจะเป็นความกระด้าง (HARDNESS) ความเป็นกรด (ACIDITY) ความเป็นด่าง (ALKALINITY) DO (DISSOLVED OXYGEN) และ $_{P}H$ รวมไปถึงคุณภาพน้ำทางกายภาพ นั่นคือ ความขุ่น (TURBIDITY) พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง

การทดลองในขั้นนี้ พบว่า ระดับปริมาณน้ำรด 60 ลิตร เป็นระดับปริมาณน้ำรดที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพเกรด A และ B มากที่สุด และให้ถั่วงอกเพิ่มขึ้นถึง 6.91 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 4.7 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณน้ำรดเมล็ด 60, 140 และ 280 ลิตร



QUAN : ปริมาณผลผลิต QUA : คุณภาพผลผลิต WAT : ปริมาณน้ำที่ใช้
LAB : ปริมาณแรงงานที่ใช้ ENER : ปริมาณพลังงานที่ใช้ TIME : ปริมาณระยะเวลาที่ใช้

Copyright by Mahidol University

4.1.8 ผลการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหมาะสม

ทำการทดลองระหว่างวันที่ 11–14 มิถุนายน พ.ศ. 2538 ณ โรงเพาะถั่วงอก ต.บ้านแก้ง อ.เมือง จ.สระแก้ว ช่วงที่ทำการทดลองสภาพบรรยากาศทั่วไปมีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย 30.54 °C อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย 28.1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเฉลี่ย 91 % อัตราการระเหยน้ำโดยเฉลี่ย 1.2 มม. ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที

(1) ผลการทดลอง

1. ผลผลิต การเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิทั้ง 3 ระดับ สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน 4 เกรด (ตาราง 4.18) พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิระดับตอนล่างของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด สามารถให้ถั่วงอกเกรด A B และ C โดยให้ถั่วงอกเกรด A ในปริมาณมากที่สุด ส่วนถั่วงอกเกรด B และ C มีปริมาณน้อยกว่าการเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิระดับตอนกลางและตอนบนของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด และไม่ให้ถั่วงอกเกรด D เลย สำหรับการเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิระดับตอนกลางของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด และการเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิตอนบนของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด สามารถให้ถั่วงอกเกรด B C และ D โดยให้ถั่วงอกเกรด B C และ D ในปริมาณที่มากกว่าระดับตอนล่างของถังเพาะ และในแต่ละเกรดถั่วงอก พบว่า ระดับตอนกลางของถังเพาะจะให้ถั่วงอกในปริมาณมากกว่าระดับตอนบนของถังเพาะ สำหรับปริมาณถั่วงอกที่เพาะได้โดยใช้อุณหภูมิระดับตอนล่างของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด การเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิระดับตอนกลางของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด และการเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิตอนบนของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด พบว่า มีอัตราเพิ่มขึ้น 6.56 6.45 และ 6.41 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง ตามลำดับ ผลผลิตที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิตอนบน, ตอนกลาง และตอนล่างถัง

ทรีทเมนต์	ผลผลิต (กิโลกรัม)	ผลผลิต (%)			
		เกรด A	เกรด B	เกรด C	เกรด D
1	3.85	–	40.90	33.70	25.40
2	3.87	–	51.10	28.10	20.80
3	3.94	58.80	28.90	12.30	–

Copyright by Mahidol University

2. ปัจจัยการผลิต การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกสำหรับระดับของถังเพาะทั้ง 3 ระดับ (ตาราง 4.19) พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิระดับตอนล่างของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด การเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิระดับตอนกลางของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด การเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิตอนบนของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด ใช้ทรัพยากรน้ำ พลังงาน แรงงาน ในกระบวนการผลิตลดลง ตามลำดับ สำหรับระยะเวลาการผลิตของการเพาะถั่วงอกทั้ง 3 ระดับ ใช้ระยะเวลาการผลิตเท่ากัน การเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิระดับตอนล่างของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด การเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิระดับตอนกลางของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด การเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิตอนบนของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด ใช้ทรัพยากรน้ำ พลังงาน แรงงาน ในกระบวนการผลิตลดลง ตามลำดับ สำหรับระยะเวลาการผลิตของการเพาะถั่วงอกทั้ง 3 ระดับ ใช้ระยะเวลาการผลิตเท่ากัน ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการทดลองขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.18 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิตอนบน, กลาง และตอนล่าง

ทรีทเมนต์	ปัจจัยการผลิต			
	น้ำ (ลิตร)	แรงงาน (นาที)	พลังงาน (วัตต์)	เวลา (ชั่วโมง)
1	34.70	38.00	433.75	60.00
2	51.20	56.00	640.00	60.00
3	72.20	78.00	902.50	60.00

3. คุณภาพน้ำ การเพาะถั่วงอกสำหรับระดับของถังเพาะทั้ง 3 ระดับ สามารถให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน (ตาราง 4.20) ทั้งคุณภาพน้ำทางเคมีและคุณภาพน้ำทางกายภาพ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทั้งก่อน/หลังการรดน้ำ พบว่า ระดับของถังเพาะทั้ง 3 ระดับแต่ละกลุ่มเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน สามารถให้คุณภาพน้ำที่ไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ไม่ว่าจะเป็นถังเพาะระดับใดก็ไม่ทำให้คุณภาพน้ำที่ผ่านการรดเปลี่ยนแปลงไป คุณภาพน้ำก่อนใช้/คุณภาพน้ำหลังใช้ ที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.20

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 4.20 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิตอนบน, กลาง และตอนล่างถัง

ทรีทเมนต์	คุณภาพน้ำ					
	HARDNESS	ACIDITY	ALKALINITY	DO	pH	TURBIDITY
1	90/90	9/9	66/66	7.2/7.2	6.5/6.5	5/5
2	90/90	9/9	66/66	7.2/7.2	6.5/6.5	5/5
3	90/90	9/9	66/66	7.2/7.2	6.5/6.5	5/5

(2) การวิเคราะห์ผล

1. คุณภาพผลผลิต

สมมติฐานการวิจัย H_O : อุณหภูมิทั้ง 3 ระดับให้คุณภาพผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : อุณหภูมิอย่างน้อย 1 ระดับให้คุณภาพผลผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 3

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	6770.630	2	.009	22.750	.002
TREAT	6770.630	2	.009	22.750	.002
EXPLAINED	6770.630	2	.009	22.750	.002
RESIDUAL	.132	6	.000		
TOTAL	6770.762	8	.003		

Copyright by Mahidol University

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ คุณภาพผลผลิตที่ได้จากอุณหภูมิทั้ง 3 ระดับ ไม่เท่ากัน

2. ปัจจัยการผลิต

สมมติฐานการวิจัย H_O : อุณหภูมิทั้ง 3 ระดับใช้ปัจจัยการผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : อุณหภูมิอย่างน้อย 1 ระดับใช้ปัจจัยการผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 3

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	113043.082	2	56521.541	2.856	.134
TREAT	113043.082	2	56521.541	2.856	.134
EXPLAINED	113043.082	2	56521.541	2.856	.134
RESIDUAL	118730.614	6	19788.436		
TOTAL	231773.696	8	28971.712		

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในอุณหภูมิทั้ง 3 ระดับ ไม่เท่ากัน

3. ปริมาณผลผลิต

สมมติฐานการวิจัย H_O : อุณหภูมิทั้ง 3 ระดับให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : อุณหภูมิอย่างน้อย 1 ระดับให้ปริมาณผลผลิตแตกต่าง

Copyright by Mahidol University

สมมติฐานทางสถิติ $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 3

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	.018	2	.009	22.750	.002
TREAT	.018	2	.009	22.750	.002
EXPLAINED	.018	2	.009	22.750	.002
RESIDUAL	.002	6	.000		
TOTAL	.021	8	.003		

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_A นั่นคือ ปริมาณผลผลิตที่ได้จากอุณหภูมิทั้ง 3 ระดับ ไม่เท่ากัน

4. คุณภาพน้ำ

สมมติฐานการวิจัย H_0 : อุณหภูมิทั้ง 3 ระดับให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน

H_A : อุณหภูมิอย่างน้อย 1 ระดับให้คุณภาพน้ำแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 3

Copyright by Mahidol University

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	16.930	2	8.465	272.181	.000
TREAT	16.930	2	8.465	272.181	.000
EXPLAINED	16.930	2	8.465	272.181	.000
RESIDUAL	.187	6	.031		
TOTAL	17.116	8	2.140		

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ยอมรับ H_0 และปฏิเสธ H_A นั่นคือ คุณภาพน้ำที่ได้จากอุณหภูมิทั้ง 3 ระดับ เท่ากัน

(3) การอภิปรายผลการทดลอง

การเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิทั้ง 3 ระดับ (ตาราง 4.18) พบว่า ระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการงอกของเมล็ดถั่วเขียวในการทดลองครั้งนี้อยู่ระหว่าง 30-38 ^{o}C ระดับอุณหภูมิที่ทำการรดน้ำสามารถแบ่งตามระยะเวลาออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้ 33 ^{o}C (ชั่วโมงที่ 1-12) 35^{o}C (ชั่วโมงที่ 13-36) 38 ^{o}C (ชั่วโมงที่ 37-60) ในการเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิระดับตอนล่างของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด มีจำนวนการรดน้ำ 20 ครั้ง และเริ่มรดน้ำตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1-60 ทำให้เมล็ดถั่วเขียวเกิดขบวนการงอกที่สมบูรณ์ มีผลให้ถั่วงอกที่ได้ปะปนกันระหว่างถั่วงอกลักษณะสมบูรณ์และลักษณะค่อนข้างสมบูรณ์ ในการเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิระดับตอนกลางของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด มีจำนวนการรดน้ำ 16 ครั้ง และเริ่มรดน้ำตั้งแต่ชั่วโมงที่ 24-60 เนื่องจากอุณหภูมิตอนกลางของถังเพาะอยู่ในระดับ 33^{o}C และในการเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิตอนบนของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด มีจำนวนการรดน้ำ 12 ครั้ง และเริ่มรดน้ำตั้งแต่ชั่วโมงที่ 36-60 เนื่องจากอุณหภูมิตอนบนของถังเพาะอยู่ในระดับ 33^{o}C ซึ่งการเพาะถั่วงอก 2 วิธีหลัง ทำให้เมล็ดถั่วเขียวเกิดการงอกอย่างไม่สมบูรณ์ (เกรด D) มีผลให้ถั่วงอกที่ได้ปะปนกันระหว่างถั่วงอกลักษณะค่อนข้างสมบูรณ์และลักษณะที่ไม่สมบูรณ์ บทบาทของน้ำอีกประการหนึ่งนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว นั่นคือ การรักษาระดับอุณหภูมิภายในถังเพาะให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ดถั่วเขียว

การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกสำหรับระดับของถังเพาะทั้ง 3 ระดับ (ตาราง 4.19) พบว่า ปริมาณการใช้ทรัพยากรการผลิตจะแปรผันตามปริมาณครั้งที่ทำการรดน้ำ การเพาะถั่วงอกโดยใช้

Copyright by Mahidol University

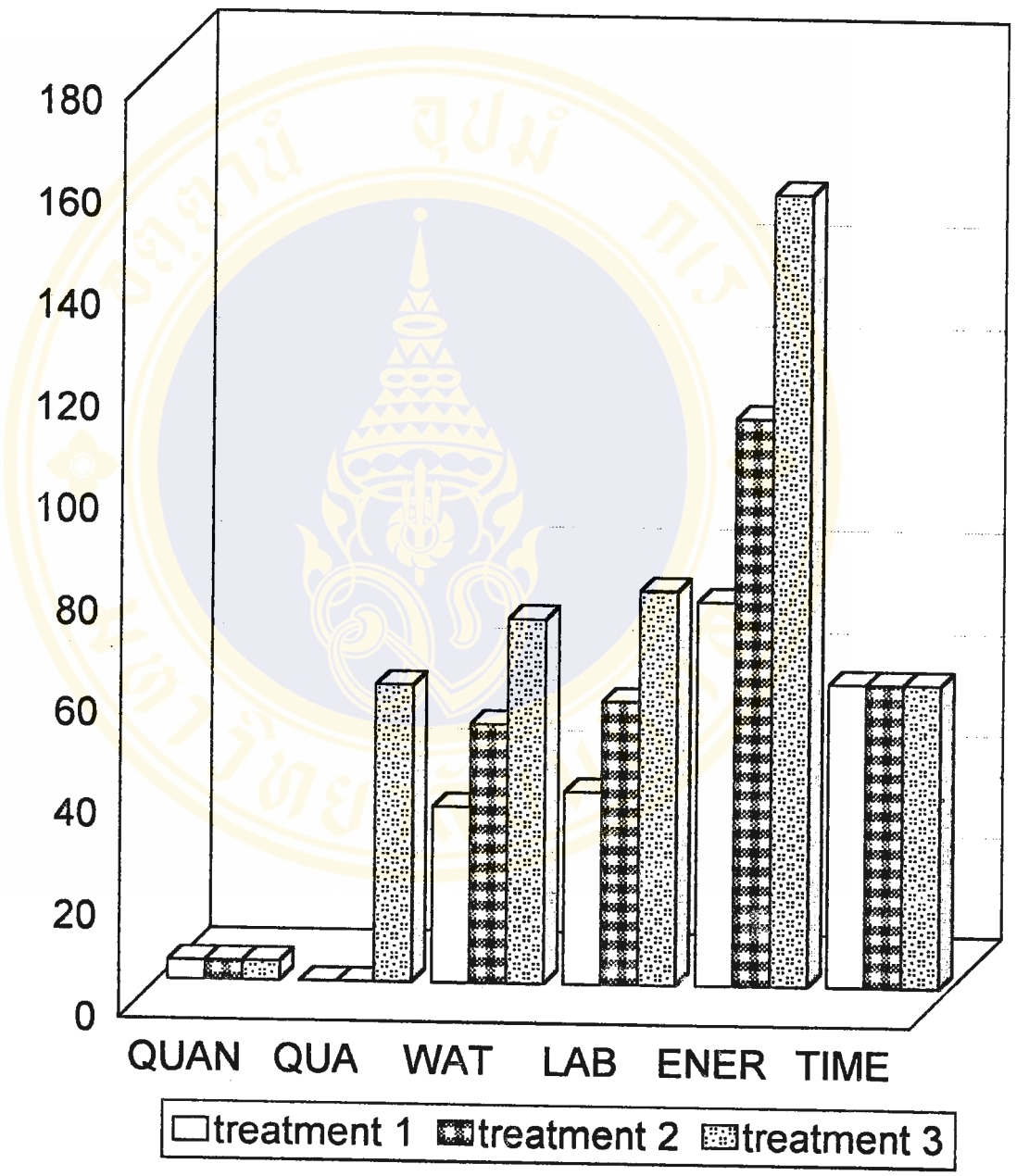
อุณหภูมิระดับตอนล่างของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด มีจำนวนการรดน้ำ 20 ครั้ง การเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิระดับตอนกลางของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด มีจำนวนการรดน้ำ 16 ครั้ง การเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิตอนบนของถังเพาะเป็นตัวชี้วัด มีจำนวนการรดน้ำ 12 ครั้ง

การเพาะถั่วงอกสำหรับระดับของถังเพาะทั้ง 3 ระดับ สามารถให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน (ตาราง 4.20) ทั้งคุณภาพน้ำทางเคมีและคุณภาพน้ำทางกายภาพ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทั้งก่อน/หลังการรดน้ำ พบว่า ระดับของถังเพาะทั้ง 3 ระดับแต่ละกลุ่มเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน สามารถให้คุณภาพน้ำที่ไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ไม่ว่าจะเป็นถังเพาะระดับใดก็ไม่ทำให้คุณภาพน้ำที่ผ่านการรดเปลี่ยนแปลงไป สำหรับคุณภาพน้ำทางเคมีที่ทำการตรวจวัดในการทดลองขั้นนี้ ไม่ว่าจะเป็นความกระด้าง (HARDNESS) ความเป็นกรด (ACIDITY) ความเป็นด่าง (ALKALINITY) DO (DISSOLVED OXYGEN) และ $_{P}H$ รวมไปถึงคุณภาพน้ำทางกายภาพ นั่นคือ ความขุ่น (TURBIDITY) พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง

การทดลองในขั้นนี้ พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยใช้อุณหภูมิตอนล่างของถังเพาะเป็นตัวชี้วัดเป็นระดับของถังเพาะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพเกรด A มากที่สุด และไม่ให้ถั่วงอกเกรด D เลย และให้ถั่วงอกเพิ่มขึ้นถึง 6.56 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 4.8 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิตอนบน,ตอนกลาง และตอนล่างถังเพาะ



QUAN : ปริมาณผลผลิต QUA : คุณภาพผลผลิต WAT : ปริมาณน้ำที่ใช้
LAB : ปริมาณแรงงานที่ใช้ ENER : ปริมาณพลังงานที่ใช้ TIME : ปริมาณระยะเวลาที่ใช้

Copyright by Mahidol University

4.1.9 ผลการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการขังน้ำที่เหมาะสม

ทำการทดลองระหว่างวันที่ 15-18 มิถุนายน พ.ศ. 2538 ณ โรงเพาะถั่วงอก ต.บ้านแก้ง อ.เมือง จ.สระแก้ว ช่วงที่ทำการทดลองสภาพบรรยากาศทั่วไปมีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย 30.48 °C อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย 28.1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเฉลี่ย 91 % อัตราการระเหยน้ำโดยเฉลี่ย 1.2 มม. ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที

(1) ผลการทดลอง

1. ผลผลิต การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระยะเวลาการขังน้ำทั้ง 3 ระดับ สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน 3 เกรด (ตาราง 4.21) พบว่า ระดับระยะเวลาการขังน้ำ 5 10 และ 15 นาที ต่อการขังน้ำ 1 ครั้ง สามารถให้ถั่วงอกเกรด A และ B โดยให้ถั่วงอกเกรด A และ B ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้การเพาะทั้ง 3 ระดับไม่ให้ถั่วงอกเกรด C และ D เลย สำหรับปริมาณถั่วงอกที่เพาะได้จากระดับระยะเวลาการขังน้ำ 5 10 และ 15 นาที พบว่า มีอัตราเพิ่มขึ้น 6.85 6.83 และ 6.86 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง ตามลำดับ จะเห็นว่า การเพาะถั่วงอกโดยการขังน้ำที่ระยะเวลา 5 10 และ 15 นาที ให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพและปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน ผลผลิตที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการขังน้ำ 5, 10 และ 15 นาที

ทรีทเมนต์	ผลผลิต (กิโลกรัม)	ผลผลิต (%)			
		เกรด A	เกรด B	เกรด C	เกรด D
1	4.11	81.40	18.60	–	–
2	4.10	80.80	19.20	–	–
3	4.12	83.80	16.20	–	–

2. ปัจจัยการผลิต การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกสำหรับระยะเวลาการขังน้ำ 3 ระดับ (ตาราง 4.22) พบว่า ระดับระยะเวลาการขังน้ำ 5 10 และ 15 นาที ใช้ทรัพยากรน้ำ พลังงาน ระยะเวลาการผลิต ในกระบวนการผลิตเท่ากัน พบว่า แรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะเพิ่มขึ้น ตามลำดับ ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการทดลองขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.22

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 4.22 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการขังน้ำ 5,10 และ15 นาที

ทรีทเมนต์	ปัจจัยการผลิต			
	น้ำ (ลิตร)	แรงงาน (นาที)	พลังงาน (วัตต์)	เวลา (ชั่วโมง)
1	54.30	100.00	678.75	60.00
2	54.30	200.00	678.75	60.00
3	54.30	300.00	678.75	60.00

3. คุณภาพน้ำ การเพาะถั่วงอกสำหรับระยะเวลาการขังน้ำทั้ง 3 ระดับ สามารถให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน (ตาราง 4.23) ทั้งคุณภาพน้ำทางเคมีและคุณภาพน้ำทางกายภาพ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทั้งก่อน/หลังการรดน้ำ พบว่า ระยะเวลาการขังน้ำทั้ง 3 ระดับแต่ละกลุ่มเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน สามารถให้คุณภาพน้ำที่ไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ไม่ว่าจะเป็นระยะเวลาการขังน้ำระดับใดก็ไม่ทำให้คุณภาพน้ำที่ผ่านการรดเปลี่ยนแปลงไป คุณภาพน้ำก่อนใช้/คุณภาพน้ำหลังใช้ ที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการขังน้ำ 5, 10 และ 15 นาที

ทรีทเมนต์	คุณภาพน้ำ					
	HARDNESS	ACIDITY	ALKALINITY	DO	pH	TURBIDITY
1	93/93	9/9	67/67	7.4/7.4	6.5/6.5	5/5
2	93/93	9/9	67/67	7.4/7.4	6.5/6.5	5/5
3	93/93	9/9	67/67	7.4/7.4	6.5/6.5	5/5

(2) การวิเคราะห์ผล

1. คุณภาพผลผลิต

สมมติฐานการวิจัย H_O : ระยะการขังน้ำทั้ง 3 ระดับให้คุณภาพผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ระยะการขังน้ำอย่างน้อย 1 ระดับให้คุณภาพผลผลิตแตกต่าง

Copyright by Mahidol University

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 3

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	16.350	2	8.175	371.028	.000
TREAT	16.350	2	8.175	371.028	.000
EXPLAINED	16.350	2	8.175	371.028	.000
RESIDUAL	.132	6	.022		
TOTAL	16.482	8	2.060		

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_A และยอมรับ H_O นั่นคือ คุณภาพผลผลิตที่ได้จากระยะเวลาการขังน้ำทั้ง 3 ระดับ เท่ากัน

2. <u>ปัจจัยการผลิต</u>

สมมติฐานการวิจัย H_O : ระยะการขังน้ำทั้ง 3 ระดับใช้ปัจจัยการผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ระยะการขังน้ำอย่างน้อย 1 ระดับใช้ปัจจัยการผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 3

Copyright by Mahidol University

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	537263.952	2	268631.976	61200.933	.000
TREAT	537263.952	2	268631.976	61200.933	.000
EXPLAINED	537263.952	2	268631.976	61200.933	.000
RESIDUAL	26.336	6	4.389		
TOTAL	537290.286	8	67161.286		

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_A และยอมรับ H_O นั่นคือ ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในระยะเวลาการขังน้ำทั้ง 3 ระดับ เท่ากัน

3. ปริมาณผลผลิต

สมมติฐานการวิจัย H_O : ระยะการขังน้ำทั้ง 3 ระดับให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ระยะการขังน้ำอย่างน้อย 1 ระดับให้ปริมาณผลผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 3

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	.001	2	.001	21.000	.002
TREAT	.001	2	.001	21.000	.002
EXPLAINED	.001	2	.001	21.000	.002
RESIDUAL	.000	6	.000		
TOTAL	.002	8	.000		

Copyright by Mahidol University

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_A และยอมรับ H_O นั่นคือ ปริมาณผลผลิตที่ได้จากระยะเวลาการขังน้ำทั้ง 3 ระดับ เท่ากัน

4. คุณภาพน้ำ

สมมติฐานการวิจัย H_O : ระยะการขังน้ำทั้ง 3 ระดับให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน

H_A : ระยะการขังน้ำอย่างน้อย 1 ระดับให้คุณภาพน้ำแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$

μ_1 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

μ_3 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 3

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARE	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
MAIN EFFECTS	38.063	2	19.032	611.946	.000
TREAT	38.063	2	19.032	611.946	.000
EXPLAINED	38.063	2	19.032	611.946	.000
RESIDUAL	.187	6	.031		
TOTAL	38.250	8	4.781		

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_A และยอมรับ H_O นั่นคือ คุณภาพน้ำที่ได้จากระยะเวลาการขังน้ำทั้ง 3 ระดับ เท่ากัน

(3) การอภิปรายผลการทดลอง

การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระยะเวลาการขังน้ำทั้ง 3 ระดับ สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน 3 เกรด (ตาราง 4.21) พบว่า การขังน้ำเป็นการให้น้ำถั่วงอกวิธีหนึ่ง ซึ่งผลดีก็คือทำให้ถั่วงอกที่มีความพรุนอยู่ภายในถังเพาะสามารถได้รับน้ำอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ทำให้น้ำที่รดไปทำหน้าที่ได้

Copyright by Mahidol University

อย่างสมบูรณ์ทั้งการช่วยในขบวนการงอกของเมล็ดถั่วเขียว และการรักษาระดับอุณหภูมิภายในถังเพาะให้เหมาะสม มีผลให้เมล็ดถั่วเขียวเกิดขบวนการงอกอย่างสมบูรณ์ ถั่วงอกที่ได้จึงมีลักษณะสมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับการที่ถั่วงอกที่เพาะได้ส่วนใหญ่จะเป็นถั่วงอกเกรด A จากการที่คุณภาพและปริมาณของถั่วงอกที่เพาะได้จากระดับระยะเวลาการขังน้ำทั้ง 3 อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าที่ระดับระยะเวลาการขังน้ำ 5 นาที น้ำสามารถทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์ เหมือนกับระดับระยะเวลาการขังน้ำ 10 และ 15 นาทีเช่นกัน

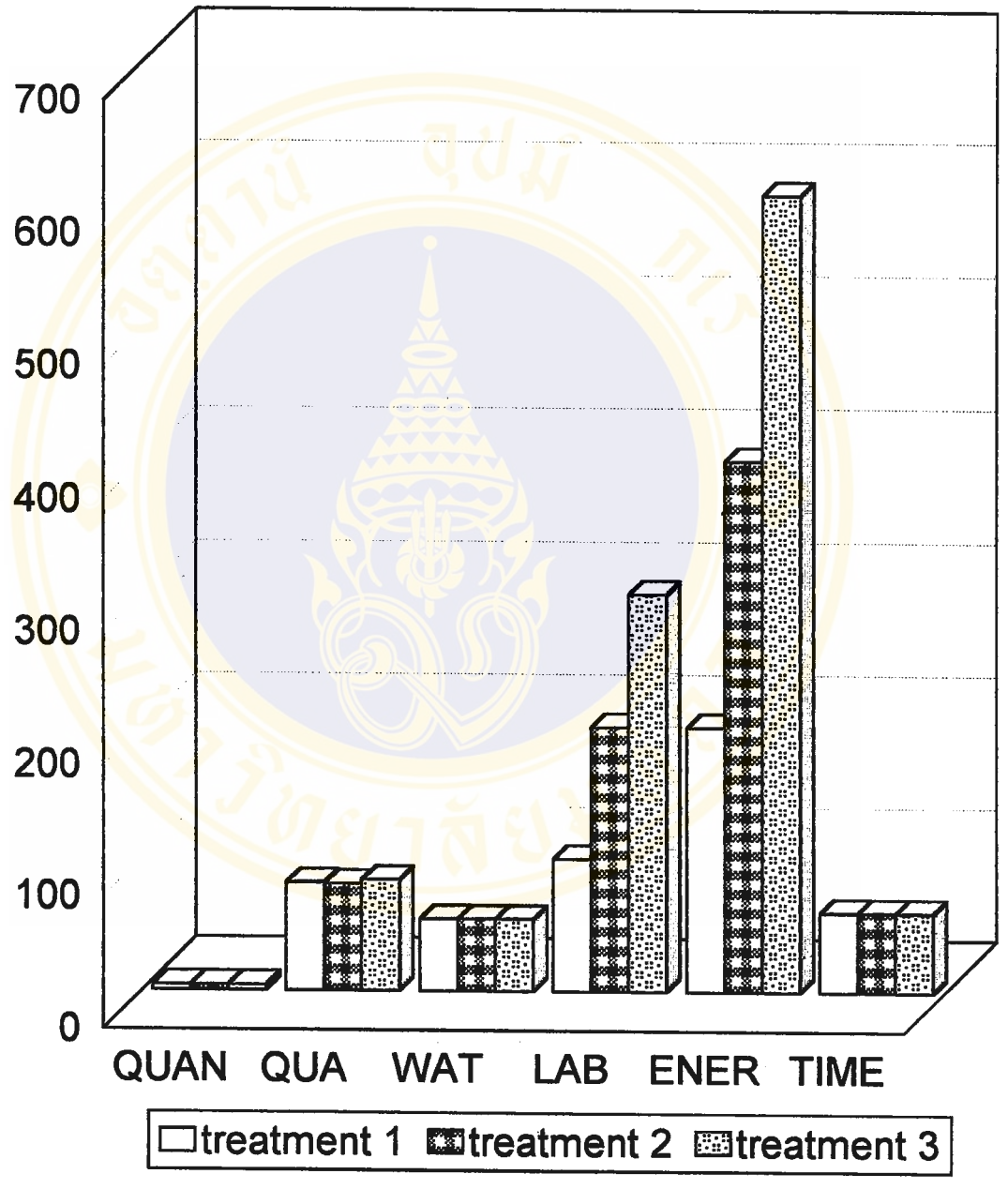
การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกสำหรับระยะเวลาการขังน้ำ 3 ระดับ (ตาราง 4.22) พบว่า ปริมาณแรงงานที่ใช้จะแปรผันตามระยะเวลาการขังน้ำ จะเห็นว่าระดับระยะเวลาการขังน้ำทั้ง 3 ระดับ สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพและปริมาณใกล้เคียงกัน ดังนั้นระดับระยะเวลาการขังน้ำ 5 นาที จัดว่าเป็นระดับระยะเวลาการขังน้ำที่เหมาะสม เนื่องจากใช้ปริมาณแรงงานน้อยที่สุดและให้คุณภาพและปริมาณถั่วงอกใกล้เคียงกับระยะเวลาการขังน้ำอีก 2 ระดับ

การเพาะถั่วงอกสำหรับระยะเวลาการขังน้ำทั้ง 3 ระดับ สามารถให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน (ตาราง 4.23) ทั้งคุณภาพน้ำทางเคมีและคุณภาพน้ำทางกายภาพ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทั้งก่อน/หลังการรดน้ำ พบว่า ระยะเวลาการขังน้ำทั้ง 3 ระดับแต่ละกลุ่มเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน สามารถให้คุณภาพน้ำที่ไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ไม่ว่าจะเป็นระยะเวลาการขังน้ำระดับใดก็ไม่ทำให้คุณภาพน้ำที่ผ่านการรดเปลี่ยนแปลงไป สำหรับคุณภาพน้ำทางเคมีที่ทำการตรวจวัดในการทดลองขั้นนี้ ไม่ว่าจะเป็นความกระด้าง (HARDNESS) ความเป็นกรด (ACIDITY) ความเป็นด่าง (ALKALINITY) DO (DISSOLVED OXYGEN) และ pH รวมไปถึงคุณภาพน้ำทางกายภาพ นั่นคือ ความขุ่น (TURBIDITY) พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง

การทดลองในขั้นนี้ พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระดับระยะเวลาการขังน้ำ 5 นาที เป็นระดับระยะเวลาการขังน้ำที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพเกรด A มากที่สุด และไม่ให้ถั่วงอกเกรด C และ D เลย และให้ถั่วงอกเพิ่มขึ้นถึง 6.85 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 4.9 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการขังน้ำ 5, 10 และ 15 นาที



QUAN : ปริมาณผลผลิต QUA : คุณภาพผลผลิต WAT : ปริมาณน้ำที่ใช้
LAB : ปริมาณแรงงานที่ใช้ ENER : ปริมาณพลังงานที่ใช้ TIME : ปริมาณระยะเวลาที่ใช้

Copyright by Mahidol University

4.1.10 ผลการทดลองเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำที่เหมาะสม

ทำการทดลองระหว่างวันที่ 15-18 มิถุนายน พ.ศ. 2538 ณ โรงเพาะถั่วงอก ต.บ้านแก้ง อ.เมือง จ.สระแก้ว ช่วงที่ทำการทดลองสภาพบรรยากาศทั่วไปมีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย 30.48 °C อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย 28.1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเฉลี่ย 91 % อัตราการระเหยน้ำโดยเฉลี่ย 1.2 มม. ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที

(1) ผลการทดลอง

1. ผลผลิต การเพาะถั่วงอกโดยใช้วิธีการให้น้ำทั้ง 2 แบบ สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน 3 เกรด (ตาราง 4.24) พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยวิธีการขังน้ำในถังเพาะ สามารถให้ถั่วงอกเกรด A และ B โดยให้ถั่วงอกเกรด A และเกรด B ในปริมาณมากกว่าการเพาะถั่วงอกโดยวิธีการรดน้ำผ่านถังเพาะ และการเพาะถั่วงอกโดยวิธีการขังน้ำในถังเพาะไม่ให้ถั่วงอกเกรด C และ D เลย การเพาะถั่วงอกโดยวิธีการรดน้ำผ่านถังเพาะ สามารถให้ถั่วงอกเกรด A B และ C โดยให้ถั่วงอกเกรด A B และ C ลดลง ตามลำดับ สำหรับปริมาณถั่วงอกที่เพาะได้จาก วิธีการเพาะถั่วงอกโดยวิธีการขังน้ำในถังเพาะ และการเพาะถั่วงอกโดยวิธีการรดน้ำผ่านถังเพาะ พบว่า มีอัตราเพิ่มขึ้น 6.86 และ 6.56 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง ตามลำดับ ผลผลิตที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำผ่านและการขังน้ำ

ทรีทเมนต์	ผลผลิต (กิโลกรัม)	ผลผลิต (%)			
		เกรด A	เกรด B	เกรด C	เกรด D
1	3.94	59.40	28.60	12.00	-
2	4.12	88.40	17.60	-	-

2. ปัจจัยการผลิต การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกโดยวิธีการให้น้ำ 2 แบบ (ตาราง 4.25) พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยวิธีการรดน้ำผ่านถังเพาะ ใช้ทรัพยากรน้ำ พลังงาน แรงงาน ในกระบวนการผลิตน้อยกว่าการเพาะถั่วงอกโดยวิธีการขังน้ำในถังเพาะ จะเห็นว่าระยะเวลาการผลิตของวิธีการให้น้ำถั่วงอกทั้ง 2 แบบ ใช้ระยะเวลาการผลิตเท่ากัน ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการทดลองขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.25

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 4.25 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำผ่านและการขังน้ำ

ทรีทเมนต์	ปัจจัยการผลิต			
	น้ำ (ลิตร)	แรงงาน (นาที)	พลังงาน (วัตต์)	เวลา (ชั่วโมง)
1	68.90	70.00	861.25	60.00
2	50.90	55.00	636.25	60.00

3. <u>คุณภาพน้ำ</u> การเพาะถั่วงอกโดยใช้วิธีการให้น้ำทั้ง 2 แบบ สามารถให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน (ตาราง 4.26) ทั้งคุณภาพน้ำทางเคมีและคุณภาพน้ำทางกายภาพ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทั้งก่อน/หลังการรดน้ำ พบว่า วิธีการให้น้ำทั้ง 2 แบบแต่ละกลุ่มเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน สามารถให้คุณภาพน้ำที่ไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ไม่ว่าจะเป็นวิธีการให้น้ำแบบใดก็ไม่ทำให้คุณภาพน้ำที่ผ่านการรดเปลี่ยนแปลงไป คุณภาพน้ำก่อนใช้/คุณภาพน้ำหลังใช้ ที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำผ่านและการขังน้ำ

ทรีทเมนต์	คุณภาพน้ำ					
	HARDNESS	ACIDITY	ALKALINITY	DO	$_{p}$H	TURBIDITY
1	93/93	9/9	68/68	7.2/7.2	6.5/6.5	5/5
2	93/93	9/9	68/68	7.2/7.2	6.5/6.5	5/5

(2) การวิเคราะห์ผล

1. <u>คุณภาพผลผลิต</u>

สมมติฐานการวิจัย H_0 : การให้น้ำทั้ง 2 วิธีให้คุณภาพผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : การให้น้ำอย่างน้อย 1 วิธีให้คุณภาพผลผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$

Copyright by Mahidol University

μ_1 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
2.27	.611	-70.47	4	.000	-70.47	3.48	.000

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ คุณภาพผลผลิตที่ได้จากวิธีการให้น้ำทั้ง 2 แบบ ไม่เท่ากัน

2. ปัจจัยการผลิต

สมมติฐานการวิจัย H_O : การให้น้ำทั้ง 2 วิธีใช้ปัจจัยการผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : การให้น้ำอย่างน้อย 1 วิธีใช้ปัจจัยการผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ H_O : $\mu_1 = \mu_2$

H_A : $\mu_1 \neq \mu_2$

μ_1 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 2

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
13.41	.139	26.53	4	.000	26.53	2.30	.001

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปัจจัยการผลผลิตที่ใช้ในวิธีการให้น้ำทั้ง 2 แบบ ไม่เท่ากัน

Copyright by Mahidol University

3. ปริมาณผลผลิต

สมมติฐานการวิจัย H_O : การให้น้ำทั้ง 2 วิธีให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : การให้น้ำอย่างน้อย 1 วิธีให้ปริมาณผลผลิตแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$

μ_1 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
1.33	.857	-20.79	4	.000	-20.79	3.92	.000

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปริมาณผลผลิตที่ได้จากวิธีการให้น้ำทั้ง 2 แบบ ไม่เท่ากัน

4. คุณภาพน้ำ

สมมติฐานการวิจัย H_O : การให้น้ำทั้ง 2 วิธีให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน

H_A : การให้น้ำอย่างน้อย 1 วิธีให้คุณภาพน้ำแตกต่าง

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$

μ_1 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

Copyright by Mahidol University

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
126.58	.016	-2.04	4	.111	-2.04	2.03	.117

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ยอมรับ H_0 และปฏิเสธ H_A นั่นคือ คุณภาพน้ำที่ได้จากวิธีการให้น้ำทั้ง 2 แบบ เท่ากัน

(3) การอภิปรายผลการทดลอง

การเพาะถั่วงอกโดยใช้วิธีการให้น้ำทั้ง 2 แบบ สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน 3 เกรด (ตาราง 4.24) พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยวิธีการขังน้ำในถังเพาะ ให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพและปริมาณมากกว่า การเพาะถั่วงอกโดยวิธีการรดน้ำผ่านถังเพาะ เมื่อเมล็ดถั่วเขียวเกิดการงอก ถั่วงอกที่ได้จะมีลักษณะอัดแน่นและเกาะกันเป็นก้อนสี่เหลี่ยมลูกบาศก์อยู่ภายในถังเพาะ วิธีการรดน้ำผ่านถังเพาะจึงไม่สามารถรดได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอทั่วทั้งถังเพาะ เนื่องจากมีความพรุนระหว่างก้อนถั่วงอกภายในถังเพาะ นั่นคือถั่วงอกบางจุดของถังเพาะสามารถได้รับน้ำแต่ถั่วงอกบางจุดไม่สามารถรับน้ำได้ นอกจากนี้วิธีการรดน้ำผ่านถังเพาะน้ำที่รดไปจะระบายออกจากถังเพาะอย่างรวดเร็ว มีผลให้เมล็ดถั่วเขียวบริเวณกลางถังเพาะไม่สามารถงอกได้อย่างสมบูรณ์ การขังน้ำเป็นการให้น้ำถั่วงอกวิธีหนึ่ง ซึ่งผลดีก็คือทำให้ก้อนถั่วงอกที่มีความพรุนอยู่ภายในถังเพาะสามารถได้รับน้ำอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ และเมื่อมีการขังน้ำไว้ภายในถังเพาะระยะหนึ่ง ทำให้น้ำที่รดไปทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ทั้งการช่วยในขบวนการงอกของเมล็ดถั่วเขียว และการรักษาระดับอุณหภูมิภายในถังเพาะให้เหมาะสม มีผลให้เมล็ดถั่วเขียวเกิดขบวนการงอกอย่างสมบูรณ์ ถั่วงอกที่ได้จึงมีลักษณะสมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับการที่ถั่วงอกที่เพาะได้ส่วนใหญ่จะเป็นถั่วงอกเกรด A และ B โดยไม่มีถั่วงอกเกรด C และ D

การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกโดยวิธีการให้น้ำ 2 แบบ (ตาราง 4.25) พบว่า ถ้าต้องการให้การเพาะถั่วงอกโดยวิธีการรดน้ำผ่านถังเพาะ ผลิตถั่วงอกที่มีคุณภาพและปริมาณใกล้เคียงกับการเพาะถั่วงอกโดยวิธีการขังน้ำในถังเพาะ จะต้องใช้ทรัพยากรการผลิต ทั้งทางด้านน้ำและพลังงานเพิ่มมากขึ้นเป็น 3 เท่า สำหรับทางด้านแรงงานเพิ่มมากขึ้นเป็น 2 เท่า

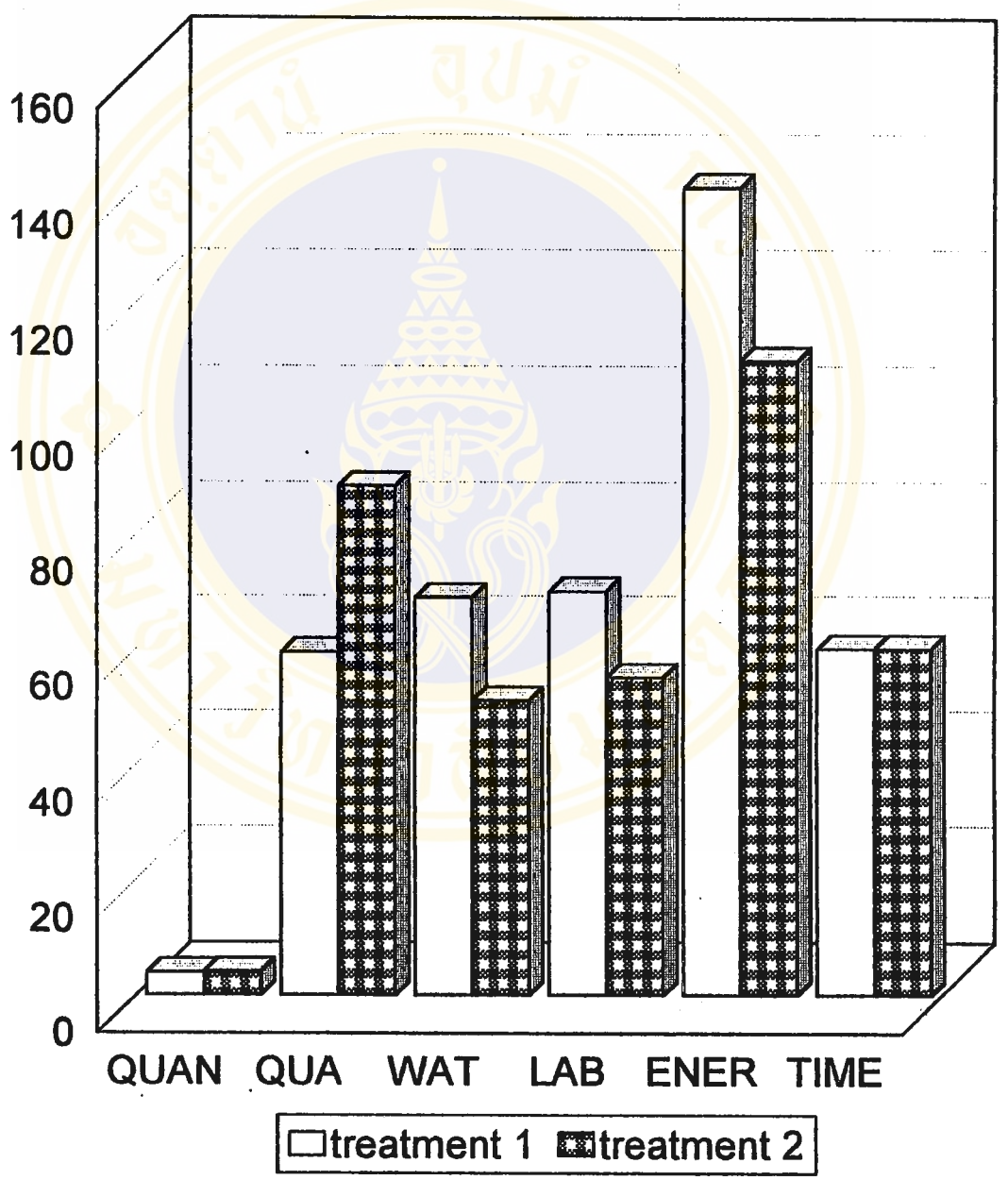
Copyright by Mahidol University

การเพาะถั่วงอกโดยใช้วิธีการให้น้ำทั้ง 2 แบบ สามารถให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน (ตาราง 4.26) ทั้งคุณภาพน้ำทางเคมีและคุณภาพน้ำทางกายภาพ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทั้งก่อน/หลังการรดน้ำ พบว่า วิธีการให้น้ำทั้ง 2 แบบแต่ละกลุ่มเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน สามารถให้คุณภาพน้ำที่ไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ไม่ว่าจะเป็นวิธีการให้น้ำแบบใดก็ไม่ทำให้คุณภาพน้ำที่ผ่านการรดเปลี่ยนแปลงไป สำหรับคุณภาพน้ำทางเคมีที่ทำการตรวจวัดในการทดลองขั้นนี้ ไม่ว่าจะเป็นความกระด้าง (HARDNESS) ความเป็นกรด (ACIDITY) ความเป็นด่าง (ALKALINITY) DO (DISSOLVED OXYGEN) และ pH รวมไปถึงคุณภาพน้ำทางกายภาพ นั่นคือ ความขุ่น (TURBIDITY) พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง

การทดลองในขั้นนี้ พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยวิธีการขังน้ำในถังเพาะ เป็นวิธีการให้น้ำถั่วงอกที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพเกรด A มากที่สุด และไม่ให้ถั่วงอกเกรด C และ D เลย และให้ถั่วงอกเพิ่มขึ้นถึง 6.86 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 4.10 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำผ่านและการขังน้ำ



QUAN : ปริมาณผลผลิต QUA : คุณภาพผลผลิต WAT : ปริมาณน้ำที่ใช้
LAB : ปริมาณแรงงานที่ใช้ ENER : ปริมาณพลังงานที่ใช้ TIME : ปริมาณระยะเวลาที่ใช้

Copyright by Chulalongkorn University

4.1.11 ผลการทดลองเปรียบเทียบรูปทรงถังเพาะที่เหมาะสม

ทำการทดลองระหว่างวันที่ 15–18 มิถุนายน พ.ศ. 2538 ณ โรงเพาะถั่วงอก ต.บ้านแก้ง อ.เมือง จ.สระแก้ว ช่วงที่ทำการทดลองสภาพบรรยากาศทั่วไปมีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย 30.48 °C อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย 28.1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเฉลี่ย 91 % อัตราการระเหยน้ำโดยเฉลี่ย 1.2 มม. ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที

(1) ผลการทดลอง

1. ผลผลิต การเพาะถั่วงอกโดยใช้รูปทรงถังเพาะทั้ง 2 แบบ สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน 3 เกรด (ตาราง 4.27) พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยใช้ถังเพาะทรงเตี้ย สามารถให้ถั่วงอกเกรด A B และ C โดยให้ถั่วงอกเกรด A ในปริมาณมากกว่าการเพาะถั่วงอกโดยใช้ถังเพาะทรงสูง และการเพาะถั่วงอกโดยใช้ถังเพาะทรงเตี้ยให้ถั่วงอกเกรด B และ C ในปริมาณที่น้อยกว่าการเพาะถั่วงอกโดยใช้ถังเพาะทรงสูง การเพาะถั่วงอกโดยใช้ถังเพาะทรงสูง สามารถให้ถั่วงอกเกรด A B และ C โดยให้ถั่วงอกเกรด A B และ C ลดลง ตามลำดับ นอกจากนี้การเพาะทั้ง 2 แบบไม่ให้ถั่วงอกเกรด D เลย สำหรับ ปริมาณถั่วงอกที่เพาะได้จากถังเพาะทรงเตี้ย และการเพาะถั่วงอกโดยใช้ถังเพาะทรงสูง พบว่า มีอัตราเพิ่มขึ้น 6.60 และ 6.45 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง ตามลำดับ จะเห็นว่า การเพาะถั่วงอกโดยใช้ถังเพาะทรงเตี้ยและการเพาะถั่วงอกโดยใช้ถังเพาะทรงสูง ผลิตถั่วงอกที่มีคุณภาพและปริมาณแตกต่างกัน ผลผลิตที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบทียบถังเพาะรูปทรงสูงและรูปทรงเตี้ย

ทรีทเมนต์	ผลผลิต (กิโลกรัม)	ผลผลิต (%)			
		เกรด A	เกรด B	เกรด C	เกรด D
1	3.87	60.80	28.50	10.7	–
2	3.96	75.60	17.50	6.9	–

2. ปัจจัยการผลิต การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกโดยใช้รูปทรงถังเพาะ 2 แบบ (ตาราง 4.28) พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยใช้ถังเพาะทรงเตี้ย และการเพาะถั่วงอกโดยใช้ถังเพาะทรงสูง ใช้ทรัพยากรการผลิต ทั้งทางด้านน้ำ พลังงาน แรงงาน และระยะเวลาการผลิต ในกระบวนการผลิตเท่ากัน ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการทดลองขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.28

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 4.28 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบถังเพาะรูปทรงสูงและรูปทรงเตี้ย

ทรีทเมนต์	ปัจจัยการผลิต			
	น้ำ (ลิตร)	แรงงาน (นาที)	พลังงาน (วัตต์)	เวลา (ชั่วโมง)
1	78.00	80.00	975.00	60.00
2	76.13	80.00	951.63	60.00

3. <u>คุณภาพน้ำ</u> การเพาะถั่วงอกโดยใช้รูปทรงถังเพาะทั้ง 2 แบบ สามารถให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน (ตาราง 4.29) ทั้งคุณภาพน้ำทางเคมีและคุณภาพน้ำทางกายภาพ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทั้งก่อน/หลังการรดน้ำ พบว่า รูปทรงถังเพาะทั้ง 2 แบบแต่ละกลุ่มเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน สามารถให้คุณภาพน้ำที่ไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ไม่ว่าจะเป็นรูปทรงถังเพาะแบบใดก็ไม่ทำให้คุณภาพน้ำที่ผ่านการรดเปลี่ยนแปลงไป คุณภาพน้ำก่อนใช้/คุณภาพน้ำหลังใช้ ที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบถังเพาะรูปทรงสูงและรูปทรงเตี้ย

ทรีทเมนต์	คุณภาพน้ำ					
	HARDNESS	ACIDITY	ALKALINITY	DO	pH	TURBIDITY
1	93/93	9/9	67/67	7.3/7.3	6.5/6.5	5/5
2	93/93	9/9	67/67	7.3/7.3	6.5/6.5	5/5

(2) การวิเคราะห์ผล

1. <u>คุณภาพผลผลิต</u>

สมมติฐานการวิจัย H_O : ถังเพาะทั้ง 2 ชนิดให้คุณภาพผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ถังเพาะอย่างน้อย 1 ชนิดให้คุณภาพผลผลิตแตกต่างกัน

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$

Copyright by Mahidol University

μ_1 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
3.25	.471	-65.11	4	.000	-65.11	3.12	.000

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ คุณภาพผลผลิตที่ได้จากรูปทรงถังเพาะทั้ง 2 แบบ ไม่เท่ากัน

2. <u>ปัจจัยการผลิต</u>

สมมติฐานการวิจัย H_O : ถังเพาะทั้ง 2 ชนิดใช้ปัจจัยการผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ถังเพาะอย่างน้อย 1 ชนิดใช้ปัจจัยการผลิตแตกต่างกัน

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$

μ_1 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเพาะ TREATMENT ที่ 2

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
3.37	.458	2.38	4	0.76	2.38	3.09	.095

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในรูปทรงถังเพาะทั้ง 2 แบบ ไม่เท่ากัน

Copyright by Mahidol University

3. ปริมาณผลผลิต

สมมติฐานการวิจัย H_O : ถังเพาะทั้ง 2 ชนิดให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกัน

H_A : ถังเพาะอย่างน้อย 1 ชนิดให้ปริมาณผลผลิตแตกต่างกัน

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$

μ_1 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
1.00	1.000	-13.47	4	.000	-13.47	4.00	.000

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปริมาณผลผลิตที่ได้จากรูปทรงถังเพาะทั้ง 2 แบบ ไม่เท่ากัน

4. คุณภาพน้ำ

สมมติฐานการวิจัย H_O : ถังเพาะทั้ง 2 ชนิดให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน

H_A : ถังเพาะอย่างน้อย 1 ชนิดให้คุณภาพน้ำแตกต่างกัน

สมมติฐานทางสถิติ $H_O : \mu_1 = \mu_2$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$

μ_1 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 1

μ_2 = คุณภาพน้ำที่ได้จากการเพาะ TREATMENT ที่ 2

Copyright by Mahidol University

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
126.58	.016	6.82	4	.002	6.82	2.03	.020

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ยอมรับ H_O และปฏิเสธ H_A นั่นคือ คุณภาพน้ำที่ได้จากรูปทรงถังเพาะทั้ง 2 แบบ เท่ากัน

(3) การอภิปรายผลการทดลอง

การเพาะถั่วงอกโดยใช้รูปทรงถังเพาะทั้ง 2 แบบ สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน 3 เกรด (ตาราง 4.27) พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยใช้ถังเพาะทรงเตี้ยให้ถั่วงอกคุณภาพเกรด A ในปริมาณที่มากกว่าการเพาะถั่วงอกโดยใช้ถังเพาะทรงสูง นอกจากนี้ การเพาะถั่วงอกโดยใช้ถังเพาะทรงเตี้ย สามารถให้ถั่วงอกเกรด A ในปริมาณที่มากกว่าถั่วงอกเกรด B ถึง 4.32 เท่าของน้ำหนักถั่วงอกสด ในขณะที่การเพาะถั่วงอกโดยใช้ถังเพาะทรงสูง สามารถให้ถั่วงอกเกรด A ในปริมาณที่มากกว่าถั่วงอกเกรด B เพียง 2.13 เท่าของน้ำหนักถั่วงอกสดเท่านั้น นั่นคือถังเพาะทรงเตี้ยและมีหน้ากว้างสามารถให้ถั่วงอกที่มีความยาวของลำต้นถั่วงอกใกล้เคียงกันทั่วทั้งถังเพาะ เนื่องจากเมล็ดถั่วเขียวเมื่อเกิดการงอกจะงอกขึ้นเป็นชั้นๆ ถ้าใช้ถังเพาะทรงสูงจะทำให้ถั่วงอกชั้นบน กลาง และล่าง มีความแตกต่างกันในด้านความยาวของลำต้นถั่วงอก นอกจากนี้ถังเพาะทรงเตี้ยและมีหน้ากว้าง มีพื้นที่ผิวในการรับน้ำที่รดผ่านถังเพาะได้มากกว่าถังเพาะทรงสูงและมีหน้าแคบ มีผลให้ถั่วงอกที่เพาะโดยใช้ถังเพาะหน้ากว้างมีคุณภาพใกล้เคียงกันทั่วทั้งถังเพาะมากกว่าถั่วงอกที่เพาะโดยใช้ถังเพาะหน้าแคบ

การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกโดยใช้รูปทรงถังเพาะ 2 แบบ (ตาราง 4.28) พบว่า มีปริมาณการใช้ทรัพยากรการผลิตที่เท่ากัน เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นภายในถังเพาะไม่ว่าจะเป็นถังเพาะทรงเตี้ย หรือถังเพาะทรงสูงมีขนาดเท่ากัน นั่นคือรูปทรงของถังเพาะไม่มีอิทธิพลต่ออัตราความร้อนที่เกิดขึ้นภายในถังเพาะ แต่รูปทรงถังเพาะมีอิทธิพลต่อพื้นที่ผิวรับน้ำของถั่วงอก ทำให้ถั่วงอกได้รับน้ำอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอมากกว่า นอกจากนี้รูปทรงถังเพาะยังมีอิทธิพลต่อจำนวนชั้นการงอกของเมล็ดถั่วเขียว นั่นคือจำนวนชั้นการงอกน้อยจะมีผลให้ถั่วงอกมีคุณภาพใกล้เคียงกันทั่วทั้งถังเพาะ ในทางตรงกันข้ามจำนวนชั้นการงอกมากจะมีผลให้ถั่วงอกมีคุณภาพแตกต่างกันภายในถังเพาะ

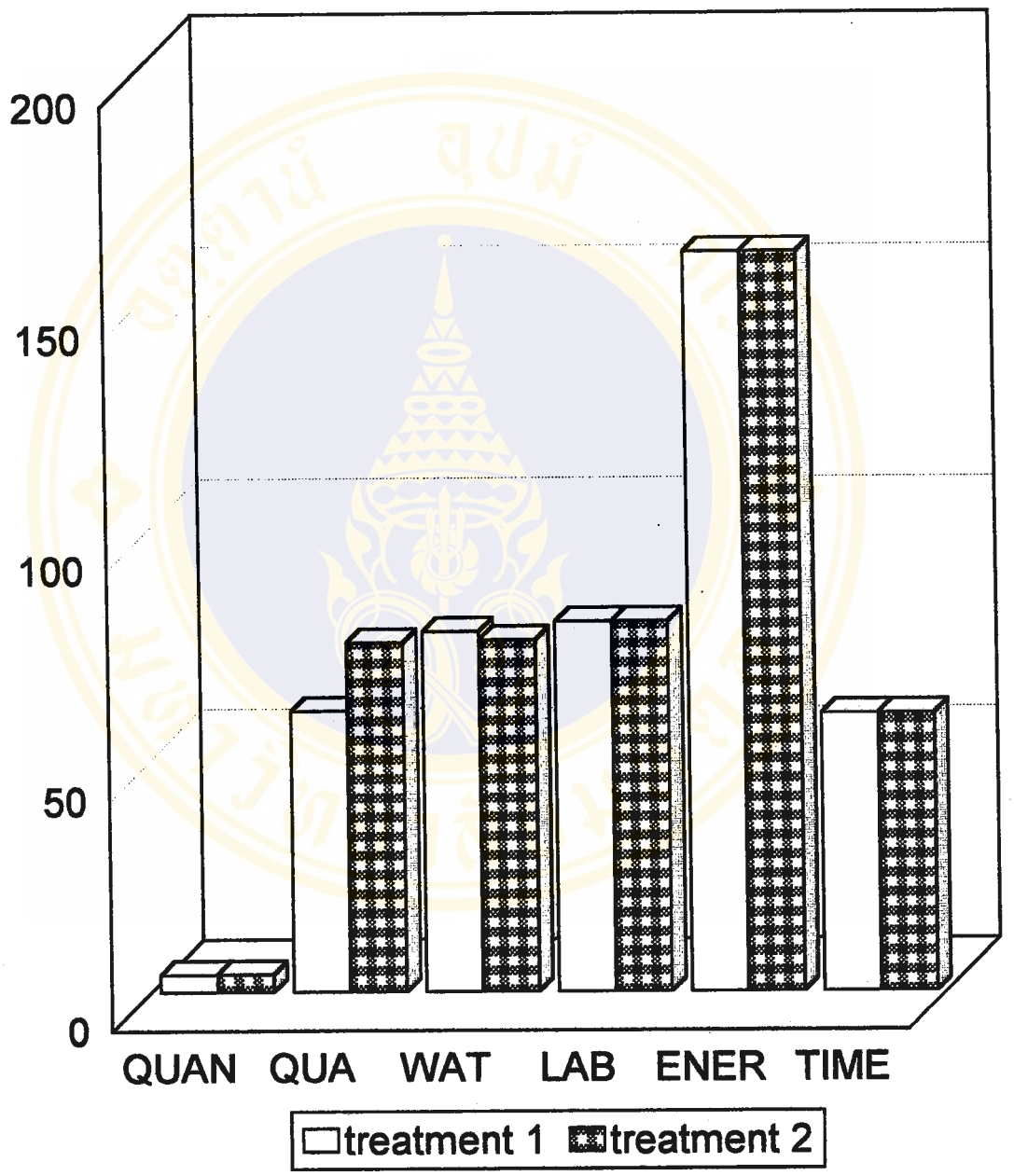
Copyright by Mahidol University

การเพาะถั่วงอกโดยใช้รูปทรงถังเพาะทั้ง 2 แบบ สามารถให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน (ตาราง 4.29) ทั้งคุณภาพน้ำทางเคมีและคุณภาพน้ำทางกายภาพ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทั้งก่อน/หลังการรดน้ำ พบว่า รูปทรงถังเพาะทั้ง 2 แบบแต่ละกลุ่มเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน สามารถให้คุณภาพน้ำที่ไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ไม่ว่าจะเป็นรูปทรงถังเพาะแบบใดก็ไม่ทำให้คุณภาพน้ำที่ผ่านการรดเปลี่ยนแปลงไป สำหรับคุณภาพน้ำทางเคมีที่ทำการตรวจวัดในการทดลองขั้นนี้ ไม่ว่าจะเป็นความกระด้าง (HARDNESS) ความเป็นกรด (ACIDITY) ความเป็นด่าง (ALKALINITY) DO (DISSOLVED OXYGEN) และ $_{p}H$ รวมไปถึงคุณภาพน้ำทางกายภาพ นั่นคือ ความขุ่น (TURBIDITY) พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง

การทดลองในขั้นนี้ พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยใช้ถังเพาะทรงเตี้ย เป็นรูปทรงถังเพาะถั่วงอกที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพเกรด A มากที่สุด และไม่ให้ถั่วงอกเกรด D เลย และให้ถั่วงอกเพิ่มขึ้นถึง 6.60 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง นอกจากนี้การเพาะถั่วงอกโดยใช้ถังเพาะทรงเตี้ย สามารถให้ถั่วงอกเกรด A ในปริมาณที่มากกว่าถั่วงอกเกรด B ถึง 4.32 เท่าของน้ำหนักถั่วงอกสด

Copyright by Mahidol University

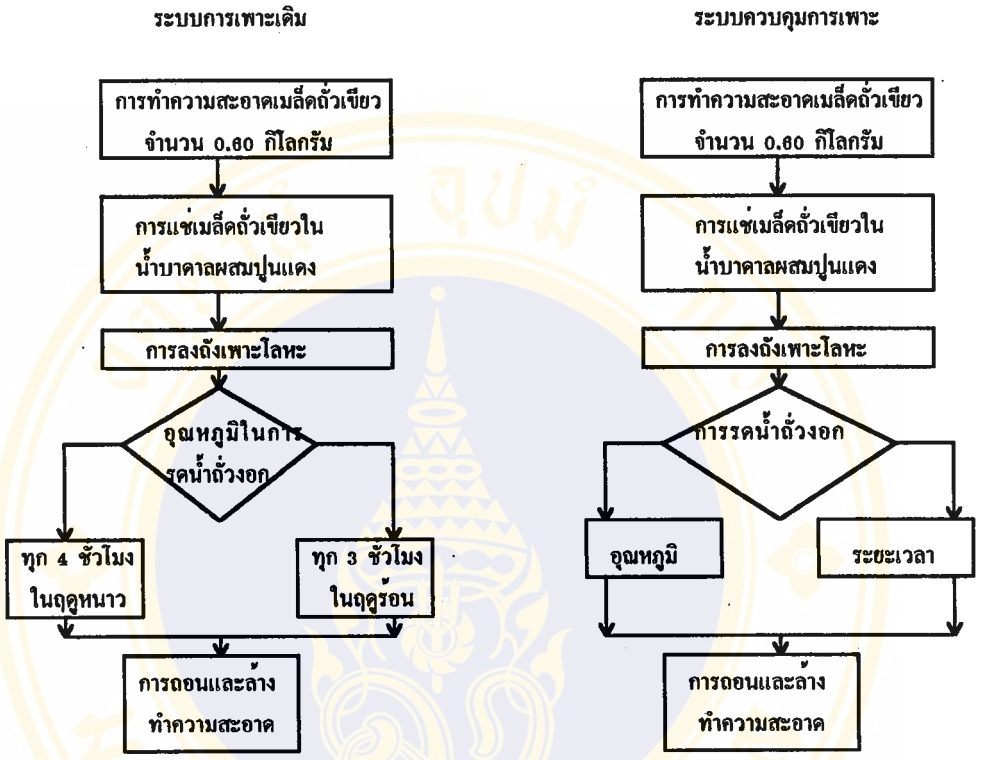
ภาพที่ 4.11 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบถังเพาะรูปทรงสูงและรูปทรงเตี้ย



QUAN : ปริมาณผลผลิต QUA : คุณภาพผลผลิต WAT : ปริมาณน้ำที่ใช้
LAB : ปริมาณแรงงานที่ใช้ ENER : ปริมาณพลังงานที่ใช้ TIME : ปริมาณระยะเวลาที่ใช้

Copyright by Mahidol University

4.1.12 ผลการออกข้อกำหนดในกระบวนการผลิตถั่วงอก



(1) <u>ระบบการเพาะเดิม</u> เป็นระบบการเพาะถั่วงอกที่เป็นเทคโนโลยีดั้งเดิม โดยใช้ประสบการณ์และภูมิปัญญาของผู้ทำการเพาะเป็นสำคัญ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

-การคัดเลือกเมล็ด ถั่วเขียวที่จะนำมาเพาะส่วนมากจะนิยมใช้ถั่วเขียวพันธุ์ผิวมัน ลักษณะของถั่วเขียวที่ดีควรมีเมล็ดโตและสม่ำเสมอ ไม่มีถั่วหินเศษหิน ดิน กรวด ทรายปะปน และควรเป็นถั่วเกรด A ลักษณะของถั่วเขียวที่ไม่ควรนำมาเพาะ คือ ถั่วที่มีเมล็ดไม่สม่ำเสมอ โตบ้างเล็กบ้าง มีถั่วหิน เศษกรวด ดิน หินปะปนอยู่มาก และถั่วที่คลุกสารพิษฆ่าแมลงป้องกันตัวมอด

-ปริมาณถั่วเขียว ถังเพาะขนาดปริมาตร 5 ลิตร จะใช้เมล็ดถั่วเขียวปริมาณ 0.60 กิโลกรัม

-ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างเมล็ด ก่อนที่จะนำเมล็ดถั่วเขียวไปเพาะ จะทำการล้างเมล็ดถั่วเขียวด้วยน้ำบาดาลปริมาณ 8 ลิตร จนเมล็ดถั่วเขียวสะอาด

Copyright by Mahidol University

-ปริมาณน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ดและวิธีการแช่เมล็ด เมื่อล้างเมล็ดถั่วเขียวแล้ว จากนั้นจะทำการแช่เมล็ดถั่วเขียว โดยแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำบาดาลปริมาณ 5 ลิตร และผสมปูนแดงปริมาณ 0.5 กรัม แช่น้ำให้ท่วมเมล็ดถั่วเขียว

-ระยะเวลาการแช่เมล็ด ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ 4 ชั่วโมง ถ้าเป็นฤดูหนาวจะต้องผสมน้ำอุ่นในการแช่เมล็ดด้วย เมล็ดถั่วเขียวที่เสีย ลีบ จะลอยอยู่บนผิวน้ำซึ่งถั่วเขียวพวกนี้จะคัดทิ้งไปไม่ใช้ในการพาะเนื่องจากจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ถั่วเน่าได้ จากนั้นจึงนำเมล็ดถั่วเขียวที่ดีลงถังเพาะ

-การลงถังเพาะ ถังเพาะที่ใช้ในวิธีนี้ใช้ถังเพาะที่มีการเจาะรูที่ก้นถัง เพื่อให้น้ำระบายได้สะดวก ก่อนนำถั่วเขียวลงเพาะจะใช้ตาข่ายรองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดถั่วเขียวไหลออกนอกถังเพาะ จากนั้นหว่านเมล็ดถั่วเขียวที่ผ่านการแช่น้ำแล้วลงในถังเพาะ เมื่อนำเมล็ดถั่วเขียวลงถังเพาะเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการปิดถังด้วยกระสอบเปียกเพื่อป้องกันแสงแดดและเพิ่มความชื้นให้แก่เมล็ดถั่ว

-การรดน้ำ เมื่อทำการลงถังเพาะเรียบร้อยแล้ว ใช้สายยางต่อน้ำรดลงในถังเพาะทุกๆ 3 ชั่วโมง ถ้าเป็นฤดูหนาวจะยืดระยะห่างในการรดน้ำออกไปเป็น 4 ชั่วโมง การรดน้ำลงในถังเพาะจะทำการรดจนกว่าน้ำที่ผ่านออกมาจากถังเพาะ จะมีอุณหภูมิอยู่ในระดับเดียวกันกับน้ำที่ยังไม่ได้ใช้รด

-การถอนและล้างถั่วงอก หลังจากเพาะถั่วแล้ว 3 วัน ก็ทำการถอนและล้างเปลือกถั่วเขียวออกจากถั่วงอก โดยวิธีการล้างเพื่อแยกถั่วงอกออกจากเปลือกถั่วเขียว คือ การนำถั่วงอกไปล้างในกะละมังที่บรรจุน้ำไว้เกือบเต็ม เปลือกถั่วเขียวก็จะลอยขึ้นมาเหนือผิวน้ำ และสามารถช้อนเปลือกถั่วเขียวไปทิ้งได้อย่างสะดวก

(2) <u>ระบบควบคุมการเพาะ</u> เป็นระบบการเพาะถั่วงอกที่เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนามาจากข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ ที่ได้จากการศึกษาและทดลอง และสามารถที่จะพัฒนาให้เป็นระบบการผลิตที่ได้มาตรฐาน ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

-การคัดเลือกเมล็ด ถั่วเขียวที่จะนำมาเพาะส่วนมากจะนิยมใช้ถั่วเขียวพันธุ์ผิวมัน ลักษณะของถั่วเขียวที่ดีควรมีเมล็ดโตและสม่ำเสมอ ไม่มีถั่วหินเศษหิน ดิน กรวด ทรายปะปน และควรเป็นถั่วเกรด A ลักษณะของถั่วเขียวที่ไม่ควรนำมาเพาะ คือ ถั่วที่มีเมล็ดไม่สม่ำเสมอ โตบ้างเล็กบ้าง มีถั่วหิน เศษกรวด ดิน หินปะปนอยู่มาก และถั่วที่คลุกสารพิษฆ่าแมลงป้องกันตัวมอด

Copyright by Mahidol University

-ปริมาณถั่วเขียว ถังเพาะขนาดปริมาตร 5 ลิตร จะใช้เมล็ดถั่วเขียวปริมาณ 0.60 กิโลกรัม

-ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างเมล็ด ก่อนที่จะนำเมล็ดถั่วเขียวไปเพาะ จะทำการล้างเมล็ดถั่วเขียวด้วยน้ำบาดาลปริมาณ 4.00 ลิตร จนเมล็ดถั่วเขียวสะอาด

-ปริมาณน้ำที่ใช้ในการแช่เมล็ดและวิธีการแช่เมล็ด เมื่อล้างเมล็ดถั่วเขียวแล้ว จากนั้นจะทำการแช่เมล็ดถั่วเขียว โดยแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำบาดาลปริมาณ 2.50 ลิตร และผสมปูนแดงปริมาณ 0.5 กรัม แช่น้ำให้ท่วมเมล็ดถั่วเขียว

-ระยะเวลาการแช่เมล็ด ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ 4 ชั่วโมง ถ้าเป็นฤดูหนาวจะต้องผสมน้ำอุ่นในการแช่เมล็ดด้วย เมล็ดถั่วเขียวที่เสีย ลีบ จะลอยอยู่บนผิวน้ำซึ่งถั่วเขียวพวกนี้จะคัดทิ้งไปไม่ใช้ในการพาะเนื่องจากจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ถั่วเน่าได้ จากนั้นจึงนำเมล็ดถั่วเขียวที่ดีลงถังเพาะ

-การลงถังเพาะ ถังเพาะที่ใช้ในวิธีนี้ใช้ถังเพาะที่มีการเจาะรูที่ก้นถัง เพื่อให้น้ำระบายได้สะดวก ก่อนนำถั่วเขียวลงเพาะจะใช้ตาข่ายรองก้นถังเพื่อป้องกันเมล็ดถั่วเขียวไหลออกนอกถังเพาะ จากนั้นหว่านเมล็ดถั่วเขียวที่ผ่านการแช่น้ำแล้วลงในถังเพาะ เมื่อนำเมล็ดถั่วเขียวลงถังเพาะเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการปิดถังด้วยกระสอบเปียกเพื่อป้องกันแสงแดดและเพิ่มความชื้นให้แก่เมล็ดถั่ว

-การรดน้ำ เมื่อทำการลงถังเพาะเรียบร้อยแล้ว ใช้สายยางต่อน้ำรดลงในถังเพาะทุกๆ 3 ชั่วโมง ถ้าเป็นฤดูหนาวจะยืดระยะห่างในการรดน้ำออกไปเป็น 4 ชั่วโมง ซึ่งในการรดน้ำจะใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ดถั่วเขียวเป็นตัวชี้วัดระยะห่างในการรดน้ำแต่ละครั้ง

-ระยะเวลาการขังน้ำ ในการควบคุมอุณหภูมิจะใช้การขังน้ำช่วยในการรดน้ำ เพื่อเป็นการลดปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ดังนั้นการรดน้ำจึงทำการขังน้ำภายในถังเพาะเป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงปล่อยน้ำออกจากถังเพาะ และให้อุณหภูมิในถังเพาะอยู่ในระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอก เพื่อให้ถั่วงอกสามารถงอกได้ดี

-การถอนและล้างถั่วงอก หลังจากเพาะถั่วแล้ว 60 ชั่วโมง ก็ทำการถอนและล้างเปลือกถั่วเขียวออกจากถั่วงอก โดยวิธีการล้างเพื่อแยกถั่วงอกออกจากเปลือกถั่วเขียว คือ การนำถั่วงอกไปล้างในกะละมังที่บรรจุน้ำไว้เกือบเต็ม เปลือกถั่วเขียวก็จะลอยขึ้นมาเหนือผิวน้ำ และสามารถช้อนเปลือกถั่วเขียวไปทิ้งได้อย่างสะดวก

Copyright by Mahidol University

4.1.13 ผลการทดลองเปรียบเทียบระบบการเพาะถั่วงอก

ทำการทดลองระหว่างวันที่ 21-24 มิถุนายน พ.ศ. 2538 ณ โรงเพาะถั่วงอก ต.บ้านแก้ง อ.เมือง จ.สระแก้ว ช่วงที่ทำการทดลองสภาพบรรยากาศทั่วไปมีอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย 30.34 °C อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย 28.1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเฉลี่ย 91 % อัตราการระเหยน้ำโดยเฉลี่ย 1.2 มม. ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที

(1) ผลการทดลอง

1. ผลผลิต การเพาะถั่วงอกโดยใช้กรรมวิธีทั้ง 2 แบบ สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพแตกต่างกัน 3 เกรด (ตาราง 4.30) พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยระบบควบคุมการเพาะ สามารถให้ถั่วงอกเกรด A โดยให้ถั่วงอกเกรด A เพียงเกรดเดียว และการเพาะถั่วงอกโดยระบบการเพาะเดิมให้ถั่วงอกเกรด A B และ C โดยให้ถั่วงอกเกรด A B และ C ในปริมาณลดลง ตามลำดับ การเพาะทั้ง 2 แบบไม่ให้ถั่วงอกเกรด D เลย สำหรับ ปริมาณถั่วงอกที่เพาะได้โดยระบบควบคุมการเพาะ และการเพาะถั่วงอกโดยระบบการเพาะเดิม พบว่า มีอัตราเพิ่มขึ้น 6.90 และ 6.50 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง ตามลำดับ จะเห็นว่า การเพาะถั่วงอกโดยระบบควบคุมการเพาะและระบบการเพาะเดิม ให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพและปริมาณที่แตกต่างกัน ผลผลิตที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 แสดงผลผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกและระบบเดิม

ทรีทเมนต์	ผลผลิต (กิโลกรัม)	ผลผลิต (%)			
		เกรด A	เกรด B	เกรด C	เกรด D
1	4.14	100	–	–	–
2	3.91	80.00	15.00	5.00	–

2. ปัจจัยการผลิต การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกโดยกรรมวิธี 2 แบบ (ตาราง 4.31) พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยระบบควบคุมการเพาะ ใช้ทรัพยากรการผลิตทั้งทางด้านน้ำ พลังงาน แรงงาน และระยะเวลาการผลิต ในกระบวนการผลิตน้อยกว่าการเพาะถั่วงอกโดยระบบควบคุมการเพาะเดิม ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการทดลองขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.31

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 4.31 แสดงปัจจัยการผลิตจากการทดลองเปรียบเทียบระบบควบคุมการเพาะและระบบเดิม

ทรีทเมนต์	ปัจจัยการผลิต			
	น้ำ (ลิตร)	แรงงาน (นาที)	พลังงาน (วัตต์)	เวลา (ชั่วโมง)
1	50.00	100.00	625.00	60.00
2	140.00	155.00	1,750.00	60.00

3. <u>คุณภาพน้ำ</u> การเพาะถั่วงอกโดยใช้กรรมวิธีทั้ง 2 แบบ สามารถให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน (ตาราง 4.32) ทั้งคุณภาพน้ำทางเคมีและคุณภาพน้ำทางกายภาพ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทั้งก่อน/หลังการรดน้ำ พบว่า กรรมวิธีการผลิตทั้ง 2 แบบแต่ละกลุ่มเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน สามารถให้คุณภาพน้ำที่ไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ไม่ว่าจะเป็นกรรมวิธีการผลิตแบบใดก็ไม่ทำให้คุณภาพน้ำที่ผ่านการรดเปลี่ยนแปลงไป คุณภาพน้ำก่อนใช้/คุณภาพน้ำหลังใช้ ที่ได้จากการทดลองในขั้นนี้ แสดงดังตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 แสดงคุณภาพน้ำจากการทดลองเปรียบเทียบระบบควบคุมการเพาะและระบบเดิม

ทรีทเมนต์	คุณภาพน้ำ					
	HARDNESS	ACIDITY	ALKALINITY	DO	$_{P}$H	TURBIDITY
1	93/93	9/9	68/68	7.2/7.2	6.5/6.5	5/5
2	93/93	9/9	68/68	7.2/7.2	6.5/6.5	5/5

(2) การวิเคราะห์ผล

1. <u>คุณภาพผลผลิต</u>

สมมติฐานทางการวิจัย H_O : ถั่วงอกที่ผลิตโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะจะมีคุณภาพเท่ากับถั่วงอกที่ผลิตโดยใช้ระบบการเพาะเดิม

H_A : ถั่วงอกที่ผลิตโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะจะมีคุณภาพดีกว่าถั่วงอกที่ผลิตโดยใช้ระบบการเพาะเดิม

Copyright by Mahidol University

สมมติฐานทางสถิติ $H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_A : \mu_1 < \mu_2$

μ_1 : คุณภาพถั่วงอกที่เพาะโดยระบบการเพาะเดิม

μ_2 : คุณภาพถั่วงอกที่เพาะโดยระบบควบคุมการเพาะ

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
8.33	.214	9.83	4	.001	9.83	2.47	.005

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_A นั่นคือ คุณภาพผลผลิตที่ได้จากระบบการเพาะทั้ง 2 ระบบ ไม่เท่ากัน

2. <u>ปริมาณผลผลิต</u>

สมมติฐานทางการวิจัย H_0 : ถั่วงอกที่ผลิตโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะจะมีปริมาณเท่ากับถั่วงอกที่ผลิตโดยใช้ระบบการเพาะเดิม

H_A : ถั่วงอกที่ผลิตโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะจะมีปริมาณมากกว่าถั่วงอกที่ผลิตโดยใช้ระบบการเพาะเดิม

สมมติฐานทางสถิติ $H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_A : \mu_1 < \mu_2$

μ_1 : ปริมาณถั่วงอกที่ใช้การได้ที่เพาะโดยระบบการเพาะเดิม

μ_2 : ปริมาณถั่วงอกที่ใช้การได้ที่เพาะโดยระบบควบคุมการเพาะ

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
9.33	.194	12.21	4	.000	12.21	2.42	.003

Copyright by Mahidol University

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปริมาณผลผลิตที่ได้จากระบบการเพาะทั้ง 2 ระบบ ไม่เท่ากัน

3. ปริมาณแรงงาน

สมมติฐานทางการวิจัย H_O : การผลิตโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะจะใช้แรงงานในการเพาะเท่ากับการผลิตโดยใช้ระบบการเพาะเดิม

H_A : การผลิตโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะจะใช้แรงงานในการเพาะน้อยกว่าการผลิตโดยใช้ระบบการเพาะเดิม

สมมติฐานทางสถิติ H_O : $\mu_1 = \mu_2$

H_A : $\mu_1 > \mu_2$

μ_1 : ปริมาณแรงงานที่ใช้ในกระบวนการเพาะถั่วงอกโดยระบบการเพาะเดิม

μ_2 : ปริมาณแรงงานที่ใช้ในกระบวนการเพาะถั่วงอกโดยระบบควบคุมการเพาะ

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
4.46	.366	-36.92	4	.000	-36.92	2.85	.000

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปริมาณแรงงานที่ใช้ในระบบการเพาะทั้ง 2 ระบบ ไม่เท่ากัน

4. ปริมาณระยะเวลา

สมมติฐานทางการวิจัย H_O : การผลิตโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะจะใช้ระยะเวลาในการเพาะเท่ากับการผลิตโดยใช้ระบบการเพาะเดิม

H_A : การผลิตโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะจะใช้ระยะเวลาในการเพาะน้อยกว่าการผลิตโดยใช้ระบบการเพาะเดิม

Copyright by Mahidol University

สมมติฐานทางสถิติ H_O : $\mu_1 = \mu_2$

H_A : $\mu_1 > \mu_2$

μ_1 : ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการเพาะถั่วงอกโดยระบบการเพาะเดิม

μ_2 : ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการเพาะถั่วงอกโดยระบบควบคุมการเพาะ

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
25.33	.076	26.78	4	.000	26.78	2.16	.001

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_O และยอมรับ H_A นั่นคือ ปริมาณระยะเวลาที่ใช้ในระบบการเพาะทั้ง 2 ระบบ ไม่เท่ากัน

5. ปริมาณน้ำ

สมมติฐานทางการวิจัย H_O : การผลิตโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะจะใช้น้ำในการเพาะเท่ากับการผลิตโดยใช้ระบบการเพาะเดิม

H_A : การผลิตโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะจะใช้น้ำในการเพาะน้อยกว่ากระบวนการผลิตโดยใช้ระบบการเพาะเดิม

สมมติฐานทางสถิติ H_O : $\mu_1 = \mu_2$

H_A : $\mu_1 > \mu_2$

μ_1 : ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการเพาะถั่วงอกโดยระบบการเพาะเดิม

μ_2 : ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการเพาะถั่วงอกโดยระบบควบคุมการเพาะ

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
1.81	.711	-58.73	4	.000	-58.73	3.69	.000

Copyright by Mahidol University

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_A นั่นคือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบการเพาะทั้ง 2 ระบบ ไม่เท่ากัน

6. ปริมาณพลังงาน

สมมติฐานทางการวิจัย H_0 : การผลิตโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะจะใช้พลังงานในการเพาะเท่ากับการผลิตโดยใช้ระบบการเพาะเดิม

H_A : การผลิตโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะจะใช้พลังงานในการเพาะน้อยกว่ากระบวนการผลิตโดยใช้ระบบการเพาะเดิม

สมมติฐานทางสถิติ H_0 : $\mu_1 = \mu_2$

H_A : $\mu_1 > \mu_2$

μ_1 : ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการเพาะถั่วงอกโดยระบบการเพาะเดิม

μ_2 : ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการเพาะถั่วงอกโดยระบบควบคุมการเพาะ

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
4.51	.363	-37.69	4	.000	-37.69	2.84	.000

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_A นั่นคือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ในระบบการเพาะทั้ง 2 ระบบ ไม่เท่ากัน

7. คุณภาพน้ำ

สมมติฐานการวิจัย H_0 : การเพาะถั่วงอกทั้ง 2 ระบบให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน

H_A : ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกให้คุณภาพน้ำดีกว่า

สมมติฐานทางสถิติ H_0 : $\mu_1 = \mu_2$

H_A : $\mu_1 < \mu_2$

Copyright by Mahidol University

μ_1 : คุณภาพน้ำที่ผ่านการใช้ในกระบวนการเพาะถั่วงอกโดยระบบการเพาะเดิม

μ_2 : คุณภาพน้ำที่ผ่านการใช้ในกระบวนการเพาะถั่วงอกโดยระบบควบคุมการเพาะ

F VALUE	2-TAIL PROB.	POOLED VARIANCE ESTIMATE			SEPARATE VARIANCE ESTIMATE		
		T VALUE	DF	2-TAIL PROB.	T VALUE	DF	2-TAIL PROB.
126.58	.016	11.24	4	.000	11.24	2.03	.007

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองและทดสอบสมมติฐาน พบว่า ยอมรับ H_0 และปฏิเสธ H_A นั่นคือ คุณภาพน้ำที่ได้จากระบบการเพาะทั้ง 2 ระบบ เท่ากัน

(3) การอภิปรายผลการทดลอง

การเพาะถั่วงอกโดยใช้กรรมวิธีทั้ง 2 แบบ (ตาราง 4.30) พบว่า คุณภาพของถั่วงอกที่เพาะโดยระบบควบคุมการเพาะให้ถั่วงอกคุณภาพเกรด A ในปริมาณที่มากกว่าการเพาะโดยระบบการเพาะเดิม เนื่องจากการเพาะถั่วงอกโดยระบบควบคุมการเพาะ เป็นการให้น้ำถั่วงอกในลักษณะของการขังน้ำ ดังนั้นถั่วงอกที่เพาะจึงได้รับน้ำในปริมาณที่เพียงพออย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอกันทั้งถังเพาะ มีผลให้ถั่วงอกที่ได้จึงเป็นถั่วงอกเกรด A เพียงอย่างเดียว สำหรับการเพาะถั่วงอกโดยระบบการเพาะเดิมเป็นการให้น้ำถั่วงอกในลักษณะของการรดน้ำผ่าน ถึงแม้ว่าวิธีการรดน้ำผ่านจะเป็นวิธีการที่ให้ถั่วงอกมีคุณภาพไม่ดีนัก แต่ถ้าเพิ่มปริมาณน้ำที่รดในแต่ละครั้งเป็น 2 เท่าของปริมาณน้ำรดเดิม ก็สามารถทำให้วิธีการให้น้ำแบบนี้ให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพดีขึ้นมาได้ดังนั้นถั่วงอกที่เพาะได้จึงปะปนกันระหว่างถั่วงอกที่มีลักษณะสมบูรณ์และถั่วงอกที่มีลักษณะค่อนข้างสมบูรณ์ โดยมีถั่วงอกลักษณะค่อนข้างสมบูรณ์ปะปนอยู่ในปริมาณเล็กน้อย

การใช้ทรัพยากรในการผลิตถั่วงอกโดยกรรมวิธี 2 แบบ (ตาราง 4.31) พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยระบบควบคุมการเพาะ ใช้ทรัพยากรการผลิตทั้งทางด้านน้ำ พลังงาน แรงงาน และระยะเวลาการผลิต ในกระบวนการผลิตน้อยกว่าการเพาะถั่วงอกโดยระบบควบคุมการเพาะเดิม

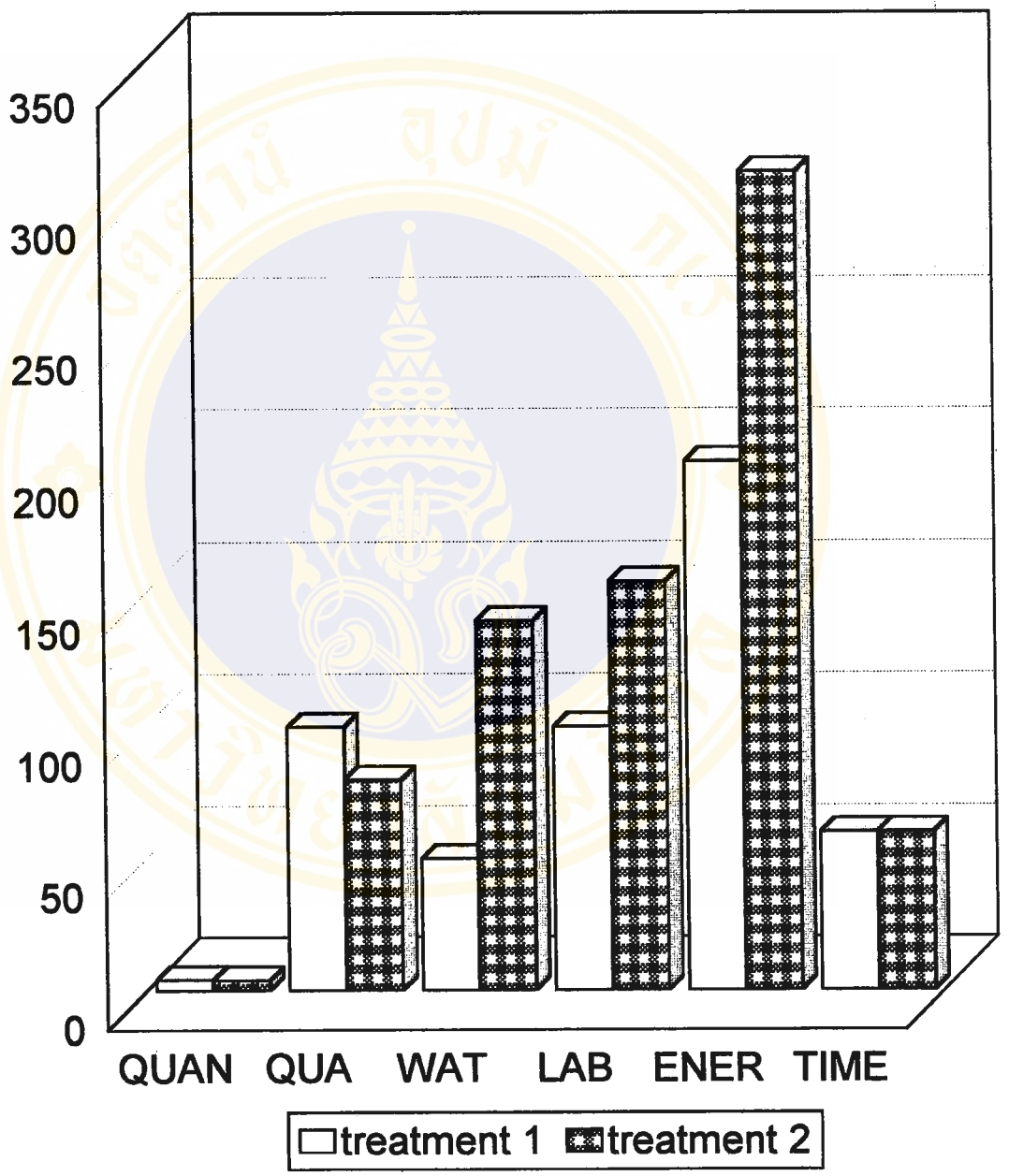
Copyright by Mahidol University

การเพาะถั่วงอกโดยใช้กรรมวิธีทั้ง 2 แบบ สามารถให้คุณภาพน้ำไม่แตกต่างกัน (ตาราง 4.32) ทั้งคุณภาพน้ำทางเคมีและคุณภาพน้ำทางกายภาพ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทั้งก่อน/หลังการรดน้ำ พบว่า กรรมวิธีการผลิตทั้ง 2 แบบแต่ละกลุ่มเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน สามารถให้คุณภาพน้ำที่ไม่แตกต่างกัน นั่นคือ ไม่ว่าจะเป็นกรรมวิธีการผลิตแบบใดก็ไม่ทำให้คุณภาพน้ำที่ผ่านการรดเปลี่ยนแปลงไป สำหรับคุณภาพน้ำทางเคมีที่ทำการตรวจวัดในการทดลองขั้นนี้ ไม่ว่าจะเป็นความกระด้าง (HARDNESS) ความเป็นกรด (ACIDITY) ความเป็นด่าง (ALKALINITY) DO (DISSOLVED OXYGEN) และ $_{p}H$ รวมไปถึงคุณภาพน้ำทางกายภาพ นั่นคือ ความขุ่น (TURBIDITY) พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง

การทดลองในขั้นนี้ พบว่า การเพาะถั่วงอกโดยระบบควบคุมการเพาะ เป็นวิธีการเพาะถั่วงอกที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพเกรด A มากที่สุดเพียงเกรดเดียว และไม่ให้ถั่วงอกเกรด B C และ D เลย และให้ถั่วงอกเพิ่มขึ้นถึง 6.90 เท่าของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง นอกจากนี้สามารถใช้ทรัพยากรการผลิตในอัตราที่น้อยอีกด้วย

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 4.12 แสดงกราฟจากการทดลองเปรียบเทียบระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกและระบบเดิม

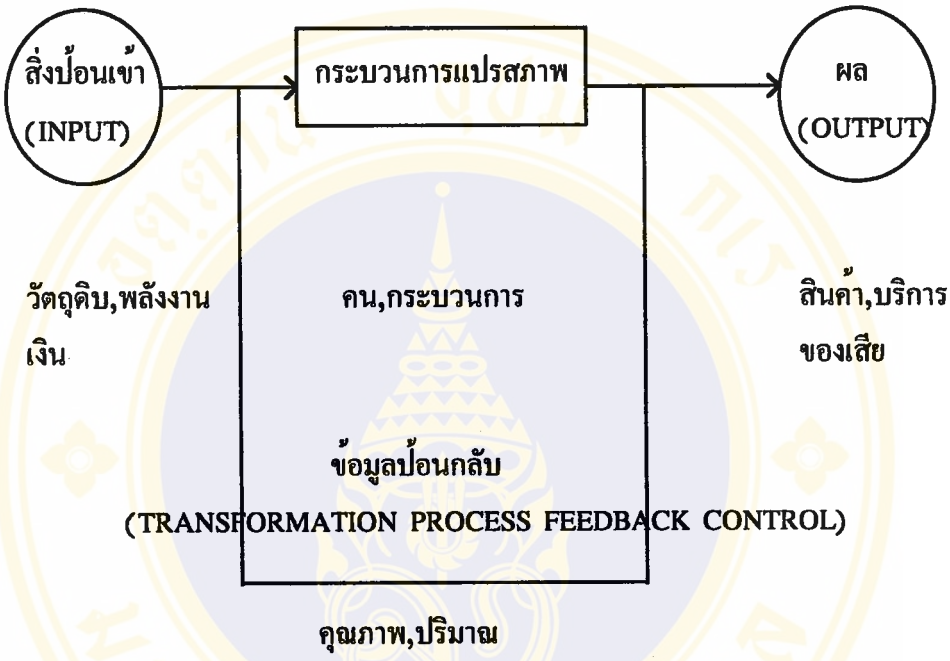


QUAN : ปริมาณผลผลิต QUA : คุณภาพผลผลิต WAT : ปริมาณน้ำที่ใช้
LAB : ปริมาณแรงงานที่ใช้ ENER : ปริมาณพลังงานที่ใช้ TIME : ปริมาณระยะเวลาที่ใช้

Copyright by Mahidol University

4.2 การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยี

ระบบการผลิตเป็นระบบงานที่เกี่ยวข้องกับ การสร้างสรรค์สิ่งต่างๆให้มีคุณค่าขึ้นมาโดยใช้ปัจจัยการผลิต ได้แก่ วัตถุดิบ คน เครื่องจักรอุปกรณ์ และพลังงาน ปัจจัยการผลิต



การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยีเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญ สำหรับการวิเคราะห์ระบบการผลิต ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลป้อนกลับ (TRANSFORMATION PROCESS FEEDBACK CONTROL) ของระบบการผลิต ทั้งข้อมูลทางคุณภาพและปริมาณ การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยี ประกอบด้วยการวิเคราะห์ 3 หลักเกณฑ์ ดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางประสิทธิผลการผลิต (EFFECTIVENESS)

4.2.2 การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางสมรรถนะการผลิต (PERFORMANCE)

4.2.3 การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางประสิทธิภาพการผลิต (EFFICIENCY)

4.2.1 การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางประสิทธิผลการผลิต

การวิเคราะห์ประสิทธิผลทางการผลิต สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ข้อมูลจากระบบการผลิต ในรูปแบบของการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยมีกลุ่มข้อมูลที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่ ปริมาณผลผลิตที่ได้ และปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ไป มีหน่วยเป็นเท่า ซึ่งมีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

Copyright by Mahidol University

$$\text{ประสิทธิผลการผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักรวมของผลผลิตถั่วงอก}}{\text{น้ำหนักเมล็ดถั่วเขียวแห้ง}}$$

การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะ สามารถให้ผลิตรวมมีน้ำหนัก 4.14 กิโลกรัม ต่อน้ำหนักถั่วเขียว 0.60 กิโลกรัม โดยถั่วงอกที่ทำการเพาะได้มีถั่วงอกคุณภาพเกรด A ทั้งหมด ซึ่งมีอัตราการใช้ปัจจัยการผลิตตลอดระบบการผลิต ดังนี้ อัตราการใช้น้ำในการผลิต 66.50 ลิตร อัตราการใช้แรงงานในการผลิต 2.16 ชั่วโมง อัตราการใช้พลังงานในการผลิต 831.25 วัตต์ และอัตราการใช้ระยะเวลาการผลิต 60 ชั่วโมง ดังนั้น เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนเมล็ดถั่วเขียว 1 กิโลกรัม สามารถให้ผลผลิตถั่วงอก 6.90 กิโลกรัม ใช้น้ำในกระบวนการผลิต 110.83 ลิตร ใช้แรงงานในกระบวนการผลิต 3.60 ชั่วโมง และใช้พลังงานในกระบวนการผลิต 1,385.42 วัตต์ หรือ 1.38 กิโลวัตต์

จากสูตรและข้อมูลในระบบการผลิตข้างต้น สามารถนำมาคำนวณประสิทธิผลการผลิตของระบบได้ ดังนี้

$$\text{ประสิทธิผลการผลิต} = \frac{4.14}{0.60}$$

$$= 6.90 \text{ เท่า}$$

นั่นคือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกมีประสิทธิผลการผลิต 6.90 เท่า หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกสามารถผลิตถั่วงอกให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเป็น 6.90 เท่าของน้ำหนักเมล็ดถั่วเขียวแห้ง

4.2.2 การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางสมรรถนะการผลิต

การวิเคราะห์สมรรถนะทางการผลิตของระบบควบคุมการผลิตถั่วงอก สามารถวิเคราะห์ได้ในรูปแบบของความสัมพันธ์กันระหว่างข้อมูล 2 กลุ่ม คือ ข้อมูลทางด้านประสิทธิผลการผลิตและข้อมูลทางด้านสมรรถนะการผลิต ซึ่งข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มเป็นข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันอย่างซับซ้อนใน

Copyright by Mahidol University

ลักษณะขององค์ประกอบและหน้าที่ของข้อมูล โดยมีลักษณะของการวิเคราะห์เป็นการแปลรูปแบบของข้อมูลทางด้านประสิทธิผลการผลิต ให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลทางด้านสมรรถนะการผลิต ดังนี้

$$\text{สมรรถนะการผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักรวมของผลผลิตถั่วงอก}}{\text{น้ำหนักเมล็ดถั่วเขียวแห้ง}}$$

การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะ เป็นระบบที่มีสมรรถนะในการผลิตเมล็ดถั่วเขียวที่มีน้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ให้ได้เป็นถั่วงอกที่มีน้ำหนัก 4.14 กิโลกรัม หรืออีกความหมายหนึ่งก็คือ เป็นระบบการเพาะเมล็ดถั่วเขียวที่มีน้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ให้ได้เป็นถั่วงอกที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นถึง 6.90 เท่าของน้ำหนักเมล็ดถั่วเขียวแห้ง โดยใช้อัตราการใช้ปัจจัยการผลิตตลอดระบบการผลิต ดังนี้ อัตราการใช้น้ำในการผลิต 66.50 ลิตร อัตราการใช้แรงงานในการผลิต 2.16 ชั่วโมง อัตราการใช้พลังงานในการผลิต 831.25 วัตต์ และอัตราการใช้ระยะเวลาการผลิต 60 ชั่วโมง และสามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพเกรด A ทั้งหมด ดังนั้น เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนเมล็ดถั่วเขียว 1 กิโลกรัม สามารถให้ผลผลิตถั่วงอก 6.90 กิโลกรัม ใช้น้ำในกระบวนการผลิต 110.83 ลิตร ใช้แรงงานในกระบวนการผลิต 3.60 ชั่วโมง และใช้พลังงานในกระบวนการผลิต 1,385.42 วัตต์ หรือ 1.38 กิโลวัตต์

จากสตูรและข้อมูลในระบบการผลิตข้างต้น สามารถนำมาคำนวณสมรรถนะการผลิตของระบบได้ ดังนี้

$$\text{สมรรถนะการผลิต} = \frac{4.14}{0.60}$$

$$= 6.90 \text{ เท่า}$$

นั่นคือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกมีสมรรถนะการผลิต 6.90 เท่า หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกสามารถผลิตถั่วงอกให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเป็น 6.90 เท่าของน้ำหนักเมล็ดถั่วเขียวแห้ง

Copyright by Mahidol University

4.2.3 การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางประสิทธิภาพการผลิต

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางการผลิต เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของข้อมูล 2 กลุ่ม คือ ข้อมูลทางด้านเทคโนโลยี และข้อมูลทางด้านการเงิน

(1) ประสิทธิภาพเชิงเทคโนโลยี

(2) ประสิทธิภาพเชิงการเงิน

(1) ประสิทธิภาพเชิงเทคโนโลยี สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ข้อมูลจากระบบการผลิต ในรูปแบบของการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยมีกลุ่มข้อมูลที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่ ปริมาณผลผลิตที่ได้ และปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ไป มีหน่วยเป็นร้อยละ ซึ่งมีสตูรในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ (เชิงเทคโนโลยี)} = \frac{\text{ประสิทธิผลการผลิต}}{\text{สมรรถนะการผลิต}} \times 100$$

การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะ สามารถให้ผลิตรวมมีน้ำหนัก 4.14 กิโลกรัม ต่อน้ำหนักถั่วเขียว 0.60 กิโลกรัม โดยถั่วงอกที่ทำการเพาะได้มีถั่วงอกคุณภาพเกรด A ทั้งหมด ซึ่งมีอัตราการใช้ปัจจัยการผลิตตลอดระบบการผลิต ดังนี้ อัตราการใช้น้ำในการผลิต 66.50 ลิตร อัตราการใช้แรงงานในการผลิต 2.16 ชั่วโมง อัตราการใช้พลังงานในการผลิต 831.25 วัตต์ และอัตราการใช้ระยะเวลาการผลิต 60 ชั่วโมง

จากสตูรและข้อมูลในระบบการผลิตข้างต้น สามารถนำมาคำนวณประสิทธิภาพการผลิตของระบบได้ ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ (เชิงเทคโนโลยี)} = \frac{6.90}{6.90} \times 100 = 100\ \%$$

Copyright by Mahidol University

นั่นคือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกมีประสิทธิภาพการผลิตเชิงเทคโนโลยี 100 % หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกมีประสิทธิผลการผลิตเท่ากับสมรรถนะการผลิต

(1) ประสิทธิภาพเชิงการเงิน สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ข้อมูลจากระบบการผลิต ในรูปแบบของการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยมีกลุ่มข้อมูลที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่ กำไรผลิตที่ได้ และต้นทุนการผลิตที่ใช้ไป มีหน่วยเป็นร้อยละ ซึ่งมีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ (เชิงการเงิน)} = \frac{\text{จำนวนเงินที่ได้จากการขายผลผลิต}}{\text{จำนวนเงินที่ใช้ในการผลิต}} \times 100$$

การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะ สามารถให้ผลิตรวมมีน้ำหนัก 4.14 กิโลกรัม ต่อน้ำหนักถั่วเขียว 0.60 กิโลกรัม โดยถั่วงอกที่ทำการเพาะได้มีถั่วงอกคุณภาพเกรด A ทั้งหมด โดยราคาขายเมล็ดถั่วเขียวกิโลกรัมละ 20 บาท ราคาขายถั่วงอกกิโลกรัมละ 7.00 บาท ซึ่งมีอัตราการใช้ปัจจัยการผลิตตลอดระบบการผลิต ดังนี้ อัตราการใช้น้ำในการผลิต 66.50 ลิตร โดยอัตราค่าน้ำ 5.00 บาท/UNIT อัตราการใช้แรงงานในการผลิต 2.16 ชั่วโมง โดยมีอัตราค่าแรงงานขั้นต่ำ 145.00 บาท/วัน อัตราการใช้พลังงานในการผลิต 831.25 วัตต์ โดยมีอัตราค่ากระแสไฟฟ้า 1.72 บาท/UNIT และอัตราการใช้ระยะเวลาการผลิต 60 ชั่วโมง โดยมีอัตราค่าแรงขั้นต่ำ 145.00 บาท/วัน

จากสูตรและข้อมูลในระบบการผลิตข้างต้น สามารถนำมาคำนวณประสิทธิภาพการผลิตเชิงการเงินของระบบได้ ดังนี้

ในกรณีไม่คิดค่าจ้างแรงงานในกระบวนการผลิต

$$\text{ประสิทธิภาพ (เชิงการเงิน)} = \frac{28.98}{13.76} \times 100 = 210.61\ \%$$

Copyright by Mahidol University

นั่นคือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกมีประสิทธิภาพการผลิตเชิงการเงิน 210.61 % หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกสามารถผลิตถั่วงอกให้มีกำไรจากการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 210.61 % ของต้นทุนการผลิต

ในกรณีคิดค่าจ้างแรงงานในกระบวนการผลิต

$$\text{ประสิทธิภาพ (เชิงการเงิน)} = \frac{28.98}{435+13.76} \times 100$$

$$= 6.46\ \%$$

นั่นคือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกมีประสิทธิภาพการผลิตเชิงการเงิน 6.46 % หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกสามารถผลิตถั่วงอกให้มีกำไรจากการผลิตลดลงเป็น 6.46 % ของต้นทุนการผลิต ดังนั้นผู้ผลิตต้องผลิตถั่วงอกอย่างน้อยที่สุดวันละ 76 กิโลกรัมจึงจะคุ้มต้นทุนการผลิต

Copyright by Mahidol University

บทที่ 5

สรุปการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การสรุปศึกษาและข้อเสนอแนะในการศึกษานี้ สามารถแบ่งเป็นหัวข้อย่อยได้ ดังนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 สรุปผลการศึกษาจากการทดลอง
5.1.2 สรุปผลการศึกษาจากการวิเคราะห์ความเหมาะสม
5.1.3 ปัญหาและอุปสรรคจากการทดลอง
5.1.4 การนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติจริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งนี้
5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งต่อไป

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 สรุปผลการศึกษาจากการทดลอง

ระบบการเพาะถั่วงอกเป็นระบบที่มีปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขบวนการงอกของเมล็ดถั่วเขียวเข้ามาเกี่ยวข้อง 2 ด้าน คือ (1) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขบวนการงอกของเมล็ดถั่วเขียวทางด้านวิทยาศาสตร์ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขบวนการงอก (GERMINATION) ของเมล็ดถั่วเขียวโดยตรง ซึ่งปัจจัยกลุ่มนี้ ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นสำหรับการงอกของเมล็ด อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ด ปริมาณน้ำที่เพียงพอสำหรับการงอกของเมล็ด ระยะห่างการให้น้ำสำหรับการงอกของเมล็ด (2) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขบวนการงอกของเมล็ดถั่วเขียวทางด้านอุตสาหกรรมศาสตร์ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ

Copyright by Mahidol University

กระบวนการผลิต (PRODUCTION) ถั่วงอกในเชิงอุตสาหกรรม ได้แก่ ปริมาณถั่วเขียวต่อถังเพาะ ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต การเร่งอัตราการเจริญเติบโต วิธีการให้น้ำ รูปทรงถังเพาะ

(1) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขบวนการงอกของเมล็ดถั่วเขียวทางด้านวิทยาศาสตร์ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขบวนการงอก (GERMINATION) ของเมล็ดถั่วเขียวโดยตรง ซึ่งสามารถแยกประเด็นการศึกษาได้ ดังนี้

1.1 ความชื้นเริ่มต้นสำหรับการงอกของเมล็ด จากการศึกษา พบว่า ความชื้นเริ่มต้นสำหรับการงอกของเมล็ด ควรจะเริ่มต้นที่ 60-130 % ของน้ำหนักถั่วเขียวแห้ง เมล็ดจึงสามารถงอกได้ ถ้าความชื้นเริ่มต้นสูงระยะเวลาในการงอกจะสั้นลง ในทางตรงกันข้ามถ้าความชื้นเริ่มต้นต่ำระยะเวลาในการงอกจะยาวขึ้น

1.2 อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ด จากการศึกษา พบว่า อุณหภูมิในการงอกของเมล็ดจะแตกต่างกันไปตามช่วงเวลา ชั่วโมงการเพาะที่ 1-12 อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 33 °C ชั่วโมงการเพาะที่ 13-36 อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 35°C ชั่วโมงการเพาะที่ 37-60 อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 38°C ถ้ามีการควบคุมอุณหภูมิสำหรับการงอกให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมถั่วงอกที่เพาะได้จะมีคุณภาพดี ถ้าอุณหภูมิสำหรับการงอกต่ำเกินไปถั่วงอกจะเจริญเติบโตในอัตราที่ช้า ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิสำหรับการงอกสูงเกินไปถั่วงอกจะเกิดการตายนึ่ง

1.3 ปริมาณน้ำที่เพียงพอสำหรับการงอกของเมล็ด จากการศึกษา พบว่า ในระหว่างขบวนการงอกเมล็ดต้องการน้ำเพื่อไปใช้ในขบวนการย่อยสารโมเลกุลใหญ่ การเคลื่อนย้ายสารอาหาร รวมถึงการสังเคราะห์ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ ความต้องการใช้น้ำของถั่วงอกจึงมีความจำเป็น และความต้องการใช้น้ำของถั่วงอกจะแตกต่างกันไปตามช่วงเวลา ชั่วโมงการเพาะที่ 1-12 ความต้องการใช้น้ำคือ 3-5 ลิตร/3 ชั่วโมง ชั่วโมงการเพาะที่ 13-36 ความต้องการใช้น้ำคือ 6-10 ลิตร/3 ชั่วโมง ชั่วโมงการเพาะที่ 37-60 ความต้องการใช้น้ำคือ 11-20 ลิตร/3 ชั่วโมง จะเห็นว่าความต้องการใช้น้ำของถั่วงอกจะมีช่วงเวลาที่สอดคล้องกับระดับการเพิ่มอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอก นั่นคือบทบาทของน้ำในการรักษาระดับอุณหภูมิให้เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ด ซึ่งเป็นบทบาทที่นอกเหนือไปจากการเพิ่มความชื้นเริ่มต้นให้แก่เมล็ดสำหรับการงอก และการเป็นตัวทำละลายและเคลื่อนย้ายสารอาหารในขบวนการงอกและการเจริญเติบโตของเมล็ด

Copyright by Mahidol University

1.4 ระยะห่างการให้น้ำสำหรับการงอกของเมล็ด จากการศึกษา พบว่า ความต้องการใช้น้ำของถั่วงอกเพื่อใช้ในขบวนการงอกและการเจริญเติบโตเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งนอกจากถั่วงอกจะต้องได้รับน้ำในปริมาณที่เพียงพอแล้วยังต้องได้รับน้ำในระยะเวลาห่างที่เหมาะสมสำหรับการงอกอีกด้วย ถั่วงอกต้องการได้รับน้ำในทุกๆ 3 ชั่วโมงของการเพาะ ถ้าให้น้ำในระยะเวลาห่างที่นานกว่านี้ถั่วงอกจะมีอัตราการเจริญเติบโตช้าและเกิดการงอกอย่างไม่สมบูรณ์

(2)) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขบวนการงอกของเมล็ดถั่วเขียวทางด้านอุตสาหกรรมศาสตร์ เป็นปัจจัยที่ทีอิทธิพลต่อกระบวนการผลิต (PRODUCTION) ถั่วงอกในเชิงอุตสาหกรรม ในทางการผลิตทางอุตสาหกรรมสิ่งที่ต้องคำนึงถึง ได้แก่ ต้นทุนการผลิต ระยะเวลาการผลิต แรงงานในการผลิต และกำไรจากการผลิต ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาการผลิตเชิงอุตสาหกรรมศาสตร์เพิ่มเติมนอกเหนือไปจากการศึกษาการผลิตทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งสามารถแยกประเด็นการศึกษา ดังนี้

2.1 ปริมาณถั่วเขียวต่อถังเพาะ จากการศึกษา พบว่า ถังเพาะขนาดปริมาตร 5 ลิตร ควรใช้เมล็ดถั่วเขียวแห้งในอัตรา 0.60 กิโลกรัม ซึ่งเป็นอัตราเมล็ดถั่วเขียวที่ให้ถั่วงอกคุณภาพดีที่สุด ซึ่งหมายถึงว่าถังเพาะขนาด 1 ลิตร ควรใช้เมล็ดถั่วเขียว 0.12 กิโลกรัม

2.2 ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างและแช่เมล็ดถั่วเขียวก่อนทำการเพาะ จากการศึกษา พบว่า ปริมาณน้ำในส่วนนี้สามารถใช้เพียง 6.50 ลิตร ก็เพียงพอในการทำความสะอาดเมล็ดและการดูดซึมเพื่อเพิ่มความชื้นให้แก่เมล็ด

2.3 การเร่งอัตราการเจริญเติบโต จากการศึกษา พบว่า การใช้น้ำปูนใสช่วยในกระบวนการผลิต สามารถทำให้ถั่วงอกมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงขึ้น และถั่วงอกที่ได้จะมีความกรอบ ซึ่งเป็นบทบาทที่นอกเหนือไปจากการที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคภายในถังเพาะ ทำให้ถั่วงอกไม่เกิดการติดเชื้อและเน่า

2.4 วิธีการให้น้ำ จากการศึกษา พบว่า วิธีการให้น้ำเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สามารถทำให้ถั่วงอกมีคุณภาพดีและเป็นขั้นตอนที่สามารถประหยัดน้ำได้อีกด้วย วิธีการให้น้ำที่ให้ถั่วงอกมีคุณภาพดีที่สุดและประหยัดน้ำที่สุด คือ การให้น้ำโดยวิธีการขังน้ำในถังเพาะ ซึ่งวิธีการนี้จะใช้น้ำน้อยกว่าการให้น้ำแบบรดผ่านถังเพาะถึง 2.5 เท่า และให้คุณภาพถั่วงอกดีกว่าถึง 1.3 เท่า เนื่องจากวิธีการให้น้ำแบบนี้จะทำให้ถั่วงอกที่อยู่ภายในถังเพาะ ได้รับน้ำอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงกันทั้งถังเพาะ มีผลให้ถั่วงอกเกิดขบวนการงอกอย่างสมบูรณ์

Copyright by Mahidol University

2.5 รูปทรงถังเพาะ จากการศึกษา พบว่า รูปทรงถังเพาะเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลให้ถั่วงอกมีคุณภาพดีหรือไม่ดีได้ ถังเพาะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะถั่วงอกควรเป็นถังเพาะที่มีลักษณะมีพื้นที่บริเวณช่วงล่างของถังเพาะและบริเวณช่วงบนของถังเพาะน้อย และพื้นที่ของถังเพาะทั้ง 2 ช่วงควรใกล้เคียงกัน สำหรับพื้นที่บริเวณช่วงกลางของถังเพาะควรมีมากที่สุด เนื่องจากถั่วงอกที่งอกอยู่บริเวณช่วงกลางของถังเพาะจะมีคุณภาพดีที่สุด สำหรับถั่วงอกที่งอกอยูบริเวณช่วงล่างของถังเพาะและบริเวณช่วงบนของถังเพาะ มักจะเป็นถั่วงอกที่มีคุณภาพปานกลาง พบว่า ถั่วงอกที่งอกบริเวณช่วงล่างของถังเพาะจะเป็นถั่วงอกที่เกิดการงอกก่อน ดังนั้นถั่วงอกกลุ่มนี้จึงมีลักษณะอวบและค่อนข้างยาว ส่วนถั่วงอกที่งอกบริเวณช่วงบนของถังเพาะจะเป็นถั่วงอกที่ต้องถูกแสงอยู่ตลอดเวลาในระหว่างการรดน้ำ ดังนั้นถั่วงอกกลุ่มนี้จึงมีลักษณะอวบ ค่อนข้างยาว และติดใบเลี้ยง และลักษณะที่ดีของถังเพาะอีกประการก็คือ ถังเพาะไม่ควรที่จะมีขนาดความสูงมากเกินไป เนื่องจากการงอกของถั่วงอกจะมีลักษณะเป็นชั้น กว่าที่ถั่วงอกจะเจริญเติบโตจนเต็มถังเพาะด้านบน ถั่วงอกที่อยู่ทางด้านล่างของถังเพาะก็จะมีความยาวมากเกินไป

5.1.2 สรุปผลการศึกษาจากการวิเคราะห์ความเหมาะสม

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยีเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญ สำหรับการวิเคราะห์ระบบการผลิต ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลป้อนกลับ (TRANSFORMATION PROCESS FEEDBACK CONTROL) ของระบบการผลิต ทั้งข้อมูลทางคุณภาพและปริมาณ การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยี ประกอบด้วยการวิเคราะห์ 3 ด้าน ดังนี้ ประสิทธิผลการผลิต สมรรถนะการผลิต และประสิทธิภาพการผลิต

(1) การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านประสิทธิผลการผลิต (EFFECTIVENESS)

การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะ สามารถให้ผลิตรวมมีน้ำหนัก 4.14 กิโลกรัม ต่อน้ำหนักถั่วเขียว 0.60 กิโลกรัม โดยถั่วงอกที่ทำการเพาะได้มีถั่วงอกคุณภาพเกรด A ทั้งหมด ซึ่งมีอัตราการใช้ปัจจัยการผลิตตลอดระบบการผลิต ดังนี้ อัตราการใช้น้ำในการผลิต 66.50 ลิตร อัตราการใช้แรงงานในการผลิต 130 นาที อัตราการใช้พลังงานในการผลิต 831.25 วัตต์ และอัตราการใช้ระยะเวลาการผลิต 60 ชั่วโมง นั่นคือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกมีประสิทธิผลการผลิต 6.90 เท่า หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกสามารถผลิตถั่วงอกให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเป็น 6.90 เท่าของน้ำหนักเมล็ดถั่วเขียวแห้ง

Copyright by Mahidol University

(2) การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านสมรรถนะการผลิต (PERFORMANCE)

การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะ เป็นระบบที่มีสมรรถนะในการผลิตเมล็ดถั่วเขียวที่มีน้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ให้ได้เป็นถั่วงอกที่มีน้ำหนัก 4.14 กิโลกรัม หรืออีกความหมายหนึ่งก็คือ เป็นระบบการเพาะเมล็ดถั่วเขียวที่มีน้ำหนัก 0.60 กิโลกรัม ให้ได้เป็นถั่วงอกที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นถึง 6.90 เท่าของน้ำหนักเมล็ดถั่วเขียวแห้ง โดยใช้อัตราการใช้ปัจจัยการผลิตตลอดระบบการผลิต ดังนี้ อัตราการใช้น้ำในการผลิต 66.50 ลิตร อัตราการใช้แรงงานในการผลิต 130 นาที อัตราการใช้พลังงานในการผลิต 831.25 วัตต์ และอัตราการใช้ระยะเวลาการผลิต 60 ชั่วโมง และสามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพเกรด A ทั้งหมด นั่นคือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกมีสมรรถนะการผลิต 6.90 เท่า หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกสามารถผลิตถั่วงอกให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเป็น 6.90 เท่าของน้ำหนักเมล็ดถั่วเขียวแห้ง

(3) การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านประสิทธิภาพการผลิต (EFFICIENCY)

3.1 ประสิทธิภาพเชิงเทคโนโลยี การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะ สามารถให้ผลิตรวมมีน้ำหนัก 4.14 กิโลกรัม ต่อน้ำหนักถั่วเขียว 0.60 กิโลกรัม โดยถั่วงอกที่ทำการเพาะได้มีถั่วงอกคุณภาพเกรด A ทั้งหมด ซึ่งมีอัตราการใช้ปัจจัยการผลิตตลอดระบบการผลิต ดังนี้ อัตราการใช้น้ำในการผลิต 66.50 ลิตร อัตราการใช้แรงงานในการผลิต 130 นาที อัตราการใช้พลังงานในการผลิต 831.25 วัตต์ และอัตราการใช้ระยะเวลาการผลิต 60 ชั่วโมง นั่นคือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกมีประสิทธิภาพการผลิตเชิงเทคโนโลยี 100 % หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกมีประสิทธิผลการผลิตเท่ากับสมรรถนะการผลิต

3.2 ประสิทธิภาพเชิงการเงิน การเพาะถั่วงอกโดยใช้ระบบควบคุมการเพาะ สามารถให้ผลิตรวมมีน้ำหนัก 4.14 กิโลกรัม ต่อน้ำหนักถั่วเขียว 0.60 กิโลกรัม โดยถั่วงอกที่ทำการเพาะได้มีถั่วงอกคุณภาพเกรด A ทั้งหมด โดยราคาขายเมล็ดถั่วเขียวกิโลกรัมละ 20 บาท ราคาขายถั่วงอกกิโลกรัมละ 7.00 บาท ซึ่งมีอัตราการใช้ปัจจัยการผลิตตลอดระบบการผลิต ดังนี้ อัตราการใช้น้ำในการผลิต 66.50 ลิตร โดยอัตราค่าน้ำ 5.00 บาท/UNIT อัตราการใช้แรงงานในการผลิต 130 นาที โดยมีอัตราค่าแรงงานขั้นต่ำ 145.00 บาท/วัน อัตราการใช้พลังงานในการผลิต 831.25 วัตต์ โดยมีอัตราค่ากระแสไฟฟ้า 1.72 บาท/UNIT และอัตราการใช้ระยะเวลาการผลิต 60 ชั่วโมง โดยมีอัตราค่าแรงขั้นต่ำ 145.00 บาท/วัน นั่นคือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกมีประสิทธิภาพการผลิตเชิง

Copyright by Mahidol University

การเงิน 210.61 % (ไม่คิดค่าจ้างแรงงานในกระบวนการผลิต) หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกสามารถผลิตถั่วงอกให้มีกำไรจากการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 210.61 % ของต้นทุนการผลิต นอกจากนี้ พบว่าระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกมีประสิทธิภาพการผลิตเชิงการเงิน 6.46 % (คิดค่าจ้างแรงงานในกระบวนการผลิต) หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกสามารถผลิตถั่วงอกให้มีกำไรจากการผลิตลดลงเป็น 6.46 % ของต้นทุนการผลิต

5.1.3 ปัญหาและอุปสรรคจากการทดลอง

การศึกษาในครั้งนี้ มีข้อผิดพลาดบางประการในระหว่างการเพาะถั่วงอก ซึ่งสามารถรวบรวมไว้ ดังนี้

(1) การระบายน้ำของถังเพาะที่ใช้สำหรับการเพาะถั่วงอกโดยวิธีการขังน้ำ เกิดการระบายน้ำได้ไม่ดีพอ มีผลให้ถั่วงอกที่ทำการเพาะโดยวิธีการขังน้ำในบางส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถั่วงอกที่อยู่บริเวณด้านล่างของถังเพาะเกิดการเน่า

(2) ถั่วงอกที่อยู่บริเวณด้านบนของถังเพาะเกิดการติดใบเลี้ยง เนื่องจากกระสอบที่คลุมถังเพาะไม่มีความชื้นและความทึบเพียงพอ

(3) ถั่วงอกที่เพาะได้จากวิธีการขังน้ำ มีคุณภาพไม่เท่ากันทั้งถังเพาะ เนื่องจากสิ่งของหนักที่วางทับบนถั่วงอกมีผลต่อความอวบและกรอบของถั่วงอก ถั่วงอกที่มีสิ่งของหนักวางทับจะมีความอวบและกรอบมากกว่าถั่วงอกที่ไม่มีสิ่งของหนักวางทับ

(4) ถั่วงอกที่เพาะโดยวิธีการรดน้ำผ่าน ในระยะที่เมล็ดถั่วเขียวเริ่มแทงรากอ่อนรากถั่วเกิดการพันกัน จนกระทั่งถั่วงอกมีอายุครบเวลาการเก็บถอน ทำให้ยากต่อการเก็บถอนและทำความเสียหายให้แก่ผลผลิตได้

(5) เกิดการรั่วไหลของเมล็ดถั่วเขียวออกจากถังเพาะ เนื่องจากตาข่ายสีฟ้าที่รองก้นถังเพาะมีขนาดพอดีกับก้นถังเพาะจริง

(6) ปูนแดงที่ใช้ในการเพาะบางส่วนไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ (HOMOGENIOUS SOLUTION)

Copyright by Mahidol University

5.1.4 การนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติจริง

จากผลการศึกษาระบบควบคุมการเพาะถั่วงอกในครั้งนี้ เป็นการศึกษาในระดับการทดลอง (LABORATORY SCALE) ซึ่งเป็นการหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อขบวนการงอก และเป็นระบบการทดลองที่สามารถควบคุมได้ เมื่อมีการขยายการศึกษาระดับการทดลองไปสู่ระดับการผลิตจริง (PRODUCTION SCALE) จึงควรที่มีออกแบบระบบการผลิตให้เหมาะสมกับสภาพการผลิตในแต่ละท้องถิ่น ในการออกแบบระบบการผลิตประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

(1) การวิเคราะห์การตลาดและส่วนแบ่งในตลาด เนื่องจากในการวางระบบการผลิตต้องมีการวางแผนการผลิตและกำหนดกำลังการผลิต เพื่อให้ระบบมีการผลิตที่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ในที่นี้หมายถึงก่อนที่จะมีการผลิต ควรจะมีการสำรวจความต้องการของตลาด ว่าตลาดมีความต้องการบริโภคถั่วงอกในอัตราเท่าไร/วัน นอกจากนี้ควรมีการวิเคราะห์ส่วนแบ่งในตลาดอีกด้วย นั่นคือการสำรวจว่ามีผู้ประกอบการเพาะถั่วงอกในตลาดจำนวนเท่าไร ซึ่งทั้งหมดนี้จะเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการวางแผนการผลิตและกำหนดกำลังการผลิต

(2) การวิเคราะห์การลงทุนและค่าใช้จ่ายในการผลิต เนื่องจากการดำเนินงานผลิตทั้งหลาย จะต้องมีการลงทุนเพื่อเริ่มกิจการ และค่าใช้จ่ายในการผลิตสินค้า ควรมีการตัดสินใจในด้านการลงทุนและค่าใช้จ่าย ในที่นี้หมายถึงการจัดหาและเลือกสรรวัตถุดิบและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการผลิต ให้มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด เช่น การจัดซื้อเมล็ดถั่วเขียว การจัดซื้อถังเพาะและอุปกรณ์ต่างๆ การสร้างโรงงาน นอกจากนี้ควรวิเคราะห์ถึงปริมาณผลิตที่ให้ผลกำไรสูงสุดอีกด้วย

(3) การวิเคราะห์ความเหมาะสมของกำลังการผลิต ในแต่ละหน่วยของการผลิต เช่น ในแต่ละครัวเรือน ซึ่งมีจำนวนแรงงานและต้นทุนการผลิตแตกต่างกัน ดังนั้นกำลังการผลิตถั่วงอกควรเป็นเท่าไรจึงจะเหมาะสม และมีการใช้แรงงานอย่างมีประสิทธิภาพ มีผลให้ได้ผลกำไรสูงสุด โดยพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพแต่ละท้องถิ่น ความต้องการของตลาด ปัจจัยการผลิตที่มีอยู่ และนำมาวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลจากผลการศึกษาเป็นหลักเกณฑ์ในการคำนวณ ซึ่งจะเป็นการจัดสรรแรงงานและเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับต้นทุนการผลิต ต้องพิจารณาทั้งต้นทุนการผลิตคงที่ (FIXED COST) ได้แก่ เครื่องจักร อุปกรณ์ เครื่องมือ โรงเรือน และต้นทุนการผลิตแปรผัน (VARIABLE COST) ได้แก่ อัตราค่าน้ำ อัตราค่าไฟฟ้า อัตราค่าจ้างแรงงาน อัตราดอกเบี้ย และค่าใช้จ่ายอื่นๆ เพื่อหาต้นทุนที่แท้จริง และรายได้ที่คาดว่าจะได้รับ ระยะเวลาการคืนทุน ซึ่งจะเป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจเป็นอย่างดีแก่ผู้ประกอบการ

Copyright by Mahidol University

(4) การเลือกทำเลที่ตั้งของโรงเพาะ ทำเลที่ตั้งมีความสำคัญต่อค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆเกี่ยวกับสภาพแวดล้อม ซึ่งจำเป็นต้องมีการพิจารณาอย่างละเอียด เช่น สาธารณูปโภค แรงงาน ในระบบการเพาะถั่วงอก แหล่งน้ำเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นปัจจัยการผลิตที่ต้องใช้ในปริมาณมาก ถ้าเป็นไปได้ในบริเวณที่ตั้งของโรงเพาะควรมีแหล่งน้ำ อาจจะเป็นบ่อน้ำตื้นหรือน้ำบาดาลก็ได้ จะเป็นการช่วยประหยัดค่าน้ำประปาได้ อีกทั้งที่ตั้งของโรงเพาะควรอยู่ใกล้กับแหล่งจำหน่ายเมล็ดพันธุ์ ซึ่งนับว่าเป็นวัตถุดิบหลักในระบบการเพาะถั่วงอก เพื่อเป็นการสะดวกในการจัดซื้อมาใช้ในระบบการเพาะ

(5) การออกแบบอุปกรณ์ อุปกรณ์ในการทำงานมีความสำคัญต่อการทำงาน ถ้ามีอุปกรณ์ในการทำงานที่ดี งานที่ได้จะมีประสิทธิภาพที่สูง ในระบบการเพาะถั่วงอกมีอุปกรณ์ที่มีความสำคัญ ดังนี้

5.1 ถังเพาะ ถังเพาะที่ดีควรเป็นถังเพาะที่ทำจากวัสดุที่สามารถรักษาระดับความชื้นได้ดีและรักษาระดับอุณหภูมิให้ต่ำ วัสดุเหล่านี้อาจจะเป็นดินเผาหรือปูนซีเมนต์ก็ได้ รูปทรงถังเพาะก็มีความสำคัญเช่นกัน ดังได้กล่าวมาแล้วในข้อเสนอแนะ นอกจากนี้บริเวณก้นถังเพาะควรที่จะให้มีการลาดเอียงทั้ง 2 ข้าง ให้บริเวณกลางถังมีความต่ำมากที่สุด เพื่อให้การระบายน้ำภายในถังเพาะระบายได้ดีและไม่เกิดการตกค้างอยู่ภายในถังเพาะ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ถั่วงอกภายในถังเพาะเกิดการเน่า และเพื่อให้การเพาะถั่วงอกมีประสิทธิผลสูงสุด ถังเพาะที่ใช้ควรมีฝาปิดและไม่ต้องเปิดฝาในระหว่างการเพาะเลย จะเปิดฝาก็ต่อเมื่อการเพาะสิ้นสุดลงเป็นการเปิดฝาเพื่อนำผลผลิตออกจากถังเพาะ นั่นคือให้มีระบบการเพาะเป็นระบบปิด ทำให้ถั่วงอกที่ทำการเพาะถูกป้องกันไม่ให้สัมผัสกับแสงแดดเป็นผลให้ถั่วงอกไม่ติดใบเลี้ยง ส่วนการให้น้ำควรมีการต่อท่อน้ำเข้าทางด้านข้างของถังเพาะ และมีวาวล์ในการควบคุมการเปิด-ปิดน้ำเข้าถังเพาะ ส่วนท่อน้ำออกก็มีการต่อท่อออกทางด้านข้างถังเพาะเช่นเดียวกัน และเมื่อขนาดถังเพาะเปลี่ยนแปลงไปปริมาณเมล็ดถั่วเขียวจะต้องเปลี่ยนตามไปด้วย โดยมีสตูรในการคำนวณ ดังนี้

ถังเพาะขนาด 1 ลิตร = ปริมาณถั่วเขียว 0.12 กิโลกรัม

5.2 ถังน้ำสำรอง เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำเพื่อรดน้ำ ควรใช้วิธีการสร้างถังน้ำสำรอง โดยมีขนาดตามที่กล่าวไว้ถัดไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับกำลังในการผลิตของโรงเพาะ และให้มีความสูงอยู่จากระดับพื้นดิน 3 เมตร และใช้เครื่องสูบน้ำเพื่อนำน้ำเข้าสู่ถังเพาะมีขนาด 0.25 แรงม้า ภายในถังน้ำสำรองใช้การติดตั้งระบบลูกลอยเมื่อน้ำมีปริมาณลดลงจนถึงระดับหนึ่ง เครื่องสูบ

Copyright by Mahidol University

น้ำจะทำการสูบน้ำเข้าไปสะสมไว้ในถัง เมื่อปริมาณน้ำอยู่ในระดับเพียงพอเครื่องจะหยุดทำการสูบน้ำ และจากถังน้ำสำรองจะมีการต่อระบบท่อเข้าสู่ถังเพาะและใช้ระบบวาวล์ในการควบคุมปริมาณน้ำเข้า-ออกจากถังเพาะ โดยวิธีการนี้จะเป็นการประหยัดพลังงาน เนื่องจากการทำงานของเครื่องสูบน้ำจะลดลง นอกจากนี้ยังเป็นการลดอัตราเสี่ยงที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าดับ และเป็นสาเหตุให้การรดน้ำกระทำไม่ได้ ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตได้

ถั่วงอก (กิโลกรัม)	ถั่วเขียว (กิโลกรัม)	ขนาดถังน้ำ (ลิตร)
0–20	0–2.90	0–300
21–40	3.04–5.80	310–600
41–60	5.94–8.70	600–900

สูตรในการคำนวณหาขนาดถังน้ำสำรอง

$$\text{ขนาดถังน้ำสำรอง (ลิตร)} = \frac{\text{ความต้องการถั่วงอก (กิโลกรัม)} \times 100}{\text{สมรรถนะการผลิต}}$$

สตูรในการคำนวณหาปริมาณถั่วเขียวที่ใช้เพาะ

$$\text{ปริมาณเมล็ดถั่วเขียว (กิโลกรัม)} = \frac{\text{ความต้องการถั่วงอก (กิโลกรัม)}}{\text{สมรรถนะการผลิต}}$$

(6) การวางแผนผังโรงเพาะ การจัดสถานที่ให้ดีย่อมทำให้การดำเนินงานผลิตเป็นไปได้อย่างราบรื่น และลดค่าใช้จ่ายซึ่งเกิดจากความล่าช้าหรือการเคลื่อนย้ายสิ่งของ นอกจากนี้วัตถุประสงค์ของการวางแผนผังก็เพื่อที่จะลดอุบัติเหตุและอำนวยความสะดวกในการทำงาน ในระบบการผลิตถั่วงอกควรมีการจัดพื้นที่ในการใช้สอยเฉพาะงานให้สะดวกต่อการทำงานสูงสุด โดยพื้นที่เฉพาะงานในระบบการเพาะถั่วงอก ได้แก่ พื้นที่ในการจัดวางถังเพาะ พื้นที่ในการทำความสะอาดผลผลิต ซึ่งพื้นที่ทั้ง 2 ส่วนนี้ควรมีพื้นที่ที่กว้างขวางเพื่อสะดวกในการทำงาน เนื่องจากเป็นงานที่ต้องการพื้นที่มากในการทำงาน นอกจากนี้โรงเพาะถั่วงอกควรมีการวางท่อน้ำทิ้งที่ออกจากถังเพาะให้รวมกันและทิ้งพร้อมกันแทนที่จะปล่อยน้ำทิ้งที่ออกจากถังเพาะให้เลอะเทอะเปรอะเปื้อนอยู่ที่พื้นโรงเพาะ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อการทำงาน ก่อให้เกิดการลื่นหกล้มได้

Copyright by Mahidol University

(7) การศึกษางาน ในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูง จะต้องมีวิธีการทำงานที่ดีที่สุด รวมทั้งมีมาตราฐานเวลาในการทำงาน เพื่อช่วยในการวางแผนและควบคุมการผลิต การศึกษางานเป็นวิธีที่ให้ผลดีมากในการเพิ่มผลผลิตหรือลดค่าใช้จ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานที่ต้องใช้แรงงานมาก ในระบบการเพาะถั่วงอก เป็นงานที่ต้องใช้แรงงานในระบบการผลิตมากงานหนึ่ง และมีการทำงานในหลายขั้นตอน การศึกษางานจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยมีการรวบรวมงานที่เพิ่มเติมจากการศึกษาได้ ดังนี้

7.1 ตารางเวลาทำงาน ในการเพาะถั่วงอกซึ่งเป็นพืชอายุสั้น ใช้ระยะเวลาในการผลิตเพียง 60 ชั่วโมง การทำงานต้องทำงานตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน การวางตารางเวลาการทำงานจึงมีความสำคัญ ระยะเวลาในการทำงาน 60 ชั่วโมง สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ช่วงการทำงาน และช่วงการทำงานละ 12 ชั่วโมง และการทำงานควรเริ่มแช่เมล็ดตั้งแต่ช่วงบ่าย และทำการเพาะไปจนสิ้นสุดกระบวนการเพาะ เพื่อให้ได้ผลผลิตในช่วงเช้ามืดซึ่งสามารถทำความสะอาด และนำออกขายสู่ท้องตลาดได้ทันที โดยไม่ต้องให้ถั่วงอกค้างกว่าจะออกสู่ตลาด ถ้าถั่วงอกสิ้นสุดกระบวนการเพาะช่วงเย็นกว่าถั่วงอกจะออกสู่ตลาดได้ในตอนเช้าก็ต้องทิ้งถั่วงอกค้างไว้ มีผลให้ถั่วงอกเกิดการเหี่ยวเฉาหรือเสื่อมสภาพได้ จะเห็นว่าการกำหนดตารางเวลาการทำงานมีความสำคัญต่อคุณภาพผลผลิต

เวลาการแช่เมล็ด (นาฬิกา)	ชั่วโมงเพาะที่	ช่วงเวลาการให้น้ำ (นาฬิกา)
13.00	1–12	17.00–03.00
	13–24	04.00–16.00
	25–36	17.00–03.00
	37–48	04.00–16.00
	49–60	17.00–03.00*

* หมายถึง ระยะสิ้นสุดกระบวนการเพาะ

7.2 เทคนิคการทำงาน ในการทำงานเพื่อให้ได้ผลดี บางครั้งต้องใช้เทคนิคในการทำงาน โดยในระบบการผลิตถั่วงอกมีเทคนิคในการผลิต ได้แก่ การทำความสะอาดถังเพาะ หลังจากการเก็บถอนผลผลิตทุกครั้ง ต้องมีการทำความสะอาดถังเพาะและตากแดด เพื่อเป็นการฆ่าเชื้อโรคในถังเพาะทั้งยังเป็นการลดการติดเชื้อราของถั่วงอกอีกด้วย การใช้วัสดุในการคลุมทับถั่วงอก ควรใช้เป็นใบไม้เท่าที่หาได้จากธรรมชาติ ปูคลุมให้ทั่วถั่วงอกและใช้ตะแกรงไม้ทรงกลมวางทับ จากนั้นใช้วัสดุที่มี

Copyright by Mahidol University

น้ำหนักมากวางทับด้านบนอีกชั้นหนึ่ง โดยมีข้อแม้ว่าจะต้องวางสิ่งของหนักให้ทั่วถั่วงอกเพื่อการถ่ายเทน้ำหนักที่สม่ำเสมอ

(8) การจูงใจแรงงาน เนื่องจากในระบบการเพาะถั่วงอกเป็นระบบที่ต้องการแรงงานในปริมาณมาก ดังนั้นในระบบการเพาะจึงควรที่จะมีแรงงานในการรดน้ำตลอดระยะเวลาการผลิต ตลอดจนการเก็บถอน การทำความสะอาดผลผลิต ก็เป็นงานที่ต้องใช้แรงงานมากเช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งนี้

การศึกษาในครั้งนี้ มีข้อผิดพลาดบางประการในระหว่างการเพาะถั่วงอก ซึ่งสามารถแก้ไขด้วยวิธีการ ดังนี้

(1) ถังเพาะที่ใช้สำหรับวิธีการขังน้ำในถังเพาะ ควรเจาะรูระบายน้ำบริเวณก้นถังเพาะอย่างน้อย 5 รู คือ ตามมุมถังทั้ง 4 มุม และตรงกลางถัง 1 รู เพื่อการระบายน้ำที่ดี และถั่วงอกที่ทำการเพาะจะได้ไม่เกิดการเน่า

(2) กระสอบที่คลุมถังเพาะควรให้มีความชื้นตลอดเวลา เพื่อเป็นการรักษาระดับความชื้นในถังเพาะให้คงที่ และเป็นการป้องกันแสงแดดที่จะทำให้ถั่วงอกเกิดการติดใบเลี้ยง

(3) การให้น้ำโดยวิธีการขังน้ำควรมีใบไม้และใช้สิ่งของหนักวางทับอยู่ด้านบน เพื่อไม่ให้เมล็ดถั่วเขียวเกิดการลอยตัว ซึ่งจะทำให้รากถั่วงอกพันกันและยากต่อการเก็บถอน นอกจากนี้สิ่งของหนักที่วางทับควรที่จะให้เกิดการถ่ายเทน้ำหนักให้เท่ากันทั่วทุกบริเวณในถังเพาะ เพื่อที่ถั่วงอกที่เพาะได้จะมีคุณภาพเท่ากันทั้งถังเพาะ เนื่องจากสิ่งของหนักที่วางทับมีผลต่อความอวบและกรอบของถั่วงอก ถั่วงอกที่มีสิ่งของหนักวางทับจะมีความอวบและกรอบมากกว่าถั่วงอกที่ไม่มีสิ่งของหนักวางทับ

(4) การให้น้ำวิธีการรดน้ำผ่านควรให้น้ำด้วยวิธีการสเปรย์น้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้เมล็ดถั่วเขียวลอยตัวขึ้นมาและทำให้รากถั่วเกิดการพันกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะที่เมล็ดถั่วเขียวเริ่มแทงรากอ่อนออกมา ซึ่งจะทำให้ยากต่อการเก็บถอนและอาจทำความเสียหายให้แก่ผลผลิตได้

Copyright by Mahidol University

(5) ภายหลังการรดน้ำในแต่ละครั้งไม่ว่าจะเป็นวิธีการรดน้ำแบบใด ควรระบายน้ำออกจากถังเพาะให้หมด เพื่อที่ถั่วงอกภายในถังเพาะจะไม่เกิดการเน่า

(6) ตาข่ายสีฟ้าที่รองก้นถังเพาะควรตัดให้มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของก้นถังเพาะจริง เพื่อที่จะป้องกันการรั่วไหลของเมล็ดถั่วเขียวได้ดี

(7) ปูนแดงที่ใช้ในการเพาะควรละลายในน้ำปริมาณเล็กน้อยก่อน หลังจากนั้นจึงนำไปผสมในน้ำปริมาณมาก เพื่อให้ปูนแดงละลายให้เป็นเนื้อเดียวกับน้ำ (HOMOGENIOUS SOLUTION)

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งต่อไป

หัวข้อที่ควรจะได้รับการศึกษา เพื่อพัฒนาระบบการเพาะถั่วงอกให้เป็นระบบการผลิตที่มีมาตรฐานในอุตสาหกรรม และเป็นการยกระดับเทคโนโลยีท้องถิ่นให้เป็นเทคโนโลยีที่ได้มาตราฐาน สามารถแยกเป็นข้อย่อย ดังนี้

(1) การศึกษาและพัฒนาระบบการผลิตแบบต่อเนื่องเพื่อเป็นวัตถุดิบป้อนเข้าสู่โรงงานตลอดปี โดยการผลิตเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการผลิตถั่วงอก

ถั่วงอกเป็นพืชอายุสั้น ใช้ระยะวลาในการผลิตน้อยและไม่ต้องขึ้นกับฤดูกาลในการผลิต ดังนั้นผลผลิตถั่วงอกจึงมีมากมายตลอดปี ถั่วงอกนอกจากจะมีการบริโภคกันในรูปของถั่วงอกสดแล้ว ยังสามารถบริโภคในรูปของผักแปรรูปได้ สำหรับตลาดภายในประเทศนั้น ยังนิยมการบริโภคถั่วงอกสดมากกว่า เนื่องจากราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย ส่วนตลาดต่างประเทศให้ความนิยมกับถั่วงอกแปรรูป ดังนั้นเรื่องของการมีโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปไว้รองรับผลผลิตที่เหลือจากการบริโภคภายในประเทศและเพื่อผลิตส่งขายสู่ตลาดต่างประเทศจึงมีความจำเป็น ปัจจุบันโรงงานที่ทำการแปรรูปถั่วงอกมีเพียงไม่กี่โรงงานที่ทำการเพาะถั่วงอกเอง นอกนั้นเป็นโรงงานแปรรูปถั่วงอกแต่เพียงอย่างเดียว ส่วนวัตถุดิบต้องรับจากเกษตรกร ซึ่งควบคุมคุณภาพได้ยาก บางครั้งวัตถุดิบที่ซื้อมีคุณภาพไม่ดี ถ้าโรงงานมีระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง ใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีมาตรฐานในการผลิต จะช่วยให้โรงงานมีวัตถุดิบที่มีคุณภาพดีเข้าสู่ระบบการแปรรูปได้ตลอดปี

Copyright by Mahidol University

(2) การศึกษาและพัฒนาระบบการบรรจุภัณฑ์เพื่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์สำหรับถั่วงอกสด

ผัก ผลไม้สดเป็นสินค้าที่ประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตเพียงพอ ได้มีการพัฒนาและการเพิ่มบทบาทการส่งออกที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ สามารถส่งออกและนำเงินตราเข้าประเทศปีละกว่าหมื่นล้านบาท ทั้งในรูปแบบของผัก ผลไม้สดและแปรรูป ซึ่งมีคุณภาพได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับและนิยมบริโภคมากในตลาดต่างประเทศ และไทยยังมีความได้เปรียบเหนือกว่าประเทศคู่แข่งขันอื่น ทั้งในด้านคุณภาพและราคาของผลผลิต ในระบบการผลิตพืชเพื่อการส่งออก นอกจากจะมีวัตถุดิบที่มีมาตรฐานอย่างเพียงพอ ปลอดจากแมลงและศัตรูพืช และปลอดจากสารเคมีแล้ว ยังต้องมีระบบการบรรจุภัณฑ์ที่ดี เพื่อเป็นการรักษาคุณภาพของผลผลิตให้มีความสดจนกว่าจะถึงมือของผู้บริโภค การบริโภคผักสดนับว่าเป็นที่นิยมของผู้บริโภคมากกว่าการบริโภคผักแปรรูป ซึ่งถั่วงอกเป็นผักที่ค่อนข้างเสียสภาพได้ง่าย ถ้าไม่มีการบรรจุภัณฑ์ที่ดีเพียงพอ ถ้าสามารถพัฒนาระบบบรรจุภัณฑ์ให้รักษาคุณภาพถั่วงอกสดได้นาน ตลาดของถั่วงอกสดในต่างประเทศคงขยายตัวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการสะดวกในการขนส่ง เนื่องจากการลดน้ำหนักของถั่วงอกกระป๋องซึ่งต้องมีน้ำเป็นตัวรักษาสภาพให้เหลือเพียงต้นถั่วงอกและบรรจุภัณฑ์

(3) การศึกษาและพัฒนาระบบการผลิตเพื่อให้ได้ถั่วงอกที่มีรูปร่างตรง ซึ่งเป็นรูปทรงที่สะดวกต่อการออกแบบบรรจุภัณฑ์

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าตลาดต่างประเทศเป็นตลาดที่สำคัญของผักสดไทย ไม่ว่าจะเป็นตลาดยุโรป หรือแม้กระทั่งตลาดเอเชีย ปริมาณการส่งออกของผักสดมีการเพิ่มปริมาณและมูลค่าการส่งออกขึ้นทุกปี การพัฒนาถั่วงอกให้เป็นผักที่มีศักยภาพในการส่งออกสูง ต้องใช้องค์ประกอบหลายด้าน ทั้งองค์ประกอบทางด้านคุณสมบัติของถั่วงอกเอง และองค์ประกอบในการบรรจุภัณฑ์ ในหัวข้อที่ (2) ได้กล่าวถึงระบบการบรรจุภัณฑ์แล้ว ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติของถั่วงอก ข้อด้อยของถั่วงอกประการหนึ่งที่ทำให้การบรรจุภัณฑ์ทำได้ค่อนข่างยาก คือ การเปราะหักง่ายและลำต้นมีความงอ ถ้าเมื่อไรก็ตามที่สามารถผลิตถั่วงอกให้มีลักษณะลำต้นตรง การจัดวางในภาชนะบรรจุภัณฑ์คงทำได้สะดวกยิ่งขึ้น อัตราการเปราะหักเสียหายระหว่างการดำเนินการขนส่งก็จะลดลง เมื่อเป็นเช่นนี้การที่ถั่วงอกจะเป็นผักสดชนิดใหม่ที่มีศักยภาพในการส่งออกสูงก็คงจะมีความเป็นไปได้มากขึ้น

Copyright by Mahidol University

(4) การศึกษาและพัฒนาระบบการทำแห้ง (DRYING) ถั่วงอกเพื่อใช้ในการประกอบอาหารแห้งกึ่งสำเร็จรูป

อาหารกึ่งสำเร็จรูปนับวันก็จะมีบทบาทเพิ่มขึ้นในวิถีชีวิตของคนในเมือง รวมไปถึงผู้คนที่อยู่รอบปริมณฑล เนื่องจากในปัจจุบันการใช้เวลาในการเดินทางที่นานขึ้น และงานธุรกิจที่เร่งรัด มีผลให้อาหารที่รับประทานได้ทันทีมีความจำเป็นในชีวิตประจำวันสูงขึ้น บุคคลส่วนใหญ่ให้ความนิยมกับการบริโภคอาหารกึ่งสำเร็จรูป โดยเฉพาะอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ซึ่งมีวางขายอยู่มากมายหลายชนิดทั้งรสชาติ ราคา และยี่ห้อ ผู้ที่นิยมบริโภคนั้นไม่จำกัดเพศ อายุ การศึกษา และอาชีพ แต่ประการใด ทั้งนี้ทั้งนั้นผู้ที่บริโภคบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปส่วนใหญ่จะเป็นผู้ที่ทำงานนอกบ้าน นักเรียน นิสิต นักศึกษา เพราะว่าอาหารกึ่งสำเร็จรูปสามารถหาซื้อได้ง่าย ราคาถูก พกพาสะดวก เก็บไว้ได้นาน และรสชาติอาหารคงที่ ข้อด้อยของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปก็คือ คุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างต่ำ การที่จะเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปโดยการเติมเนื้อสัตว์ลงไปแล้ว ผักก็มีความจำเป็น เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าถั่วงอกเป็นผักที่ใช้รับประทานคู่เคียงกับก๋วยเตี๋ยวมาเป็นเวลานับพันปี ดังนั้นการที่จะพัฒนาระบบการทำแห้งถั่วงอกให้สามารถใช้ในการประกอบบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการที่จะพัฒนารูปแบบบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ทั้งยังเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการอีกด้วย

(5) การศึกษาและพัฒนาระบบการผลิตเมล็ดถั่วเขียวในฤดูแล้งให้สามารถผลิตถั่วเขียวที่มีคุณภาพดี เพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในระบบการผลิตถั่วงอก เนื่องจากเมล็ดถั่วเขียวที่มีคุณภาพดีเมื่อนำมาผลิตถั่วงอกก็ย่อมที่จะได้ถั่วงอกคุณภาพดี นอกเหนือไปจากการที่มีระบบการผลิตถั่วงอกที่ดีแล้ว

ถั่วเขียว เป็นวัตถุดิบหลักที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของถั่วงอก ถั่วเขียวที่มีคุณภาพดีย่อมที่จะผลิตเป็นถั่วงอกที่มีคุณภาพดี ถั่วเขียวเป็นพืชอายุสั้น สามารถปลูกได้ปีละ 3-4 ครั้ง นิยมปลูกกันมาก 3 ช่วง คือ ต้นฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม) ปลายฤดูฝน (เดือนกันยายน) และปลายฤดูแล้ง (เดือนมกราคม) ซึ่งเป็นการปลูกหลังนา โดยมีน้ำชลประทานเข้าช่วย เมล็ดถั่วเขียวที่สามารถนำมาเพาะเป็นถั่วงอกที่มีคุณภาพดีจะเป็นถั่วเขียวที่ผลิตช่วงต้นฤดูฝนและช่วงฤดูฝน ส่วนถั่วเขียวที่ผลิตได้ในช่วงฤดูแล้งมักให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพค่อนข้างไม่ดี ถั่วเขียวสามารถปลูกได้ดีในทุกภาคของประเทศ ทนต่อดินฟ้าอากาศพอสมควร และสามารถปลูกได้ตลอดปี ถั่วเขียวเป็นพืชที่ค่อนข้างอาภัพ แม้จะมีการปลูกกันมาช้านานและเป็นอาหารที่บริโภคประจำวัน และเป็นสินค้าออกที่ทำรายได้เข้าประเทศไม่ใช่น้อย ก็ยังไม่ได้รับความสนใจจากนักวิชาการเท่าที่ควร ไม่ได้รับการส่งเสริมเช่นพืชชนิดอื่น เกษตรกรมักจะปลูกเป็นพืชรอง ไม่ใช่พืชหลัก และเป็นพืชที่สองถ้าเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น ถ้ามีการส่งเสริมให้มีการปลูกถั่วเขียวกันมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกถั่วเขียวในช่วงต้นฤดูฝนและปลายฤดูฝน ซึ่งเป็น

Copyright by Mahidol University

ช่วงฤดูกาลผลิตที่ให้ผลผลิตถั่วเขียวที่มีคุณภาพดี นอกจากนี้ควรมีการพัฒนาระบบการปลูกถั่วเขียวในช่วงปลายฤดูแล้งซึ่งอยู่นอกฤดูกาลผลิตให้สามารถผลิตถั่วเขียวที่มีคุณภาพดีได้ เพื่อที่เป็นวัตถุดิบในการป้อนเข้าสู่ระบบการผลิตแบบต่อเนื่องได้ตลอดปี

(6) การศึกษาและพัฒนาน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิต ให้มีการหมุนเวียนและนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อเป็นการประหยัดน้ำ

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาได้มีการตื่นตัวกันอย่างมากมายในเรื่องของสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของป่าไม้ แหล่งน้ำ พลังงาน เป็นต้น ในระบบการผลิตทางอุตสาหกรรม ก็มีการคำนึงถึงทรัพยากรการผลิตที่ใช้ไปแล้วให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกครั้ง นั่นคือ มีการสนใจเกี่ยวกับระบบการ RECYCLE เพิ่มมากขึ้นและขยายตัวอย่างเป็นวงกว้างในระยะเวลาอันรวดเร็ว ในระบบการผลิตถั่วงอกก็เช่นเดียวกัน ทรัพยากรที่ผ่านระบบการผลิตเป็นจำนวนมาก นั่นก็คือน้ำ ถึงแม้ว่าเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีราคาถูก หาได้ง่าย แต่ปัจจุบันในบางพื้นที่น้ำนับว่าเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่หาได้ยากและมีราคาแพง ดังนั้นควรที่จะให้มีการใช้ทรัพยากรให้มีประโยชน์สูงสุด ในระบบการผลิตถั่วงอกมีการสูญเสียที่ใช้ในระบบถึง 50 ลิตร / ถั่วงอก 4.14 กิโลกรัม ซึ่งน้ำเหล่านั้นเป็นน้ำที่ผ่านการใช้เพียงครั้งเดียว ในบทบาทของการลดความร้อนในถังเพาะเพื่อการรักษาระดับอุณหภูมิและการช่วยในขบวนการงอกของเมล็ดถั่วเขียวเท่านั้น น้ำเหล่านี้ไม่ได้มีการปนเปื้อนของสารเคมี หรือสารที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียและ/หรือเสียคุณสมบัติของน้ำ ดังนั้นการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำที่ผ่านระบบการผลิตถั่วงอก เพื่อนำน้ำมาพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพ และนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (WATER RECYCLE) จึงเป็นการศึกษาที่น่าสนใจ

Copyright by Mahidol University

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2528. เอกสารวิชาการถั่วเขียว. 62 หน้า.

กองส่งเสริมพืชพันธุ์. 2530. สถานการณ์และนโยบายการผลิตเมล็ดถั่วเขียวผิวมันและผิวดำ ปี พ.ศ. 2529/2530. กรมส่งเสริมการเกษตร.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. กลุ่มหนังสือเกษตร. กรุงเทพ. 210 หน้า.

ป.ประมณฑ์ปัญญา. 2528. บทบาทของถั่วงอกในวงการอาหาร. นิตยสารชาวเกษตร. 4,46 (มี.ค.2528) : 3-5.

ป.ประมณฑ์ปัญญา. 2528. โพธารามแหล่งผลิตถั่วงอกขาว อวบ รากสั้น. นิตยสารชาวเกษตร. 4,47 (เม.ย.2528) : 15-23.

พัชรี โสธนาสมบูรณ์. 2531. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีระหว่างการงอกของถั่วเขียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ. 79 หน้า.

วุฒิชัย นาครักษา. 2526. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของพันธุ์ถั่วเขียวที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2537. สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์. กลุ่มหนังสือเกษตร. กรุงเทพ. 213 หน้า.

สมชาย เปรมประภาวัติ. 2523. การใช้ประโยชน์จากถั่วเขียว. เอกสารประกอบการอบรมวิชาชีพประชาชนภาคฤดูร้อน. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ.

สมสุข ศรีจักรวาฬ. 2528. ถั่วงอกโปรตีนจากพืช. นิตยสารกสิกร. 58,4 (ก.ค.-ส.ค. 2528) : 329-332.

สวิง นาถไตรภพ และ อาวุธ ณ ลำปาง. 2520. ถั่วเขียว. เอกสารประกอบรายการนิตยสารการเกษตร จัดโดยศูนย์ผลิตรายการวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย. กรมประชาสัมพันธ์. กองค้นคว้าและทดลอง. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม. 2529. การปลูกถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน 1,กำแพงแสน 2. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 8. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม. 14 หน้า.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2535. การแปรรูปและคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์จากเมล็ดถั่วเขียว. วารสารอุตสาหกรรม. 3,3 (ก.ย.-ธ.ค. 2535) : 11-16.

ABDULLAH,A. AND R.E. BALDWIN. 1984. MINERAL AND VITAMIN CONTENTS OF SEEDS AND SPROUTS OF NEWLY AVAILABLE SMALL-SEEDED SOYBEANS AND MARKET SAMPLES OF MUNGBEANS. J. FOOD SCI. 49: 656-657.

Copyright by Mahidol University

AMAN, P. 1979. CARBOHYDRATES IN RAW AND GERMINATED SEEDS FROM MUNGBEAN AND CHICKPEA. J. SCI. FOOD AGR. 30 : 869-875.

ASIAN VEGETABLE RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER (AVRDC). 1975. MUNGBEAN REPORTS FOR 1975. THE OFFICE OF INFORMATION SERVICES AT AVRDC, SHANHOA, TAIWAN, REPUBLIC OF CHINA.

BEAL,L.,P.L. FINNEY AND J. METHA. 1984. EFFECT OF GERMINATION AND DIETARY CALCIUM ON ZINC BIOAVAILABILITY FROM PEAS. J. FOOD SCI. 49 : 637-641.

BEEVERS,L. AND F.S. GUERNSEY. 1966. CHANGES IN SOME NITROGENOUS COMPOSITIONS DURING THE GERMINATION OF PEA SEED. PLANT PHYSIOL. 41 : 1455.

BEWLEY,J.D. AND M. BLACK. 1978. PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF SEEDS IN RELATION TO GERMINATION. VOL. 1. SPRINGER-VERLAG, BERLIN. 306 P.

CALLOWAY,D.H., C.A. HICKEY AND E.I. MURPHY. 1971. REDUCTION OF INTESTINAL GAS-FORMATION PROPERTIES OF LEGUMES BY TRADITIONAL AND EXPERIMENTAL FOOD PROCESSING MEHODS. J. FOOD SCI. 36 : 251.

CHANG,D.C.N. 1977. A STUDY OF MUNGBEAN SPROUTS PRODUCTION. FIRST INTERNATIONAL SYMPOSIUM AN MUNGBEAN. LOS BANOS, PHILIPPINES.

CHANG,D.C.N. 1983. PRODUCTION OF HIGH QUALITY MUNGBEAN SPROUTS. DEPARTMENT OF HORTICULTURE, NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY, TAIPEI, TAIWAN, CHINA.

CHAPMAN AND HALL. 1985. SEED ECOLOGY. BIOLOGY DEPARETMENT, UNIVERSITY OF SOUTHAMTON, NEW YORK. 151 P.

CHEN,L.H., C.E. WELLS AND T.R. FORDHAM. 1975. GERMINATED SEEDS FOR HUMAN CONSUMTION. J. FOOD SCI. 40 : 1290-1294.

COFFMAN,C.W. AND V.V. GARCIA. 1977. FUNCTIONAL PROPERTIES AND AMINO ACID CONTENT OF A PROTEIN ISOLATE FROM MUNGBEAN FLOUR. J. FOOD TECH. 12 (5) : 473-484.

Copyright by Mahidol University

COLLINS,J.L. AND G.G. SANDERS. 1976. CHANGE IN TRYSIN INHIBITARY ACTIVITY IN SOME SOYBEAN VARIETIES DURING MATURATION AND GERMINATION. J. FOOD SCI. 41 : 168-172.

COPELAND L.O. 1976. PRINCIPLES OF SEED SCIENCE AND TECHNOLOGY. DEPARTMENT OF CROP AND SOIL SCIENCES, MICHIGAN STATE UNIVERSITY, USA. 369 P.

DAISY,E.K. 1979. FOOD LEGUMES. TROPICAL PRODUCT INSTITUTE, LONDON. 111 P.

FORDHAM,J.R., C.E. WELLS AND L.H. CHEN. 1975. SPROUTING OF SEEDS AND NUTRIENT COMPOSITION OF SEEDS AND SPROUTS. J. FOOD SCI. 40 : 552-556.

GUPTA,K. AND D.S. WAGLE. 1980. CHANGES IN ANTINUTRITIONAL FACTORS DURING GERMINATION IN *PHASEOLUS MUNGOREOUS* A CROSS BETWEEN *PHASEOLUS MUNGO* (M-11) AND *PHASEOLUS AUREUS* (T-1) J. FOOD SCI. 45 : 394-397.

HSU ,D.H.K. LEUNG P.L. FINNEY AND M.M. MORAD. 1980. EFFECT OF GERMINATION ON NUTRITIVE VALUE AND BAKING PROPERTIES OF DRY PEAS, LENTILS AND FABA BEAN. J. FOOD SCI. 45 : 87-92.

HYMOWITZ,T., F.I. COLLINS AND J.M. POEHLMAN. 1975. RELATIONSHIP BETWEEN THE CONTENT OF OIL PROTIEN AND SUGAR IN MUNGBEAN SEED. TROP. AGR. 52 (1) : 47-51.

KOZLOWSKI T.T. 1972. SEED BIOLOGY. VOL. 1. DEPARTMENT OF FORESTRY, UNIVERSITY OF WISCONSIN, MADISON, WISCONSIN. 416 P.

KYLEN, A.M. AND R.M. MCCREADY. 1975. NUTRIENT IN SEEDS AND SPROUTS OF ALFALFA, LENTIS, MUNGBEAN AND SOYBEANS. J. FOOD SCI. 40 : 1008-1008.

LABENEIAH, M.E.O. AND B.S. LUH. 1981. CHANGES OF STRACH, CRUDE FIBER AND OLIGOSACCHARIDES IN GERMINATING DRY BEANS. CEREAL CHEM. 58 (2) : 135-138.

LOLAS, G.M. AND P.MARKAKIS. 1975 PHYTIC ACID AND OTHER P COMPOUNDS OF BEANS (*PHASEOLUS VULGARIS* L.). J. AGR. FOOD CHEM.23 (1):13-15.

Copyright by Mahidol University

LOLAS, G.M. AND P.MARKAKIS. 1975 PHYTIC ACID AND OTHER P COMPOUNDS OF BEANS (*PHASEOLUS VULGARIS* L.). J. AGR. FOOD CHEM. 23 (1) : 13–15.

REDDY, N.R., C.V. BALAKRISHNAN AND D.K. SALUNKHE. 1978. PHYTATE P AND MINERAL CHANGES DURING GERMINATION AND COOKING OF BLACK GRAM (*PHASEOLUS MUNGO*) SEEDS. J. FOOD SCI. 43 : 540–543.

SATHE, S.K.., S.S. DESHPANDE, N.R. REDDY, D.E. GOLL AND D.K. SALUNKHE. 1983. EFFECT OF GERMINATION ON PROTEINS, RAFFINOSE OLIGOSACCHARIDES AND ANTINUTRITIONNAL FACTORS IN THE GREAT NORTHERN BEANS (*PHASEOLUS VULGARIS* L.). J. FOOD SCI. 48 : 1796–1800.

SIGH, H.D. AND S. BANERJEE. 1953. EFFECT OF GERMINATION ON THE AVAIABILITY OF IRON IN INDIAN PULSES. INDIAN J. MED. RES. 41 : 185.

VANDERSTOEP, T. 1981. EFFECT OF GERMINATION ON THE NUTRITIVE VALUE OF LEGUMES. FOOD TECHNOL. 53 (3) : 83–85.

YOHE, J.M. AND J.M. POEHLMAN. 1972. GENETIC VARIABILITY IN MUNGBEAN, *VIGNA RADIATA* (L.) WILZEK. CROP SCI. 12 (4) : 461–464.

36693

Copyright by Mahidol University