สำนักหอสมุด
มหาวิทยาลัยมหิดล
- 4 ก.ย. 2545

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถั่วงอกอบแห้ง

Pre-Feasibility Study of Dried Bean Sprout Production

บุญเต็ม สภาพพันธ์

อภินันทนาการ
จาก
ห้องสมุดคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล
พ.ศ. 2540

Copyright by Mahidol University

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถั่วงอกอบแห้ง

บุญถม สุภาพพันธ์

ผู้วิจัย

สมพงษ์ ธงไชย, วท.ม.

ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

อาณดี นิติธรรมยง, Ph.D.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

อดิศักดิ์ วรรณะวัลย์, วท.ม.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

สมศรี ดาวฉาย, วท.ม.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

วิฑูรย์ ดวงแก้ว, วท.ม.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

อดุลย์ วิริยเวชกุล ราชบัณฑิต, พ.บ.,

น.บ., F.R.C.P.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย

ปิยะกาญจน์ เที้ยธิทรัพย์, วท.ม.

ประธานคณะกรรมการประจำหลักสูตร

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการ

พัฒนาทรัพยากร

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

Copyright by Chiang Mai University

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถั่วงอกอบแห้ง

ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

วันที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2540

.....

บุญถม สุภาพพันธ์

ผู้วิจัย

.....

รุ่งจรัส หุตะเจริญ, วท.ม.

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

สมพงษ์ ธงไชย, วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

อาณดี นิติธรรมยง, Ph.D.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

อดิศักดิ์ วรรณะวัลย์, วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

สมศรี ดาวฉาย, วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

วิฑูรย์ ดวงแก้ว, วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

อดุลย์ วิริยเวชกุล ราชบัณฑิต, พ.บ.,

น.บ., F.R.C.P.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

.....

รุ่งจรัส หุตะเจริญ, วท.ม.

คณบดี

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

Copyright by Mahidol University

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	บุญถม สุภาพพันธ์
วัน เดือน ปีเกิด	26 มกราคม 2513
สถานที่เกิด	จังหวัดจันทบุรี
ประวัติการศึกษา	ครุศาสตรบัณฑิต(วิทยาศาสตร์ทั่วไป) สถาบันราชภัฏสวนดุสิต, พ.ศ. 2534 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร) มหาวิทยาลัยมหิดล, พ.ศ. 2540

Copyright by Mahidol University

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์จากผู้มีพระคุณหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์รุ่งจรัส หุตะเจริญ คณบดีคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยหิดล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์สมพงษ์ ธงไชย รองคณบดีฝ่ายกิจการนักศึกษา ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์อดิศักดิ์ วรรณะวัลย์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล อาจารย์วิฑูรย์ ดวงแก้ว ผู้ช่วยผู้อำนวยการศูนย์ศาลายา ฝ่ายกิจการพิเศษ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมศรี ดาวฉาย และ ดร. อาณดี นิติธรรมยง กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ เสนอแนะให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ และปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณพนักงานประจำห้องปฏิบัติการคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ และสถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ คุณพิมพร วชิระจินดากุล คุณวรารักษ์ หงษ์พร้อมญาติ ที่อำนวยความสะดวกด้านที่พักอาศัยและเก็บข้อมูลวิทยานิพนธ์ คุณสมจิตร ถนอมสุขสันต์ คุณเกวลิน ตันเอง และคุณปาริชาติ ร่มรื่น ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการพิมพ์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอน้อมรำลึกถึงผู้มีพระคุณทุกท่าน ตลอดจนผู้ใกล้ชิดคือบิดา มารดา ที่ได้ให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษาให้ประสบความสำเร็จตลอดมา

บุญถม สุภาพพันธ์

Copyright by Mahidol University

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถั่วงอกอบแห้ง
ผู้วิจัย นางสาวบุญถม สุภาพพันธ์
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
(เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์
สมพงษ์ ธงไชย, วท.ม.
อดิศักดิ์ วรรณะวัลย์, วท.ม.
วิฑูรย์ ดวงแก้ว, วท.ม.
อาณดี นิติธรรมยง, Ph.D.
สมศรี ดาวฉาย, วท.ม.
วันที่สำเร็จการศึกษา 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2540

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถั่วงอกอบแห้ง โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Dryer) ทำการศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีที่สุด

ในการศึกษาความเหมาะสมของการอบถั่วงอกโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดพบว่า อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบถั่วงอกคือที่ 60^{0}C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 93 มาตรฐานเปียก จนมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 8 มาตรฐานเปียก ซึ่งการอบในสภาวะดังกล่าวจะทำให้ได้ถั่วงอกอบแห้งที่มีลักษณะดี มีสีในระบบ Muncell Color System เป็น 10 YR 8/4 (Very Pale Brown) มีค่า Water Activity 0.34 ซึ่งเป็นค่าต่ำกว่าที่จุลินทรีย์จะสามารถเจริญได้ เมื่อทำการคืนรูปโดยนำไปต้มในน้ำเดือด 4 นาที พบว่าถั่วงอกอบแห้งคืนรูปที่ได้จะมีอัตราการคืนรูปร้อยละ 69 สี 5YR 8/1 (White) ซึ่งเป็นสีที่ใกล้เคียงกับถั่วงอกสด เมื่อนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้ทดสอบยอมรับในผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสูง โดยมีคะแนนเป็น 7.46 หมายถึงมีความชอบอยู่ระหว่างชอบปานกลางถึงชอบมาก

ในด้านพลังงานที่ใช้ในการอบถั่วงอกพบว่าในกระบวนการดังกล่าวใช้พลังงานในการอบทั้งสิ้น 133.0 เมกกะจูล/กิโลกรัมน้ำระเหย ในการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าถั่วงอกอบแห้งดังกล่าวมี

Copyright by Mahidol University

ต้นทุนการผลิต 70.93 บาท/กิโลกรัม โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์ (NPV) 413,951.37 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน (BCR) 1.29 และมีระยะเวลาคืนทุน 2.33 ปี

Copyright by Mahidol University

Thesis Title Pre-Feasibility Study of Dried Bean Sprout Production

Name Boonthom Supappunt

Degree Master of Science

(Appropriate Technology for Resources Development)

Thesis Supervisory Committee

Sompong Thongchai, M.Sc.

Adisak Wannawal, M.Sc.

Witoon Dungkaew, M.Sc.

Anadi Nitithamyong, Ph.D.

Somsri Daochai, M.Sc.

Date of Graduation 15 May B.E. 2540 (1997)

ABSTRACT

The objective of this research was to study the methodology of bean sprout drying. The experiments were carried out using a tray dryer to study the optimium condition for obtaining good product quality.

The appropriate drying temperature was 60^{0}C within a 12 hour peroid to get from an intitial moisture content of 93% wet basis to a final moisture content of 8% wet basis. From the experiment it was found that the color of product in Muncell Color System was 10 YR 8/4 (very pale brown) and the water activity was 0.34 (which is the level lower than microorganisms can grow). After boiling dried bean sprout in hot water at 95^{0}C for 4 minutes, rehydration ratio was 69%, color was 5 YR 8/1 (white). The resulting bean sprout showed the same color as fresh bean sprout and was accepted by the consumers with the mean score being 7.46 (betaween like moderately and like very much).

Copyright by Mahidol University

The total energy consumed for drying equaled to 133.0 MJ/kg H_2O_{evap}. In evaluating the economic feasibility, it was found that the cost of bean sprout drying was 70.93 baht/kilogram, the net present value (NPV) was 413,951.37 baht, the benefit cost ratio (BCR) was 1.29, and the pay back period (PBP) was 2.33 years.

Copyright by Mahidol University

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฌ
อักษรย่อที่ใช้	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 แนวคิดในการศึกษา	2
1.3 แนวคิดในการศึกษา	3
1.4 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.5 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา	3
1.7 วิธีการศึกษา	5
1.8 แผนการศึกษา	6
บทที่ 2 การทบทวนบทวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วงอก	7
2.1.1 ลักษณะทั่วไปของถั่วเขียว	7
2.1.2 ส่วนประกอบของเมล็ดถั่วเขียว	8
2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วเขียว	8
2.1.4 ปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ดถั่วเขียว	10
2.1.5 ขบวนการในการงอกของเมล็ดถั่วเขียว	12
2.1.6 เทคโนโลยีการเพาะถั่วงอกเชิงพาณิชย์	12

Copyright by Mahidol University

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.1.7 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วงอก	15
2.2 การทำแห้งอาหาร	17
2.2.1 วิธีการทำแห้งอาหาร	17
2.2.2 การเตรียมผักและผลไม้ก่อนทำแห้ง	18
2.2.3 การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการทำแห้ง	18
2.3 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับการอบแห้ง	19
2.3.1 ปรากฏการณ์ทางกายภาพที่เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้งอาหาร	19
2.3.2 คาบของการทำแห้ง	22
2.4 การเปลี่ยนแปลงระหว่างอบแห้ง	23
2.5 ปริมาณความชื้นสมดุลและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้	25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 เครื่องอบแห้ง	30
3.2 การดำเนินงานทดลอง	31
3.2.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์อบแห้ง	31
3.2.2 ดำเนินการอบแห้ง	32
3.2.3 การคืนรูปถั่วงอกอบแห้ง	32
3.3 การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์	33
3.3.1 สี	33
3.3.2 ความคงตัว	33
3.3.3 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้	33
3.3.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส	33
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบกับผลผลิต	34
3.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้ง	34
3.6 การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตถั่วงอกอบแห้ง	34

Copyright by Mahidol University

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 ลักษณะผลิตภัณฑ์และปรากฏการณ์ของการอบแห้ง 37
4.1.1 ลักษณะผลิตภัณฑ์ถั่วงอกอบแห้ง 37
4.1.2 ปรากฏการณ์ในการอบแห้ง 39
4.2 การคืนรูปถั่วงอกอบแห้ง 41
4.2.1 ลักษณะของถั่วงอกคืนรูป 42
4.2.2 อัตราการคืนรูปของถั่วงอกอบแห้ง 43
4.3 คุณภาพของถั่วงอกอบแห้ง 45
4.3.1 สี 45
4.3.2 ความคงตัว 46
4.3.3 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ 46
4.3.4 การทดสอบด้านประสาทสัมผัส 47
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบกับผลผลิต 47
4.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานระบบอบ 48
4.6 ต้นทุนในการผลิตถั่วงอกอบแห้งในห้องปฏิบัติการ 49
4.7 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตถั่วงอกอบแห้ง 49

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป 56
5.2 ข้อเสนอแนะ 58

บรรณานุกรม 60

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ตารางผลการศึกษา 62
ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง 64

Copyright by Mahidol University

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค. แบบสอบถามประเมินผลทางประสาทสัมผัส ผลิตภัณฑ์ถั่วงอกอบแห้งคืนรูป 65

ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์แบบสอบถามประเมินผลทางประสาทสัมผัส 67

Copyright by Mahidol University

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ผลของปริมาณน้ำที่มีต่อค่าสภาพนำของของเหลว	20
2-2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความต้านทานต่อการแพร่	21
3-1	เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการดำเนินงานทดลอง	27
4-1	ลักษณะถั่วงอกก่อนอบ	34
4-2	ลักษณะถั่วงอกอบแห้งที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C	35
4-3	ลักษณะถั่วงอกอบแห้งคืนรูปของถั่วงอกที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C	35
4-4	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่อบแห้งของการอบที่อุณหภูมิ 60 ^{0}C	37
4-5	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่อบแห้งของการอบที่อุณหภูมิ 70 ^{0}C	38
4-6	ลักษณะการคืนรูปของถั่วงอกที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 60 และ 70 ^{0}C	39
4-7	ลักษณะการคืนรูปของถั่วงอกอบแห้งเปรียบเทียบระหว่างการอบที่อุณหภูมิ 60 และ 70 ^{0}C	40
4-8	ลักษณะเปรียบเทียบระหว่างถั่วงอกสด อบแห้ง และคืนรูปของถั่วงอกที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 70 ^{0}C	40

Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4-1	อัตราการคืนรูปถั่วงอกอบแห้งที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 60 ^{0}C	41
4-2	อัตราการคืนรูปถั่วงอกอบแห้งที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 70 ^{0}C	42
4-3	อัตราการคืนรูปของถั่วงอกอบแห้งที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 60 ^{0}C เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 สัปดาห์	43
4-4	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้อบ ปริมาณความชื้นสุดท้ายต่อปริมาณถั่วงอกอบแห้งที่ได้	45
4-5	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้น เวลาและพลังงานที่ใช้	46
4-6	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ปริมาณความชื้นและประสิทธิภาพด้านพลังงานของการอบแห้ง	52

Copyright by Mahidol University

อักษรย่อที่ใช้

ATP = Adenosine Tri Phosphate

a_w = Water Activity

BCR = Benefit/Cost Ratio

CO_2 = Carbondioxide

NPV = Net Present Value

O = Oxygen

O&M = Operation and Maintanance

PBP = Payback Peroid

PPP = Pentose Phosphate Pathway

SOD = Superoxide Dimutase

wb = Wet Basis

Copyright by Mahidol University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ถั่วงอก(Bean Sprout) เป็นผักที่คนไทยที่นิยมนำมาบริโภคกันมาก เนื่องจากสามารถนำมาประกอบอาหารได้อย่างมากมาย และยังเป็นส่วนประกอบสำคัญของอาหารที่เราต่างก็บริโภคในชีวิตประจำวัน เช่น ก๋วยเตี๋ยว บะหมี่ เป็นต้น ซึ่งในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาอุตสาหกรรมการผลิตถั่วงอกได้ขยายตัวสูงมาก จนก่อให้เกิดอุตสาหกรรมที่เกิดต่อเนื่องจากอุตสาหกรรมการแปรรูปถั่วงอก โดยการนำไปแปรรูปจากถั่วงอกสดเป็นถั่วงอกกระป๋อง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากจากผู้บริโภคในตลาดต่างประเทศไม่ว่าจะเป็นในภาคพื้นเอเชียและยุโรป โดยเฉพาะตลาดในยุโรปจะมีความต้องการผลิตภัณฑ์ดังกล่าวค่อนข้างมาก เนื่องจากมีขีดจำกัดในด้านอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเพาะถั่วงอกสดใน(ป.ประมณฑ์ปัญญา:2528)

ในปัจจุบันผักและผลไม้ได้มีการพัฒนาการผลิตเป็นรูปแบบต่างๆ มากมายที่เห็นได้ชัดคือการอบแห้งพืชผักต่าง ๆ เช่น กะหล่ำปลีแห้ง แครอทแห้ง ตำลึงแห้ง ผักกาดแห้ง สาหร่ายทะเลแห้ง ผักชีแห้ง เห็ด-แห้ง ฯลฯ เป็นต้น ซึ่งผักแห้งที่กล่าวมานั้นส่วนใหญ่จะเป็นส่วนประกอบของอาหารพร้อมปรุงบางประเภท เช่น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ซึ่งอาหารดังกล่าวเป็นที่นิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีความสะดวกรวดเร็วในการปรุง จากการสำรวจลักษณะและราคาในท้องตลาดพบว่าในกรณีที่เป็นกึ่งสำเร็จรูปที่มีผักแห้งต่าง ๆ เป็นส่วนประกอบจะมีราคาสูงกว่าที่ไม่มีผักแห้งเป็นส่วนประกอบถึง 50-100 เปอร์เซนต์ กล่าวคือ เมื่อใส่ผักแห้งลงไปจะมีมูลค่าเพิ่มขึ้นถึงเท่าตัว และก็เป็นที่น่าสังเกตว่าผักสดที่นำมาแปรรูปเป็นผักแห้งนั้นยังไม่ได้นำเอาถั่วงอกไปเป็นส่วนประกอบ ถึงแม้ว่าถั่วงอกจะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารประเภทก๋วยเตี๋ยวและบะหมี่ต่างๆ

จากเหตุผลที่กล่าวมาจึงน่าจะใช้วิธีการอบแห้งมาประยุกต์ใช้กับถั่วงอกเป็นถั่วงอกอบแห้ง ซึ่งจะเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่นอกเหนือจากการแปรรูปเป็นถั่วงอกกระป๋องเพียงอย่างเดียว ซึ่งคาดหมายว่าสามารถทำได้เนื่องจากเทคโนโลยีการอบแห้งมีกระบวนการที่ไม่สลับซับซ้อน และเมื่อนำถั่วงอกอบแห้งดังกล่าวไปคืนรูปก็น่าจะมีคุณภาพใกล้เคียงกันกับถั่วงอกสดสามารถนำมาใส่ในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า และอาจเป็นผลิต-ภัณฑ์ที่สามารถส่งออกไปยังต่างประเทศได้ ซึ่งสามารถเก็บไว้ได้นานอีกทั้งสะดวกในการขนส่ง เนื่องจากเป็นอาหารแห้งจึงสามารถขนส่งได้ในปริมาณที่มากกว่า.

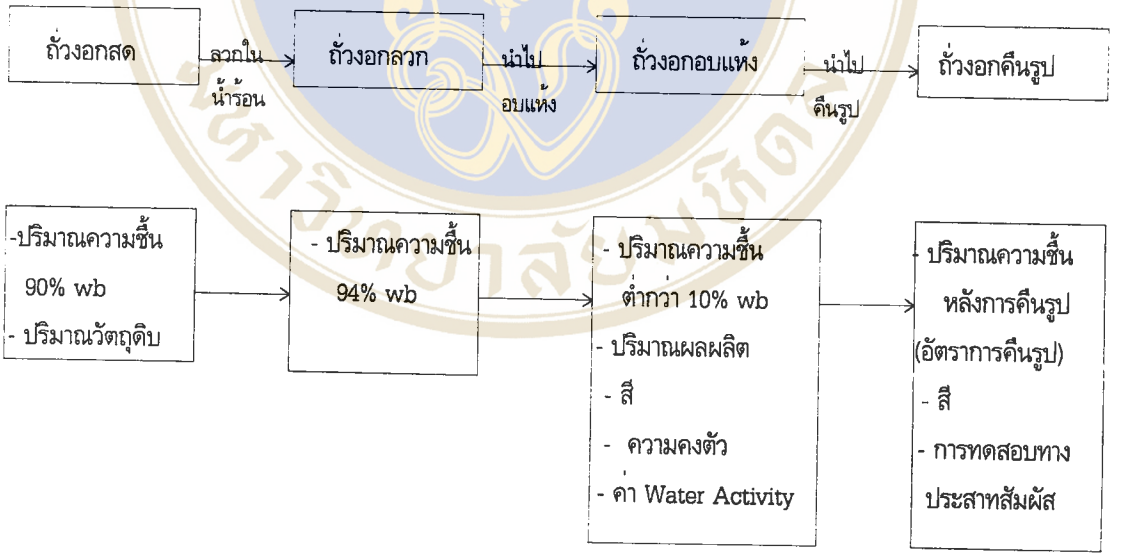
Copyright by Mahidol University

1.2 แนวคิดในการศึกษา

การทำแห้งนั้นเป็นการถนอมอาหารที่นิยมกันมาช้านาน เนื่องจากอาหารแห้งสามารถเก็บไว้ได้นานและสามารถทำได้ง่าย ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารแห้งนั้นจะสามารถเก็บไว้ได้นานกว่าผลิตภัณฑ์สดมาก ดังนั้นถั่วงอกสดจึงนำนำมามาแปรรูปโดยการนำมาอบแห้งเป็นถั่วงอกอบแห้ง ซึ่งอาศัยหลักการลดปริมาณน้ำในถั่วงอก ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยโดยตรงต่อการเน่าเสียของจุลินทรีย์ เมื่อให้ความร้อนแก่อาหารโดยทำให้น้ำระเหยออกไปจนมีปริมาณน้ำเหลืออยู่น้อยลงในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ส่งผลให้สามารถเก็บอาหารไว้ได้นานขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปถั่วงอกกึ่งสำเร็จรูป เมื่อผู้บริโภคต้องการที่จะบริโภคก็นำกลับมาคืนรูปโดยการใส่น้ำลงไป จากนั้นจึงสามารถนำไปประกอบอาหารเหมือนถั่วงอกสดทั่วไป

1.3 กรอบแนวความคิดในการศึกษา

ผู้วิจัยมีแนวคิดและขั้นตอนในการศึกษาดังรายละเอียดดังแผนภาพ 1-1



แผนภาพ 1-1 ผังแสดงกรอบแนวคิดในการศึกษา

Copyright by Mahidol University

1.4 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.4.1 เพื่อศึกษากระบวนการแปรรูปถั่วงอกสดเป็นถั่วงอกอบแห้งและคืนรูป

1.4.2 เพื่อศึกษาปัจจัยในการผลิตถั่วงอกอบแห้ง ได้แก่ ความชื้นที่เหมาะสม พลังงานและเวลาที่ใช้ ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบกับผลผลิตที่ได้ ลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำหรับการถนอมอาหาร

1.4.3 เพื่อศึกษาค่าใช้จ่ายในการผลิต และศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์การลงทุน

1.5 ขอบเขตของการศึกษา

1.5.1 ถั่วงอกที่ใช้เป็นวัตถุดิบในทดลองจะใช้ถั่วงอกที่เพาะจากถั่วเขียวพันธุ์ผิวมัน(*Vigna typica)* ซึ่งคิดราคาตามตลาดเทเวศน์ราคากิโลกรัมละ 10 บาท (ตุลาคม พ.ศ. 2539)

1.5.2 เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการศึกษาคือเครื่องอบแห้งแบบถาด(Tray Dryer) ใช้พลังงานจากกระแสไฟฟ้า

1.5.3 ศึกษาปัจจัยการผลิตได้แก่ ความชื้นที่เหมาะสม เวลาและพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

1.5.4 ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้แก่ สี ความคงตัว อัตราการคืนรูป การทดสอบทางประสาทสัมผัสตลอดจนค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ในการถนอมอาหาร

1.5.5 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวัตถุดิบกับผลผลิตที่ได้

1.5.6 ศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตในห้องปฏิบัติการ และความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์การผลิตถั่วงอกอบแห้ง

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา

1.6.1 **ถั่วเขียว** หมายถึง พืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vigna radiata* เป็นพืชล้มลุกประเภทใบเลี้ยงคู่ มีลำต้นสูงประมาณ 1-4 ฟุต ดอกสีม่วง มีเมล็ดค่อนข้างกลม นิยมใช้เป็นเพาะเป็นถั่วงอก

1.6.2 **ถั่วงอก** หมายถึง ถั่วที่ได้จากการนำเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ผิวมันไปทำการเพาะ จนมีรากและลำต้นงอกออกมาจากเมล็ดประมาณ 2 นิ้ว จึงนำมาประกอบอาหาร

1.6.3 **ถั่วงอกสด** หมายถึง ถั่วงอกที่ได้จากการเพาะจากเมล็ดถั่วเขียวผิวมันแล้วยังมีความสด และกรอบ ลำต้นสีขาวสะอาด อายุหลังการจากการเพาะเป็นถั่วงอกไม่เกิน 12 ชั่วโมง

1.6.4 **ถั่วงอกอบแห้ง** หมายถึง ถั่วงอกที่ได้จากการนำถั่วงอกสดไปทำการอบตามอุณหภูมิที่กำหนดจนได้ปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ

1.6.5 **ถั่วงอกคืนรูป** หมายถึง การนำเอาถั่วงอกอบแห้งไปเพิ่มปริมาณความชื้นโดยการนำไปต้มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส ตามเวลาที่กำหนด

Copyright by Mahidol University

1.6.6 **การอบแห้ง** หมายถึง การกำจัดความชื้นออกจากอาหารโดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญคือเพื่อเก็บรักษาถนอมอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บ โดยลดปริมาณความชื้นของของผลิตภัณฑ์ในระดับที่ป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

1.6.7 **เครื่องอบแห้ง** หมายถึง เครื่องที่ใช้ในการการลดความชื้นจากถั่วงอกจนมีปริมาณความชื้นที่ต้องการ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด ใช้พลังงานจากกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีกำลังไฟฟ้า 1.20 กิโลวัตต์ชั่วโมง

1.6.8 **พลังงานไฟฟ้า** หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสสลับมีหน่วยวัดเป็นวัตต์

1.6.9 **ความชื้นที่เหมาะสม** หมายถึง ปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าร้อยละ 10 และทำให้ถั่วงอกอบแห้งมีอัตราการคืนรูปสูงสุด

1.6.10 **อัตราการคืนรูป** หมายถึง ร้อยละของปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อนำถั่วงอกไปต้มในน้ำเดือดในช่วงเวลาต่าง

1.6.11 **ปรากฏการณ์ในการอบแห้ง** หมายถึง ลักษณะความชื้นที่เปลี่ยนไปในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ขณะที่ทำการอบแห้ง

1.6.12 **เวลา** หมายถึง ช่วงความยาวนานที่ใช้ในการอบและคืนรูป มีหน่วยเป็นชั่วโมง

1.6.13 **คุณภาพของผลิตภัณฑ์** หมายถึง คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้แก่ สี ความชื้น ความคงตัวในการเก็บรักษาของถั่วงอกอบแห้ง ตลอดจน สี และอัตราการคืนรูปของถั่วงอกอบแห้งคืนรูป

1.6.14 **สี** หมายถึง ลักษณะสีโดยรวมของถั่วงอกอบแห้งและถั่วงอกอบแห้งคืนรูป โดยนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน Muncell Color System

1.6.15 **การทดสอบทางประสาทสัมผัส** หมายถึง การทดสอบความชอบหรือความยอมรับ โดยวัดจากความรู้สึกส่วนตัวของผู้ทดสอบชิมที่ตอบสนองต่อผลิตภัณฑ์

1.6.16 **ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบกับผลผลิต** หมายถึง การเปรียบเทียบปริมาณระหว่างวัตถุดิบตั้งต้นคือถั่วงอกสดกับปริมาณถั่วงอกที่ได้ผ่านกระบวนการอบแห้งเป็นถั่วงอกอบแห้ง

1.6.17 **ปริมาณความชื้นสมดุล** หมายถึง ปริมาณความชื้นที่มีอยู่เมื่อสารมีความดันไอสมดุลกับสิ่งแวด-ล้อม

1.6.18 **ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้** หมายถึง ค่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สมดุล ซึ่งจะเป็นอัตราส่วนกับของความดันไอสมดุลต่อความดันไออิ่มตัว

1.6.19 **ต้นทุนการผลิต** หมายถึง การลงทุนที่จ่ายเป็นจำนวนเงินที่สามารถประเมินเป็นตัวเลขได้ซึ่ง แบ่งเป็น 2 ประเภทคือต้นทุนในห้องปฏิบัติการ และต้นทุนการผลิตโดยใช้เครื่องอบแห้งของมูลนิธิชัยพัฒนา

Copyright by Mahidol University

1.7 วิธีการศึกษา

ผู้วิจัยขอเสนอวิธีการและขั้นตอนในการศึกษาแสดงดังแผนภาพ 1-2

แผนภาพ 1-2 ขั้นตอนและวิธีการในการศึกษา

Copyright by Mahidol University

1.8 แผนการศึกษา

กิจกรรม	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ
ศึกษาข้อมูลทุติยะภูมิ	← - - →										
เขียนโครงร่างวิทยานิพนธ์		← - - - - - →									
เสนอโครงร่างวิทยานิพนธ์				← - - →							
เก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการ					← - - - - - - - - - - →						
วิเคราะห์ข้อมูล								← - - - - - →			
เขียนรายงาน									← - - - - - →		
สอบป้องกันวิทยานิพนธ์										← - - →	
แก้ไขและจัดพิมพ์รายงาน											← - - →

Copyright by Mahidol University

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องนั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษารวบรวมและนำเสนอดังนี้

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วงอก

2.2 การทำแห้งอาหาร

2.3 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับการอบแห้ง

2.4 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการอบแห้ง

2.5 ปริมาณความชื้นสมดุลและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7 สรุป

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วงอก

ถั่วงอก (Bean Sprout) เป็นผักที่คนไทยนิยมรับประทานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากถั่วงอกเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารหลายประเภทโดยเฉพาะอาหารจำพวกก๋วยเตี๋ยวต่างๆ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประกอบอาหารได้โดยการนำไปผัด ทำแกงจืด ฯลฯ เป็นต้น ถั่วงอกที่เรารับประทานโดยทั่วไปและมีอยู่มากมายในท้องตลาดนั้นส่วนใหญ่ได้จากการเพาะถั่วเขียว

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของถั่วเขียว

ถั่วเขียว (Mungbean) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Vigna radiata (Lin.)* เป็นพืชล้มลุกประเภทใบเลี้ยงคู่ สามารถเจริญเติบโตในดินทุกชนิดมีลำต้นสูงประมาณ 3-4 ฟุต ดอกสีม่วง เมื่อฝักอ่อนมีสีขาวยางประมาณ 2-4 นิ้ว พอแก่จะเปลี่ยนเป็นสีดำหรือขาวนวล มีเมล็ดค่อนข้างกลมอยู่ในฝัก ถั่วเขียวสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่ระยะเวลาที่ปลูกแล้วได้ผลผลิตสูงจะอยู่ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน

ประเทศไทยมีการปลูกถั่วเขียวหลายพันธุ์ สามารถแบ่งตามเมล็ดและสีของเปลือกซึ่งมีอยู่ 4 ชนิด คือถั่วเขียวธรรมดา *(Vigna radiata)* ซึ่งเป็นถั่วที่มีเปลือกสีเขียวด้านเล็กน้อยนิยมใช้เพาะเป็นถั่วงอกงามเส้นและส่งออกจำหน่ายในต่างประเทศ (สมชาย,2523) ถั่วเขียวผิวมัน *(Vigna typica)* เป็นถั่วเขียวที่มีเปลือกผิวมันขนาดใหญ่กว่าปกติ นิยมใช้ทำอาหารคาวอาหารหวาน (อรอนงค์,2535) ถั่วทองหรือถั่วเขียวสีทอง *(Phaseolus aureus)* เป็นถั่วเขียวที่มีเปลือกสีเหลืองขนาดปกติซึ่งนิยมใช้ทำขนมต่างๆ (วุฒิชัย,2536) และถั่วเขียวผิวดำ *(Vigna grandis)* เป็นถั่วเขียวมีเปลือกสีดำมีขนาดใหญ่กว่าขนาดปกติเล็กน้อยนิยมส่งไปขายที่

Copyright by Mahidol University

ประเทศญี่ปุ่นเพื่อทำถั่วงอกเท่านั้น (สุขสม,2528) แต่ในประเทศไทยนั้นถั่วเขียวที่นิยมนำมาเพาะเป็นถั่วงอกมากที่สุดคือถั่วเขียวผิวมัน

2.1.2 ส่วนประกอบของเมล็ดถั่วเขียว

เมล็ดถั่วเขียวเป็นเมล็ดที่เกิดจากผลที่แก่แตกได้ ซึ่งมีเมล็ดอยู่หลายเมล็ด (Multiple Seed Fruit) และเป็นเมล็ดที่มีส่วนเจริญมาจากส่วนของ Ovule ในดอกเท่านั้นโดยไม่มีส่วนของผลติดมาซึ่งส่วนที่อยู่นอกสุดของเมล็ดเรียกว่าเยื่อหุ้มเมล็ด (Seed Coat) จึงจัดว่าถั่วเขียวเป็นเมล็ดแท้ (True Seed) (วันชัย,2537) มีลักษณะของผลเป็นแบบ Loment Segment (T.T.Kozlowski,1972) เมล็ดของถั่วเขียวมีส่วนประกอบที่เป็นโครงสร้างและมีหน้าที่ที่สำคัญเกี่ยวข้องกันอยู่ 3 ส่วนคือ

เปลือก (Seed Coat) เป็นส่วนที่เจริญเติบโตและพัฒนามาจากส่วนของเยื่อหุ้มโอวุล (Integument) โดยเปลือกจะห่อหุ้มเมล็ดอยู่ นอกจากนี้พบว่ามี Hilum เป็นร่องรอยที่เหลือติดอยู่กับเมล็ดนับตั้งแต่หลุดจากต้นแม่ ชั้นนอกสุดของเปลือกจะเป็นชั้นของ Cuticle ซึ่งเป็นสารประเภทไขมันและ Wax (วันชัย,2537) เปลือกจะทำหน้าที่ป้องกันอันตรายให้กับส่วนประกอบต่างๆของเมล็ด ควบคุมการดูดน้ำ อากาศ ป้องกันเชื้อโรคและแมลงเข้าทำลายเมล็ด

คัพภะ (Embryo) จะประกอบด้วยต้นอ่อนซึ่งเป็นส่วนที่จะเจริญเติบโตเป็นต้นพืชต่อไป ส่วนของต้นอ่อนจะประกอบด้วยต้นอ่อนและรากอ่อน

ใบเลี้ยง(Cotyledones) ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหารสำหรับต้นอ่อนที่จะใช้ในการเจริญเติบโตของเมล็ดขณะงอก ซึ่งจะมีแร่ธาตุอาหารต่างๆซึ่งใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อสร้างเซลเนื้อเยื่อขึ้นมาใหม่ ดังนั้นเมล็ดถั่วเขียวจึงเก็บสะสมอาหารส่วนใบเลี้ยงนี้ประมาณร้อยละ 90 ของเมล็ด

2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วเขียว

เมล็ดพืชมีอาหารสะสมไว้ในเมล็ด สำหรับต้นอ่อนที่จะงอกเป็นต้นกล้าใช้ในการเจริญเติบโตและพัฒนา จนกว่าต้นกล้าที่งอกสามารถสังเคราะห์แสงสร้างอาหารเองได้ ชนิดและปริมาณสารอาหารที่เมล็ดเก็บสะสมแตกต่างกันตามชนิดของพืชพันธุ์และสถานที่ปลูก ถั่วเขียวจะสะสมอาหารในรูปของไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ฟอสเฟต และสารประกอบอนินทรีย์ องค์ประกอบเหล่านี้กระจายอยู่ในส่วนของใบเลี้ยง ถั่วเขียวมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นพวกไขมัน จึงไม่สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน โดยมีการสูญเสียความมีชีวิตง่ายหรือความงอกเร็ว (ดวงจันทร์,2521) โดยที่โปรตีนอยู่รวมเป็นกลุ่มๆ เรียกว่า Protein Body ส่วนไขมันจะเกาะรวมกันเป็นกลุ่มๆ เช่นกันเรียกว่า Spherosome กระจายตัวอยู่รอบๆ Protein Body เม็ดแป้ง

Copyright by Mahidol University

(Starch Granule) จะแทรกอยู่ระหว่าง Protein Body ซึ่งจะมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันตามชนิดของถั่ว อาหารที่สะสมไว้ในเมล็ดของถั่วเขียว ได้แก่

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) เมล็ดถั่วเขียวมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบมากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 60 จากการวิเคราะห์ของ วุฒิชัย (2526) พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในถั่วเขียวร้อยละ 62.45 จากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตถั่วเขียวสายพันธุ์ในประเทศไทย พบว่า มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าถั่วเขียวสายพันธุ์ต่างประเทศ ซึ่งถั่วเขียวสายพันธุ์ต่างประเทศมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 65.20 (Coffman and Garcia ,1977) โดยส่วนใหญ่ของคาร์โบไฮเดรตคือแป้ง (Starch) ประมาณร้อยละ 46.54 (นอกจากนี้ก็มีน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 4-10 เมล็ดถั่วเขียวประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส (Sucrose) ร้อยละ 0.85 และน้ำตาลหลายโมเลกุล (Oligosaccharide) ตระกูลเวอร์บาสโคส (Verbascose) ร้อยละ 1.91 สตาคีโอส (Stachyose) ร้อยละ 1.71 แรฟฟิโนส (Raffinose) ร้อยละ 0.49 น้ำตาลเวอร์บาสโคสเป็นน้ำตาลเพนทาแซคคาไรด์ (Pentasaccharide) ประกอบด้วยน้ำตาลสตาคีโอสเชื่อมต่อกับน้ำตาลกาแล็กโตสด้วยพันธะแอลฟา 1,6 กาแล็กโตซิดิก น้ำตาลหลายโมเลกุลเหล่านี้เป็นสารต้านโภชนาการ (Anti-Nutritional Factor) ชนิดหนึ่งในพืชตระกูลถั่ว คือทำให้เกิดลมในท้อง (Flatulence)

ไขมัน (Lipid) เมล็ดถั่วเขียวมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่เพียงเล็กน้อย คือ ประมาณร้อยละ 1-3 ในไขมันนี้ประกอบด้วยกรดไขมันหลายชนิด โดยมีกรดลิโนเลอิก (Linoleic Acid) ในปริมาณมากที่สุดร้อยละ 32.6 นอกนั้นเป็นกรดพัลมิติก (Palmitic Acid) ร้อยละ 28.1 กรดลิโนเลอิก (Linnoleic 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

โปรตีน (Protein) จากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนจากถั่วเขียว 321 สายพันธุ์พบว่าถั่วเขียวมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 19.1-28.3 (เฉลี่ยร้อยละ 24.0) สำหรับถั่วเขียวที่ปลูกในประเทศไทย พบว่ามีค่าเฉลี่ยของโปรตีนร้อยละ 21.7 นอกจากนี้ยังได้แบ่งกลุ่มสายพันธุ์ถั่วเขียวออกเป็น 3 กลุ่ม ตามปริมาณโปรตีน ถั่วเขียวโปรตีนสูงเป็นกลุ่มที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 23.2-24.3 ถั่วเขียวโปรตีนปานกลางเป็นกลุ่มที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 22.0-22.9 ถั่วเขียวโปรตีนต่ำเป็นกลุ่มที่มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 19.0-21.7

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

Copyright by Mahidol University

และกรดแอสคอร์บิกในปริมาณน้อยมาก สำหรับถั่วเขียวสายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทยพบปริมาณวิตามินบี 1 เฉลี่ย 0.011 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 เฉลี่ย 0.15 มิลลิกรัม และปริมาณวิตามินซีน้อยมาก (พัชรี ,2531)

แร่ธาตุ (Mineral) ถั่วเขียวเป็นแหล่งของธาตุเหล็ก และยังมีแคลเซียมสูงกว่าถั่วชนิดอื่น นอกจากนี้พบว่า ถั่วเขียวเป็นแหล่งของแมกนีเซียม ทองแดงและยังมีแมงกานีส สูงกว่าถั่วชนิดอื่น องค์ประกอบแร่ธาตุของถั่วเขียวแห้ง 100 กรัม ประกอบด้วย โพแตสเซียม(K) 850-1,450 มิลลิกรัม โซเดียม(Na) 30-170 มิลลิกรัม แมกนีเซียม(Mg) 65-125 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส(P) 280-580 มิลลิกรัม แคลเซียม(Ca) 80-330 มิลลิกรัม เหล็ก(Fe) 11.6 มิลลิกรัม สังกะสี(Zn) 3.8 มิลลิกรัม ทองแดง(Cu) 1 มิลลิกรัม แมงกานีส(Mn) 1.2 มิลลิกรัม (Abdullah And Baldwin, 1984)

สารต้านโภชนาการ (Anti-Nutritional Factor) แหล่งฟอสฟอรัสของถั่วเมล็ดแห้ง ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของกรดไฟติกหรือเกลือไฟเตต ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุบางชนิดได้ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี โมลิบดินัม และแมงกานีสหรือทำปฏิกริยากับโปรตีนเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลาย ไม่สามารถดูดซึมเข้าระบบทางเดินอาหารได้ ทำให้การนำไปใช้ประโยชน์ของแร่ธาตุและโปรตีนลดลง ดังนั้น กรดไฟติกหรือไฟเตตจึงจัดเป็นสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการชนิดหนึ่ง ไฟเตตจะอยู่ในส่วนของเปลือกและคัพภะของเมล็ดพืชทั่วไป แต่ในเมล็ดถั่วยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดไฟเตตในเมล็ดถั่วส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ

เถ้าและเส้นใย (Ash and Fiber) การวิเคราะห์เถ้าในถั่วเขียว 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ถั่วเขียวอู่ทอง 1 ถั่วเขียวกำแพงแสน 1 ถั่วเขียวผิวดำ ถั่วเขียวผิวมัน โดย พัชรี (2531) พบว่ามีค่าเฉลี่ยร้อยละ 3.89 ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง จากการวิเคราะห์ในถั่วเขียว 20 สายพันธุ์ภายในประเทศไทยโดย วุฒิชัย (2526) พบว่ามีปริมาณเถ้าเฉลี่ยร้อยละ 4.24

2.1.4 ปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ดถั่วเขียว

เมล็ดถั่วปกติมีความชื้นต่ำและยังไม่มีการงอก จัดว่าอยู่ในภาวะเงียบ (Quiescent State) ในภาวะดังกล่าวเมล็ดสามารถดำรงความมีชีวิตอยู่ได้นานนับปี โดยแทบไม่มีกิจกรรมเมตาโบลิซึมเกิดขึ้นเลย และสามารถกลับมามีเมตาโบลิซึมได้อีกครั้งเมื่อได้รับปัจจัยที่เหมาะสม (วันชัย, 2537) การที่เมล็ดจะงอกได้นั้นต้องได้รับปัจจัยที่จำเป็นต่อการงอกของเมล็ด เพื่อให้ขบวนการในการงอกเกิดขึ้นได้

น้ำหรือความชื้น (Water) น้ำเป็นปัจจัยพื้นฐานที่เมล็ดต้องการใช้สำหรับการงอกหน้าที่ของน้ำเกี่ยวกับการงอกของเมล็ด คือ ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนนุ่ม ผนังเซลล์และโปรโตพลาสซึมขยายตัว เป็นผลให้การดูดซึมออกซิเจนเข้าไปภายในเมล็ดได้สะดวกขึ้น นอกจากนี้น้ำยังเป็นตัวทำละลายโปรโตพลาสซึม เป็นผลทำให้กิจกรรมทางชีวเคมีในเมล็ดที่เคยหยุดนิ่งหรือเกิดขึ้นช้า มีกิจกรรมมากขึ้นและมีอัตราสูงขึ้น มีการย่อยอาหารที่

Copyright by Mahidol University

เก็บสะสมไว้ในเมล็ดในรูปโมเลกุลใหญ่แตกออกเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ เพื่อที่จะขนย้ายไปยังจุดเจริญ (L.O. Copeland, 1976) เมล็ดพันธุ์ในสภาพแห้ง (Air Dry) โดยทั่วไปจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 6-14 แต่การที่เมล็ดจะงอกได้นั้น เมล็ดต้องมีความชื้นสูงประมาณร้อยละ 50-60 ของน้ำหนักแห้ง (จวงจันทร์ ,2521)

อากาศ (Oxygen and Carbon Dioxide) ปกติในอากาศจะมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 20 และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบร้อยละ 0.03 ที่เหลืออีกร้อยละ 80 เป็นไนโตรเจน (Nitrogen) (L.O.Copeland ,1976) การงอกของเมล็ดเป็นขบวนการที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ที่มีชีวิตและต้องใช้พลังงาน จึงต้องใช้ออกซิเจนสำหรับหายใจ เพื่อย่อยสลายอาหารให้ได้มาซึ่งพลังงานที่จำเป็นสำหรับการหายใจ ออกซิเจนมีหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายเพื่อให้กลายเป็นน้ำในขบวนการหายใจ (วันชัย ,2537) โดยทั่วไปเมล็ดพืชสามารถงอกได้ในบรรยากาศที่มีออกซิเจนประมาณร้อยละ 20 ถ้าบรรยากาศรอบๆ เมล็ดมีออกซิเจนมากขึ้น อัตราการงอกจะเพิ่มขึ้นแต่ถ้าปริมาณออกซิเจนน้อยกว่าร้อยละ 20 อัตราการงอกจะช้าลง

อุณหภูมิ (Temperature) ขบวนการงอกของเมล็ดนั้น เป็นขบวนการที่ซับซ้อนประกอบไปด้วยหลายปฏิกริยาและหลายระยะ อุณหภูมิก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ เมล็ดพืชจะงอกได้ในภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสม (Potimum Temperature) อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปจะยับยั้งหรือทำให้เมล็ดไม่งอก ดังนี้

- อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Temperature) คือ อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการงอกของเมล็ด อุณหภูมิที่ระดับนี้ เมล็ดจะงอกได้เร็วที่สุดและมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุดอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการงอกของเมล็ดโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 20-35 องศาเซลเซียส (L.O.Copeland, 1976)
- อุณหภูมิต่ำสุด (Minimum Temperature) คือ อุณหภูมิระดับต่ำที่สุดที่เมล็ดสามารถงอกได้คือ 10-15 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าระดับนี้ การงอกของเมล็ดจะไม่เกิดขึ้น แต่จะไม่เป็นอันตรายกับเมล็ดด้วย โดยทั่วไปอุณหภูมิระดับต่ำสุดนี้เมล็ดสามารถงอกได้แต่ใช้เวลาในการงอกนานขึ้น
- อุณหภูมิสูงสุด (Maximum Temperature) คือ อุณหภูมิระดับสูงสุดที่เมล็ดสามารถงอกได้ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้การงอกของเมล็ดจะไม่เกิดขึ้นอีกทั้งยังเป็นอันตรายกับเมล็ดด้วย โดยทั่วไปอุณหภูมิสูงสุดที่เมล็ดสามารถงอกได้ มักไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิสูงเกินไปเมล็ดก็อาจดูดน้ำแต่ไม่มีการเจริญเติบโตของคัพภะ ทั้งนี้เนื่องจากในสภาวะอุณหภูมิที่สูงนั้นพลาสมิดไรโบโซม (Plasmid Ribosome) ไม่สามารถทำงานได้อย่างปกติ จึงไม่มีการสังเคราะห์โปรตีน (Feierabend, 1979) โดยทั่วไปโพลีเปปไทด์ (Polypeptide) ของคลอโรพลาส (Choroplast) นั้นร้อยละ 25 เป็น DNA ที่ถูก Code และสังเคราะห์บนพลาสมิดไรโบโซมอีกร้อยละ 75 ถูก Code และสังเคราะห์บนไซโตพลาสสมิกไรโบโซม (Cytoplasmic Ribosome) ที่ระดับอุณหภูมิวิกฤติ โปรตีนที่สร้างขึ้นในไซโตพลาสซึม (Cytoplasm) จะไปสะสมอยู่ในพลาสมิด (Plasmid) แต่ไม่มีการสร้างโฟโตซินเธติกเมมเบรน (Photosynthetic) และรงควัตถุ (Pigment)

Copyright by Mahidol University

แสง(Lighting) เมล็ดถั่วเขียวเป็นเมล็ดที่ไม่ต้องการแสงในการงอก

2.1.5 ขบวนการในการงอกของเมล็ดถั่วเขียว

ขบวนการในการงอกมีขบวนการย่อยที่เกิดต่อเนื่องและมีความสัมพันธ์กัน เริ่มตั้งแต่เมล็ดที่อยู่ในสภาพเมล็ดแห้ง มีการดูดน้ำทำให้มีการเปลี่ยนแปลงภายในเมล็ด และผลสุดท้ายที่ได้คือต้นกล้าขบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเมล็ดนี้สามารถกล่าวถึงที่ละขั้นตอนตามลำดับ ดังนี้

การดูดน้ำของเมล็ด (Water Imbibition) เมล็ดพืชโดยทั่วไปจะมีความชื้นต่ำประมาณร้อยละ 8-13 การที่เมล็ดจะงอกนั้นเมล็ดต้องได้รับปัจจัยต่างๆ ที่จำเป็นต่อการงอกอย่างพอเพียง ฉะนั้นขบวนการแรกที่เกิดขึ้นก็คือการดูดน้ำของเมล็ด เพื่อให้ความชื้นของเมล็ดเพิ่มขึ้นและอยู่ในปริมาณที่พอเพียงต่อการเกิดขบวนการต่างๆ สำหรับการงอก เมล็ดต้องดูดซับน้ำจนความชื้นในเมล็ดถึงจุดวิกฤติ ขบวนการงอกขั้นต่อไปจึงจะเกิดขึ้น ในระยะแรกของการได้รับน้ำของเมล็ด โมเลกุลของน้ำเข้าสู่เมล็ดโดยการแพร่ (Diffusion) การดูดน้ำของเมล็ดสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ ดังนี้

1) ระยะดูดน้ำ (Imbibition Phase) ในเมล็ดแห้ง Water Potential ของเซลล์ในเมล็ดมีค่าต่ำ เมื่อเมล็ดได้รับน้ำเมล็ดจึงดูดน้ำอย่างรวดเร็ว ลักษณะการดูดน้ำแบบนี้เกิดขึ้นได้กับเมล็ดทั่วไป สำหรับการเปลี่ยนแปลงของเมล็ดในระยะนี้ จะมีการจัดเรียงตัวและซ่อมแซมผนังเมมเบรนของอวัยวะต่างๆ ภายในเซลล์ (Peorganization and Repair of Cell Membrane)

2) ระยะงัน (Lag Phase) ระยะนี้เป็นระยะที่มีกระบวนการทางเมตาโบลิซึมเกิดขึ้นต้นระยะจะมี Water Potential เพิ่มขึ้นจากระยะแรก การดูดน้ำจะเป็นไปอย่างช้าๆ เนื่องจากแรง Imbibition Force อ่อนลง เมตาโบลิซึมส่วนใหญ่จะเป็นการสังเคราะห์ Nucleic Acid และเอนไซม์ต่างๆ มีการย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่และสังเคราะห์ Organelle ต่างๆ ขึ้นเพื่อเตรียมการงอก

3) ระยะการเจริญเติบโตของคัพภะ (Embryo Growth) ระยะนี้ที่บริเวณจุดเจริญ โดยเฉพาะรากอ่อน (Radicle) จะมีการแบ่งเซลล์และมีการยืดตัวของเซลล์ที่เกิดขึ้น การเจริญเติบโตของคัพภะจะปรากฏออกมาให้เห็น คือ มีการแทง Radicle ออกมา การเพิ่มขึ้นของความชื้นของเมล็ดในระยะนี้เกิดจากแรงดึงดูดของน้ำแบบ Osmotic Force โดยรากอ่อนเป็นส่วนใหญ่

2.1.6 เทคโนโลยีการเพาะถั่วงอกเชิงพาณิชย์

ชาวเอเชียและชาวไทยรู้จักการนำถั่วเขียวมาเพาะเป็นถั่วงอก และใช้บริโภคเป็นผักเป็นเวลาช้านานซึ่งถั่วงอกเป็นผักที่สะอาดและถูกหลักอนามัยเนื่องจากไม่ต้องใช้ยาฆ่าแมลงในการผลิต ขบวนการเพาะทำได้ง่ายและใช้ระยะเวลาในการเพาะสั้น สามารถเพาะได้ในที่ร่มตลอดปี สำหรับการเพาะถั่วงอกในเชิงพาณิชย์นั้นต้องใช้ถั่วเขียวที่มีคุณภาพดี มีสายพันธุ์ดี สามารถให้ผลผลิตสูง ทำการเพาะได้ในทุกสภาพอากาศและ

Copyright by Mahidol University

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยมหิดล

สามารถให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพดีคือ ไม่มีรากหรือรากสั้น ลำต้นขาว อวบอ้วนกลมและมีความกรอบ แต่เดิมนั้นชาวจีนมีความเชื่อจากประสบการณ์ที่ค้นพบจากการทำการเพาะถั่วงอกว่า ถ้าวางสิ่งของหนัก ๆ เช่น ก้อนหิน ลงบนเม็ดถั่วที่กำลังเพาะในตอนเริ่มต้นแล้ว จะทำให้ได้ถั่วงอกที่มีรากสั้นและลำต้นอวบ นอกจากนี้พบว่าการใช้ของหนักทับถั่วงอกแล้วจะส่งผลให้ถั่วงอกเร่งการผลิตสารเอธิลีนจากภายในเมล็ดซึ่งมีผลในการลดความยาวของราก ดังนั้นปริมาณของสารเอธิลีนที่เกิดขึ้นในขณะที่เมล็ดกำลังงอกจึงเป็นปัจจัยสำคัญทำให้ถั่วงอกมีคุณภาพดี จากการค้นพบนี้เองทำให้การเพาะถั่วงอกของประเทศไต้หวันต่างก็ใช้สารเคมีกลุ่มนี้ ซึ่งหลังจากการแช่เมล็ดถั่วเขียวเป็นเวลา 36-48 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเซลล์ด้านความยาว ทำให้ได้ถั่วงอกที่มีลักษณะไม่มีรากและมีลำต้นที่อวบอ้วน นอกจากนี้ยังทำให้ถั่วงอกที่เพาะได้มีความกรอบเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากผนังเซลล์มีความหนาขึ้นและมีปริมาณสารลิกนิน สำหรับการเพาะถั่วงอกทั้งในกรุงเทพและต่างจังหวัดส่วนมากนิยมเพาะ 3 วิธี ดังนี้

1) การเพาะด้วยทราย
2) การเพาะด้วยขี้เถ้าแกลบ
3) การเพาะด้วยน้ำ

1) <u>การเพาะด้วยทราย</u> เป็นวิธีการเพาะถั่วงอกที่มีแหล่งเพาะที่อยู่ใกล้กับแม่น้ำ มีหาดทรายอยู่ใกล้ชายฝั่ง การเพาะถั่วงอกด้วยวิธีนี้ มีแหล่งใหญ่อยู่ที่จังหวัดเชียงใหม่ ในปัจจุบันการเพาะถั่วงอกด้วยทรายไม่ค่อยพบและเป็นที่นิยม เนื่องจากไม่มีหาดทรายให้ใช้ในการเพาะถั่วงอก

2) <u>การเพาะด้วยขี้เถ้าแกลบ</u> ซึ่งมีแหล่งเพาะอยู่ที่อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี ในอดีตมีการเพาะตามหาดทราย แต่ในปัจจุบันไม่มีหาดทรายให้ใช้เพาะถั่วงอก เนื่องจากถูกเรือดูดทรายทำการดูดทรายจนตลิ่งพังจนหมด เมื่อไม่มีหาดทรายชาวบ้านที่มีอาชีพเพาะถั่วงอกขายจึงใช้ขี้เถ้าแกลบจากโรงสีเพาะถั่วงอกแทน อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกในการล้างขี้เถ้าแกลบออกจากถั่วงอกนั้นการเพาะควรกระทำใกล้กับแหล่งน้ำตามธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ ซึ่งใช้ในการเพาะถั่วงอกจะมีขั้นตอนดังนี้

2.1) <u>การคัดเมล็ด</u> ในการคัดเลือกเมล็ดถั่วเขียวที่จะใช้เพาะมีความสำคัญมากเพราะถ้าเลือกถั่วเขียวที่ไม่ดีมาทำการเพาะแล้วถั่วจะเน่าได้ง่าย ถั่วเขียวเป็นที่นิยมมาทำการเพาะส่วนใหญ่จะนิยมใช้พันธุ์ผิวมัน ลักษณะที่ดีควรมีเมล็ดใหญ่ ไม่มีกรวด ทราย หิน ปะปนอยู่มากนัก

2.2) <u>การล้างและแช่เมล็ด</u> ก่อนที่จะนำถั่วเขียวลงเพาะนั้นจะล้างถั่วเขียวด้วยน้ำผสมสารส้มและแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำเปล่าจนเมล็ดพองและเริ่มปริจึงหยุดแช่ เมล็ดถั่วเขียวที่เสีย ลีบ ก็จะลอยอยู่บนผิวหน้าน้ำ เมล็ดถั่วเขียวพวกนี้จะคัดทิ้ง

2.3) <u>การลงถังเพาะ</u> ถังเพาะที่ใช้ในการเพาะนั้นจะเป็นปี๊บที่นำมาเจาะรูที่ก้นเพื่อให้น้ำระบายได้สะดวกก่อนนำถั่วเขียวลงเพาะจะใช้ไม้ตีเป็นตารางอยู่ชั้นหนึ่งแล้วใช้ใบตองกรุทับอีกทีจากนั้นจึงตักขี้

Copyright by Mahidol University

เถ้าแกลบใส่ลงไปให้หนาพอสมควร แล้วจึงทำการหว่านเมล็ดถั่วเขียวที่แช่น้ำจนปริลงบนชั้นของขี้เถ้า สำหรับความหนาของขี้เถ้าแต่ละชั้นจะขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้เพาะคือ ถ้าต้องการถั่วงอกที่อ้วนก็ให้ชั้นของขี้เถ้าหนามาก ถ้าต้องการถั่วงอกผอมยาวก็จะให้ชั้นของขี้เถ้าบาง อย่างไรก็ตามไม่ว่าชั้นของขี้เถ้าหนาหรือบาง เมื่อหว่านเสร็จจะมีความสูงของชั้นทั้งหมดประมาณครึ่งปี๊บกว่า จากนั้นทำการย้ายเข้าโรงเพาะ

2.4) การรดน้ำ เมื่อทำการขนย้ายเข้าโรงเพาะเรียบร้อยแล้วจะใช้สายยางต่อเพื่อรดน้ำในปี๊บ ทำการรด 1-2 ครั้ง เมื่อรดน้ำเสร็จแล้วจะต้องเอียงปี๊บให้น้ำไหลออกเพื่อไม่มีน้ำขังทำให้ถั่วงอกเน่า

2.5) การถอนและล้าง ทำหลังจากเพาะแล้ว 3 วัน จากนั้นจึงทำการถอนและล้างโดยนำไปล้างริมแม่น้ำ ปี๊บ 1 ใบ จะมีถั่วงอก 12- 13 กิโลกรัม ซึ่งการล้างแต่ละปี๊บจะใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที

ลักษณะถั่วงอกที่เพาะด้วยขี้เถ้าแกลบจะเป็นถั่วงอกที่มีลำต้นสั้น ขาวอวบอ้วน หัวจะขาวและไม่มีสีเขียวปน นอกจากนี้พบว่าถั่วงอกที่ก้นปี๊บจะมีขนาดไม่สม่ำเสมอ และมักเสียหายเนื่องจากถั่วมีการแทงรากเข้าไปในใบตอง ทำให้การถอนมีความลำบากและเกิดการแตกหักของลำต้น

3) การเพาะด้วยน้ำ การเพาะถั่วงอกแบบนี้เป็นวิธีการเพาะที่ไม่ต้องใช้วัสดุเพาะร่วมกับถั่วเขียวซึ่งเป็นวิธีที่นิยมแพร่หลายที่สุดในการเพาะ เนื่องจากมีวิธีการเพาะที่ง่ายและมีข้อจำกัดในการเพาะมีน้อย ถั่วงอกที่เพาะได้มีคุณภาพดีและวิธีการเพาะไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม การเพาะทำดังนี้

3.1) การคัดเมล็ด ในการคัดเลือกเมล็ดถั่วเขียวที่จะใช้เพาะมีความสำคัญมาก เพราะถ้าเลือกถั่วเขียวไม่ดีมาทำการเพาะถั่วก็จะเน่าได้ง่าย ถั่วเขียวที่นิยมมาทำการเพาะส่วนใหญ่จะนิยมใช้พันธุ์ผิวมัน ลักษณะที่ดีควรมีเมล็ดใหญ่ ไม่มีกรวด ทราย หิน ปะปนอยู่มากนัก

3.2) การล้างและแช่เมล็ด ก่อนที่จะนำเมล็ดไปเพาะนั้นจะต้องล้างเมล็ดถั่วเขียวด้วยน้ำสะอาด หลังจากนั้นทำการแช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำผสมปูนแดงขนาดประมาณปลายนิ้วก้อย แช่น้ำให้ท่วมเมล็ดถั่วเขียวประมาณ 1 ฝ่ามือใช้เวลาการแช่ 4 ชั่วโมง จากนั้นนำลงถังเพาะ

3.3) การลงถังเพาะ ถังเพาะที่ใช้จะเจาะรูที่ก้นถัง เพื่อให้น้ำระบายได้สะดวกก่อนนำถั่วเขียวลงเพาะจะใช้กากมะพร้าวอุดรูเพื่อป้องกันเมล็ดถั่วเขียวไหลออกนอกถัง จากนั้นจึงทำการหว่านลงถังเพาะเมื่อนำเมล็ดถั่วเขียวลงถังเพาะเรียบร้อยแล้วจะทำการปิดถังด้วยกระสอบเปียก เพื่อป้องกันแสงแดดและเพิ่มความชื้นจากเมล็ดถั่ว

3.4) การรดน้ำ เมื่อทำการเพาะลงถังเรียบร้อยแล้วใช้สายยางต่อน้ำรดลงในถังทุกๆ 3 ชั่วโมง ถ้าเป็นฤดูหนาวก็ยืดเวลาเป็น 4 ชั่วโมง การรดน้ำในถังเพาะจะทำจนน้ำที่ผ่านออกมาจากถังมีอุณหภูมิเดียวกับน้ำที่ใช้รด

3.5) การถอนและล้างถั่วงอก หลังจากเพาะได้ 4 วัน ก็ทำการถอนและล้างทำการแยกเปลือกออกจากถั่วงอกโดยนำไปล้างในกะละมังที่ใส่น้ำไว้เกือบเต็ม ซึ่งจะได้ถั่วงอกประมาณ 7 กิโลกรัม ต่อถั่วเขียวที่ใช้เพาะ 1 กิโลกรัม

Copyright by Mahidol University

ลักษณะถั่วงอกที่เพาะด้วยน้ำจะมีลักษณะลำต้นอวบขาว มีความหอมและกรอบอร่อย

2.1.8 คุณค่าทางโภชนการของถั่วงอก

คุณค่าทางอาหารของถั่วงอก 100 กรัม มีดังนี้

Proximate Composition		
Energy	36.0	Kcal
Moisture	90.0	grams
Protein	2.8	grams
Fat	0.1	grams
Carbohydrate	5.9	grams
Crude Fiber	0.7	grams
Ash	0.5	grams
Minerals		
Calcium	27.0	milligrams
Phosphorus	85.0	milligrams
Iron	19.0	milligrams
Vitamins		
Total A	14.00	IU
Thiamin	0.07	milligrams
Riboflavin	0.03	milligrams
Niacin	1.00	milligrams
Vitamin C	19.00	milligrams

ที่มา : คุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย , กองโภชนการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข : 2516

2.2 การทำแห้งอาหาร (Food Dehydration)

โดยทั่วไปการทำแห้งอาหารหมายความถึงการกำจัดความชื้นออกจากอาหาร วัตถุประสงค์ที่สำคัญในการทำแห้งคือ เพื่อเก็บรักษาถนอมผลิตภัณฑ์ระหว่างการยืดอายุการเก็บ โดยการลดปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือปฏิกิริยาอื่นๆ นอกจากนี้ การลดปริมาณความชื้นยังมีผลต่อการเก็บรักษากลิ่นรสและคุณค่าทางอาหารอีกด้วย วัตถุประสงค์อีกประการหนึ่ง คือ การลดปริมาตรของผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยให้การขนส่งและการเก็บรักษาองค์ประกอบที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหาร

Copyright by Mahidol University

กระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และวัตถุประสงค์สุดท้ายของการทำแห้งเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ซึ่งสะดวกต่อการใช้ของผู้บริโภค

ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 ได้มีการผลิตอาหารอบแห้ง โดยเฉพาะผักอบแห้งอย่างกว้างขวาง และเมื่อเกิดสงครามโลกครั้งที่ 2 จึงได้มีการเพิ่มปริมาณการผลิตผลไม้อบแห้งและผักอบแห้ง และได้ขยายการผลิตไปสู่ผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น นม ไข่ และเนื้อสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากสามารถประหยัดพื้นที่ในการเก็บ ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย และความสะดวกของการใช้อาหารอบแห้ง แต่การผลิตอาหารอบแห้ง โดยเฉพาะผลไม้ ผัก ไข่และเนื้อสัตว์ลดลง หลังจากสิ้นสุดสงครามโลกครั้งที่ 2

แม้นว่าประเทศที่พัฒนาแล้วจะมีอุปกรณ์เครื่องเย็นอย่างพร้อมเพียงเพื่อใช้ในการเก็บ และการกระจายอาหารที่เสื่อมเสียง่ายและอาหารแช่เยือกแข็ง นอกจากนี้อาหารกระป๋องและอาหารที่บรรจุในขวดแก้วยังเป็นอาหารที่ยอมรับโดยทั่วไป จึงทำให้การบริโภคอาหารอบแห้งน้อยกว่าปกติ แต่สิ่งเหล่านี้ไม่ปรากฏในประเทศที่ยังไม่พร้อมในเรื่องอุปกรณ์แช่เย็น และอาหารตากแห้งหรืออบแห้งยังมีความจำเป็นต่อวงการทหารต่อไป ดังนั้นการศึกษาวิจัยในแง่มุมของการยอมรับและความต้องการของอาหารอบแห้งยังคงดำเนินต่อไป

ในขณะที่เมล็ดธัญพืชและผลิตภัณฑ์ของธัญพืช เป็นผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งที่ผลิตมากที่สุดในโลก ติดตามด้วยน้ำตาล ถั่วแห้ง และเมล็ดพืชน้ำมันก็ตาม การผลิตอาหารตากแห้ง ยังคงเป็นสัดส่วนที่สำคัญของวงการธุรกิจอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปเช่น ในปี พ.ศ. 2503 (ค.ศ.1960) ประเทศสหรัฐอเมริกาผลิตอาหารอบแห้งถึง 20 ล้านตัน (Joslyn,1967)

มาตรฐานของผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้ง เช่น นมผงแห้ง ไข่แห้ง กาแฟ โกโก้ และผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มอื่นๆ ได้มีการปรับปรุงให้ดีขึ้น และผลิตภัณฑ์เหล่านี้ หลายชนิดได้พัฒนาให้สามารถใช้ได้สะดวกและใช้กันอย่างแพร่หลาย ฉะนั้นการวิจัยและพัฒนาจึงมักเกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณสมบัติการคืนตัวของผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้ง การเพิ่มความคงตัวของการเก็บรักษา และการปรับปรุงด้านการผลิต

ข้อได้เปรียบที่สำคัญของการอบแห้งหรือตากแห้ง พอสรุปได้

1. น้ำหนักเบา เพราะว่าน้ำหนักประมาณร้อยละ 60-90 ของอาหารสดยกเว้นธัญพืชประกอบด้วยน้ำ และน้ำส่วนนี้เองจะถูกกำจัดออกไปโดยกระบวนการอบแห้งหรือตากแห้ง

2. มีความกระชับ กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งต้องการเนื้อที่น้อยกว่าของอาหารสด อาหารแช่เยือกแข็ง อาหารกระป๋อง โดยเฉพาะถ้าสามารถจัดเก็บในหีบห่อภาชนะ

3. ความคงตัวที่สภาวะการเก็บ ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งไม่จำเป็นต้องใช้ตู้เย็นในระหว่างการเก็บ แต่มีข้อจำกัดของอุณหภูมิสูงสุดในระหว่างการเก็บ เพื่อจะให้ได้ระยะการเก็บที่นานขึ้น

อย่างไรก็ดี การอบแห้งหรือตากแห้งพบว่ามีข้อเสียเปรียบอยู่บ้าง แม้ว่าบางข้อจะสามารถแก้ไขโดยวิธีอบแห้งสมัยใหม่และการปฏิบัติก่อนการอบแห้งก็ตาม ซึ่งข้อเสียเปรียบมีดังนี้

Copyright by Mahidol University

1. ความไวต่อความร้อน เนื่องจากอาหารส่วนมากมีความไวต่อความร้อนในระดับหนึ่ง และสามารถพัฒนาให้เกิดกลิ่นรสไหม้ขึ้นได้ ถ้าควบคุมสภาวะไม่เหมาะสม

2. เกิดการสูญเสียกลิ่นรสที่ระเหยได้และเกิดการฟอกสีของผลิตภัณฑ์ได้

3. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ซึ่งรวมถึงการเกิดการแห้งกรอบอันเนื่องจากการหดตัว

4. เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เกิดจากเอนไซม์ ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้ยังเกิดออกซิเดชันของไขมัน

5. เกิดการเสื่อมเสียอันเนื่องจากจุลินทรีย์ได้ ถ้าหากว่าอัตราการอบแห้งเริ่มต้นช้าหรือปริมาณชื้นสุดท้ายมีค่าสูง หรือเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่บรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง

2.2.1 วิธีการทำแห้ง

กระบวนการทำแห้งซึ่งทำมาตั้งแต่เดิมนั้นมักถูกยอมรับในรูปของผลิตภัณฑ์ที่โดยมากจะมีลักษณะแตกต่างไปจากวัตถุดิบเมื่อนำมาคืนรูป กระบวนการทำแห้งมักอาศัยวิธีทางธรรมชาติและมักเรียกกระบวนการว่า Drying นิยมใช้กับผลไม้มากว่าผัก ต่อมาได้มีการประดิษฐ์เครื่องจักรชนิดต่างๆ ขึ้นรวมทั้งเครื่องจักรสำหรับการทำแห้งและได้มีการเปลี่ยนจุดมุ่งหมายสำหรับการทำแห้งตลอดจนการเปลี่ยนจุดมุ่งหมายของกระบวนการโดยเน้นที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เมื่อนำมาคืนรูปแล้วมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับของสดมากที่สุด กระบวนการจะใช้เครื่องมือที่ออกแบบมาโดยเฉพาะนิยมใช้กับผักและผลไม้ต่างๆ เรียกกระบวนการว่า Dehydration ซึ่งจะมีการควบคุมสภาวะของอุณหภูมิ ความชื้น และความร้อนของอากาศเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะตามต้องการ การทำแห้งนั้นอาจแบ่งกระบวนการทำออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ การทำแห้งโดยใช้วิธีธรรมชาติและการทำแห้งโดยใช้เครื่องจักร

1) <u>การทำแห้งโดยวิธีธรรมชาติ</u> ซึ่งการทำแห้งในลักษณะนี้นั้นจะใช้แสงแดดเป็นแหล่งความร้อนเพื่อให้น้ำระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ การทำแห้งด้วยวิธีนี้นั้นนับเป็นวิธีเก่าแก่ที่ใช้ในการเก็บรักษาอาหาร นิยมใช้กับผลไม้หลายชนิด เช่น องุ่น มะเดื่อ พีช แพร์ เป็นต้น การผึ่งแดดนั้นนิยมในประเทศที่อยู่ในเขตร้อนซึ่งมีแสงแดดจัด มีระยะปลอดฝนหลังการเก็บเกี่ยว เป็นวิธีทำแห้งที่มีการเสียค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดแต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าการใช้เครื่องจักร เนื่องจากการผึ่งแดดจะใช้เวลานาน ระหว่างการทำแห้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพบางอย่าง เช่น การเปลี่ยนแปลงน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ ทำให้ปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ลดลง ในการผึ่งแดดนั้นจะใช้แรงงานในการขนถ่ายมาก การควบคุมตัวแปรระหว่างกระบวนการดังกล่าวทำได้ยากผลิตภัณฑ์มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอมีการปนเปื้อนจากสิ่งเจือปนต่างๆ เกิดได้ง่าย

2) <u>การทำแห้งโดยใช้เครื่องจักรที่ประดิษฐ์ขึ้น</u> ในการทำแห้งด้วยวิธีนี้นั้นจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่าการผึ่งแดด ใช้แรงงานน้อย สามารถควบคุมตัวแปรได้ดีกว่า เครื่องจักรที่ใช้ทำแห้งนั้นจะมี

Copyright by Mahidol University

หลายแบบแตกต่างกันออกไป แต่ละชนิดจะถูกพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุดิบและสามารถได้ผลิตภัณฑ์ในลักษณะที่ต้องการ เครื่องมือมีทั้งแบบใช้งานต่อเนื่อง กึ่งต่อเนื่อง ไม่ต่อเนื่องและมีการทำงานใต้ความดันบรรยากาศและสูญญากาศ การเคลื่อนที่ของลมภายใต้สูญญากาศซึ่งการถ่ายเทของความร้อนในเครื่องมืออาจเป็นการนำความร้อน การพาความร้อน หรือการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งเครื่องมือเหล่านี้จะมีลักษณะที่เหมือนกันคือ จะต้องมีประสิทธิภาพในการควบคุมกระบวนการทำแห้งได้ดี ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วของการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนตลอดจนความชื้นสัมพัทธ์ภายในระบบเนื่องจากตัวแปรของกระบวนการเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.2.2 การเตรียมผักและผลไม้ก่อนการทำแห้ง

ในการเตรียมผักและผลไม้ก่อนการทำแห้งนั้นจะต้องล้างทำความสะอาด แยกส่วนที่ไม่ต้องการออกและตัดแต่งให้เหมาะสมซึ่งผักส่วนใหญ่ยกเว้นหอม กระเทียม และเครื่องเทศนั้น จะต้องผ่านการลวกเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากเอ็นไซม์ การลวกอาจทำได้โดยการใช้น้ำร้อนหรือใช้ไอน้ำหลังจากให้ความร้อนในเวลาที่กำหนดจะต้องลดอุณหภูมิทันที เพื่อป้องกันการให้ความร้อนมากเกินไป ซึ่งการลวกนั้นนอกจากจะช่วยยับยั้งเอ็นไซม์แล้ว ยังช่วยให้การทำแห้งและการคืนรูปใช้เวลาน้อยลงด้วย

2.2.3 การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

ก่อนการทำแห้งนั้นจะมีการใช้สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับผัก และผลไม้ก่อน การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้นมีวัตถุประสงค์ เพื่อป้องกันการเกิดสีคล้ำจากเอ็นไซม์ และป้องกันการเปลี่ยนสี โดยซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะช่วยป้องกันการทำลายกรดแอสคอร์บิคในปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงช่วยในการยืดอายุการเก็บผักและผลไม้แห้ง นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลด้วยซึ่งการที่สามารถใช้อุณหภูมิได้สูงขึ้นนี้จะช่วยลดเวลาที่ใช้ในการทำแห้งลง

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้อาจอยู่ในรูปของก๊าซโดยตรงซึ่งจะได้จากการเผากำมะถันและใช้รมผักและผลไม้ในห้องปิด หรืออาจจะใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในรูปของสารละลายของสารที่แตกตัวให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เช่น โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) เป็นต้น

2.3 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับการอบแห้ง

การอบแห้งคือกระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้น เมื่อวัสดุได้รับความร้อนจะเกิดกระบวนการถ่ายเทมวลไปยังอากาศดังนั้นกระบวนการอบแห้งจึงขึ้นอยู่กับกระบวนการถ่ายเทความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสีและระบบการถ่ายเทมวลโดยที่กระบวนการทั้งสองจะเกิดขึ้นพร้อมกัน การที่ความร้อนเกิดการถ่ายเทให้แก่วัสดุเพื่อให้น้ำระเหยกลายเป็นไอ และน้ำที่ได้จะถูกนำออกมาโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง โดยทั่วไปแล้วจะใช้วิธีการพาความร้อนซึ่งในกรณีที่อากาศไหลผ่านวัสดุชื้นนั้นตัวอากาศร้อนจะทำหน้า

Copyright by Mahidol University

ที่ถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุและพาเอาไอน้ำออกไปด้วยถ้าอากาศร้อนนั้นมีอุณหภูมิและความชื้นคงที่จะพบว่ามีกระบวนการอบแห้งเกิดขึ้น

2.3.1 ปรากฏการณ์ทางกายภาพที่เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้งของอาหาร

เป็นที่ทราบกันดีว่า ถ้าการควบคุมกระบวนการอบแห้งไม่ถูกต้องแล้ว จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างรุนแรง โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงต้องการกับรูปร่างหรือโครงสร้าง เช่น การเกิดรอยแตก ผิวหน้าแข็ง การเสียโครงสร้างของโปรตีน เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เกิดออกซิเดชันของส่วนประกอบที่ไม่คงตัว หรือการเน่าเสียจากจุลินทรีย์อันเนื่องจากกระบวนการทางกายภาพ เคมี หรือชีวภาพ เมื่อนำอาหารเข้าอบแห้งจะมีกระบวนการพื้นฐานเกิดขึ้นพร้อมกัน 2 กระบวนการ ได้แก่

1) การถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นที่จุดที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ นั่นคือการอบแห้งกับตัวนำความร้อน การดำเนินการอบแห้งทางการค้าอาจจะใช้การถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อน หรือใช้วิธีร่วมกันจากวิธีดังกล่าว

2) การนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งกับโมเลกุลข้างเคียง สภาพนำความร้อน (Thermal Conductivity) เป็นคุณสมบัติของสารที่ประกอบกันขึ้นเป็นวัตถุ ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกัน สภาพนำความร้อนขึ้นกับอุณหภูมิและความร้อน (Gorling,1958) ค่าสภาพนำความร้อนของน้ำจะมีค่ามากกว่าค่าของวัตถุแห้งที่เป็นอาหาร เช่น ในผักและผลไม้สดซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบจำนวนมาก ค่าสภาพนำความร้อนของผักและผลไม้สดดังกล่าวจะไม่แตกต่างจากค่าของน้ำบริสุทธิ์มาก อย่างไรก็ดีขณะที่การอบแห้งเกิดขึ้นกับวัตถุ ค่าสภาพนำความร้อนจะลดลง (Van Arsdel,1963) จากการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ผิวหน้าของวัตถุที่ชื้นจะแตกต่างเพียงเล็กน้อยจากอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-Bulb Temperature) ลักษณะเช่นนี้จะเกิดขึ้นเมื่อการระเหยที่ผิวหน้าของวัตถุที่ชื้นจริงๆ อย่างมีประสิทธิภาพเท่านั้น (Gorling,1958)

3) การพาความร้อน การถ่ายเทความร้อนภายในวัตถุทึบนั้นจะเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนทั้งสิ้น แต่สำหรับของเหลวและก๊าซ การถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนจะเกิดขึ้นน้อยมาก ในทางปฏิบัติการถ่ายเทความร้อนทั้งสามวิธีจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่ามีลักษณะอย่างใด เช่น วัตถุที่มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กๆ ซึ่งภายในช่องว่างเต็มไปด้วยของเหลวหรือไอ การถ่ายเทความร้อนภายในที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบการนำความร้อน แต่ถ้าช่องว่างภายในมีขนาดใหญ่จะมีของเหลวอยู่ด้วย การถ่ายเทความร้อนภายในของเหลวจะเป็นแบบการพาความร้อน ซึ่งจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น แต่ถ้า

Copyright by Mahidol University

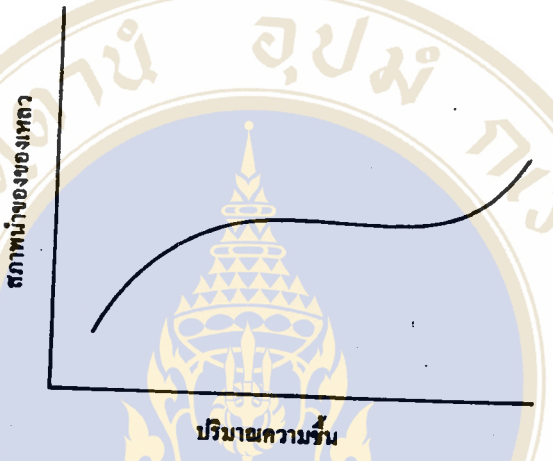
ความดันอากาศรอบๆ วัตถุนั้นลดลง ซึ่งเกิดขึ้นกับการอบแห้งแบบสุญญากาศ การถ่ายเทความร้อนจะพบว่าเป็นแบบการแผ่รังสี (Van Arsdel,1963)

4) การแผ่รังสี การถ่ายเทพลังงานความร้อนโดยการแผ่รังสีนั้นจะเกิดขึ้นเพียงส่วนน้อยในกระบวนการอบแห้งอาหาร แต่ในกรณีของการอบแห้งอาหารแบบสุญญากาศ และการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีเป็นหลัก นอกจากนี้การถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสียังใช้กระบวนการอบแห้งอาหารอื่นๆ เช่น การอบแห้ง แบบพ่นฝอย การอบแห้งแบบถาด การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่รังสีจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

5) การเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหาร เมื่ออาหารได้รับความร้อนระหว่างการอบแห้ง ในขณะเดียวกันน้ำที่อยู่ในอาหารก็จะเคลื่อนตัวออกจากอาหาร ลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหาร อาจเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่ของของเหลวหรือไอ (Karel,1975) กล่าวคือ น้ำหรือไอภายในอาหารจะเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าของวัตถุ จากนั้นน้ำที่ผิวหน้าจะกลายเป็นไอระเหยออกไปสู่รอบบรรยากาศของตู้อบ จากการศึกษาพบว่ากลไกภายในของการไหลของของเหลวและผลของสภาพภายนอก ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนตัวของน้ำในระหว่างการอบแห้ง กลไกภายในของการไหลของของเหลวนั้นได้พบว่ามีอยู่หลายแบบทั้งนี้ขึ้นกับโครงสร้างของอาหาร ชนิดของการเคลื่อนที่ของน้ำอาจเกิดขึ้นจาก

6) เกิดจากแรงคะปิลลารี (Capillalry Force) การเคลื่อนตัวแบบนี้ พบว่ามีลักษณะที่ซับซ้อนนั่นคือเป็นการยากต่อการคำนวณและยากต่อการแยกแยะว่าเป็นการเคลื่อนที่แบบที่เกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้น หรือจากแรงคะปิลลารี ฉะนั้นเพื่อให้เกิดความสะดวกและง่ายเข้า จึงใช้ค่าสภาพนำของของเหลว (Liquid Conductivity) มาใช้อธิบาย ซึ่งค่านี้จะแตกต่างกันตามปริมาณน้ำ ดังรูปที่ 2-1

Copyright by Mahidol University

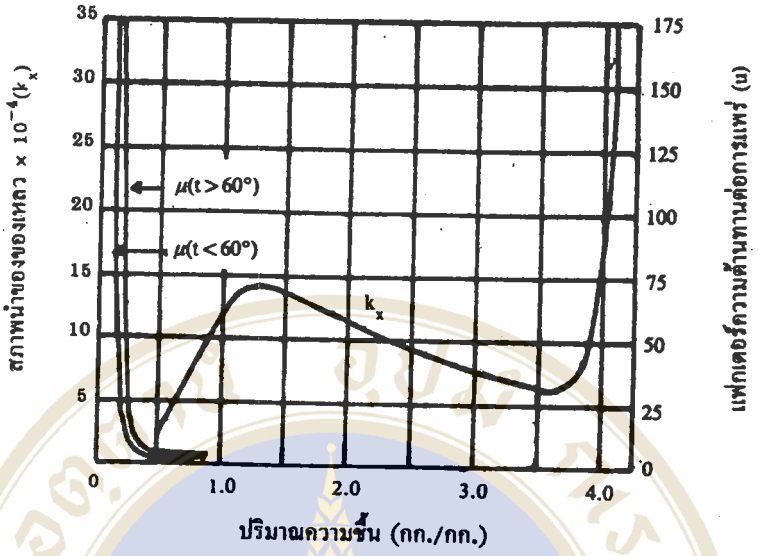


ภาพที่ 2-1 ผลของปริมาณน้ำที่มีต่อค่าสภาพนำของของเหลว
ที่มา : Karel (1975)

7) การแพร่ของของเหลว (Liquid Diffusion) เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารอาจเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ของของเหลว หรือของไอ ถ้าเป็นสภาวะของของเหลว การเคลื่อนที่ของน้ำจะเกิดขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นที่ต่างกันที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำได้ระเหยไปจากผิวหน้า นั่นคือความเข้มข้นของของแข็งเพิ่มขึ้นขณะที่ปริมาณน้ำลดลง

8) การแพร่ของไอน้ำ (Water Vapour Diffusion) เกิดจากความแตกต่างของความดันย่อยอากาศที่อยู่ในรูเปิดเล็กๆ นี้ จะไปไล่อากาศจากบริเวณที่มีความดันไอน้ำสูงไปสู่ความดันไอน้ำต่ำอัตราการเคลื่อนที่นี้ขึ้นกับแฟกเตอร์การต้านทานต่อการแพร่ซึ่งมีลักษณะคล้ายค่าสภาพนำของวัตถุ จากการศึกษาของ Gorling (1958) ได้แสดงให้เห็นว่าค่าความต้านทานต่อการแพร่เพิ่มขึ้นอย่างสูงชัน เมื่อปริมาณความชื้นลดลงต่ำกว่า 0.2 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมวัตถุแห้ง ดังภาพที่ 2-2 ค่านี้จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 2-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความต้านทานต่อการแพร่

ที่มา : Gorling (1958)

9) การแพร่ของไอ เกิดจากความแตกต่างของความดันไอ ความชื้นอาจจะเคลื่อนที่ โดยการแพร่ของไอผ่านอาหารที่เป็นของแข็งได้ตราบเท่าที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ การระเหยและการแพร่ของไออาจเกิดขึ้นในอาหารที่เป็นของแข็งโดยอาหารนั้นได้รับความร้อนข้างหนึ่งและการระเหยเกิดขึ้นอีกซีกหนึ่ง หรือการอบแห้งแบบสุญญากาศ

2.3.2 คาบของการทำแห้ง

กรรมวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะคงที่นั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 คาบ คือ คาบอัตราการแห้งคงที่ (Constant Rate Period) และคาบอัตราแห้งลดลง (Falling Rate Period) เมื่อเป็นเช่นนี้อาหารที่จะทำแห้งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ พวกที่ไม่ไวต่อความชื้น (Non-Hygroscopic) ซึ่งหมายถึงอาหารที่มีค่าความดันย่อยของน้ำในอาหารที่มีค่าเท่ากับความดันไอของน้ำ และอาหารอีกพวกหนึ่งคือ พวกที่มีความไวต่อความชื้น (Hygroscopic) ซึ่งจะมีค่าความดันย่อยน้อยกว่าความดันไอของน้ำที่มีความชื้นวิกฤตบางระดับ (Karel,1975)

1) คาบอัตราแห้งคงที่ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เป็นระยะที่ผิวหน้าของชิ้นอาหารสามารถรักษาระดับความชื้นของอาหาร พอที่จะทำให้ค่าความดันย่อยมีค่าเท่ากับความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก

Copyright by Mahidol University

ซึ่งปรากฏนี้จะเป็นจริงก็ต่อเมื่อปริมาณความชื้นที่ผิวหน้ามีค่ามากกว่าศูนย์ในอาหารประเภทที่ไม่ไวต่อความชื้น หรือมีค่ามากกว่าค่าความชื้นวิกฤตในอาหารประเภทที่ไวต่อความชื้น

ภายใต้สภาวะเช่นนี้ ความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนและของมวลจะขึ้นกับที่กระแสลมเท่านั้น แต่เนื่องจากได้กำหนดระบบการอบแห้งนี้เป็นระบบที่คุณสมบัติของลมมีค่าคงที่ ค่าความต้านทานก็จะไม่เปลี่ยนตามเวลา ดังนั้นแรงที่ทำให้การเคลื่อนที่ของมวลและของความร้อนก็สามารถรักษาให้คงที่ (Karel,1975) นั่นคืออัตราการเคลื่อนที่ของมวลจะสมดุลกับอัตราการส่งผ่านความร้อน และอุณหภูมิที่ผิวหน้าอิ่มตัวจะยังคงมีค่าที่คาบอัตราแห้งคงที่จะยังคงเกิดขึ้นต่อไปตราบเท่าที่น้ำสามารถเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้ามีค่ามากพอที่จะรักษาไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และระดับความดันของน้ำมีค่าเท่ากับความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก ฉะนั้นคาบอัตราแห้งคงที่จะสิ้นสุดลงทันที เมื่อผิวหน้ามีลักษณะแห้ง

ขนาดของคาบอัตราแห้งคงที่ขึ้นกับปัจจัย สัมประสิทธิ์ของการส่งผ่านมวลหรือการส่งผ่านความร้อนพื้นที่ผิวสัมผัสกับตัวให้ความร้อน และความแตกต่างของอุณหภูมิหรือความชื้นระหว่างกระแสลมกับผิวหน้าเปียกของวัตถุ จะเห็นได้ว่าปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยภายนอกทั้งสิ้น สำหรับกลไกการไหลของของเหลวภายในวัตถุไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อคาบอัตราแห้งคงที่แต่อย่างไร

2) คาบอัตราแห้งลดลง เมื่อคาบอัตราแห้งคงที่สิ้นสุดลงจะตามด้วยคาบอัตราแห้งลดลง ในคาบนี้ได้สันนิษฐานว่า การเคลื่อนตัวของมวลในชิ้นอาหารที่ระยะต่างๆ กันไปยังผิวหน้าของอาหารเกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัวของก๊าซ และการเคลื่อนที่จากผิวหน้าไปยังกระแสลมเกิดขึ้นโดยผ่านชั้นบางๆ ของก๊าซในอากาศ สาเหตุที่เกิดคาบอัตราแห้งลดลงในช่วงนี้ เพราะว่าความต้านทานภายในเพิ่มขึ้น และระยะทางของการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นด้วย

2.4 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการอบแห้ง

2.4.1 การเหี่ยวย่น เซลล์เนื้อเหยื่อสัตว์และพืชของสิ่งมีชีวิตมีคุณสมบัติของความเต่งตึง ซึ่งหมายความว่าเป็นของเหลวที่อยู่ภายในแต่ละเซลล์จะทำให้เซลล์พองออก จนมีโครงสร้างเหนียวแน่นคล้ายลูกบัลลูน ผนังเซลล์จะมีลักษณะอยู่ภายใต้แรงตึงผิว ในขณะที่ของภายในเซลล์จะถูกแรงอัด โครงสร้างของผนังเซลล์มีลักษณะแข็งแรงและหยืดหยุ่น แต่เมื่อเนื้อเหยื่อเซลล์ได้ผ่านกระบวนการบางกระบวนการ เช่น การลวก พบว่าผนังเซลล์จะมีลักษณะการยอมให้ซึมผ่านได้ง่ายขึ้น ความเต่งตึงของเซลล์จะหายไป (Van Arsdel,1973)

2.4.2 ความหนาแน่นรวม ถ้าหากอาหารถูกอบแห้งเร็วจนเกินไปจะทำให้อาหารมีค่าความหนาแน่นรวมน้อยกว่าพวกอาหารที่ถูกอบแห้งด้วยอัตราช้า ๆ เช่น การอบแห้งมันฝรั่งชนิดลูกเต๋า ที่อุณหภูมิ 65 °C และมีอุณหภูมิกระเปาะเปียก 30°C เป็นเวลา 3.50 ชั่วโมง ให้มีความชื้น 0.11 ปอนด์ต่อปอนด์ ของวัตถุแห้ง เปรียบเทียบกับอีกตัวอย่างที่อบแห้งที่ 51°C และมีอุณหภูมิกระเปาะเปียก 49°C นาน 10.50 ชั่วโมง จนมีความชื้น 0.61 ปอนด์ต่อปอนด์วัตถุแห้ง แล้วจึงเปลี่ยนอุณหภูมิอบแห้งเป็น 65°C และอุณหภูมิกระเปาะเปียก

Copyright by Mahidol University

30°C อีก 4.50 ชั่วโมง จนมีความชื้น 0.11 ปอนด์ต่อปอนด์วัตถุแห้ง ซึ่งจากปรากฏการณ์นี้พบว่า ค่าของความหนาแน่นรวมของตัวอย่างหลังนั้นจะเป็นสองเท่าของค่าความหนาแน่นรวมของตัวอย่างแรก ซึ่งค่าความหนาแน่นรวมนี้มีผลต่อปริมาณของวัสดุที่ใช้ในการบรรจุหีบห่อของอาหารดังกล่าว

2.4.3 ความสามารถในการคืนตัว ปัจจัยคุณภาพของอาหารแห้งที่สำคัญได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความสามารถในการคืนตัว ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียว ลักษณะเป็นเส้นใย การคืนตัวอย่างช้าๆ หรือไม่สมบูรณ์ เหล่านี้ถือเป็นตำหนิทางคุณภาพของอาหารอบแห้ง เช่น กรณีการสูญเสียความนุ่มของเนื้ออบแห้งอาจเนื่องมากจากการจับตัวของโปรตีนในกล้ามเนื้อ

ได้มีการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ถ้าเก็บเนื้อเยื่อพืชหรือสัตว์ไว้ที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงแบบไม่คืนตัวจะเกิดขึ้นเสมอ แม้ว่าอุณหภูมินั้นจะไม่สูงพอที่จะทำให้อาหารเกิดสีน้ำตาลหรือไหม้ได้ก็ตาม ความยืดหยุ่นของผนังเซลล์และความสามารถในการพองตัวของแป้งเป็นปัจจัยสำคัยต่อการคืนตัว แต่ปัจจัยทั้งสองลดลงเมื่ออาหารถูกกับความร้อน เช่น เนื้ออบแห้งสามารถดูดซับน้ำได้เพียงส่วนหนึ่งของน้ำเริ่มต้นเท่านั้น ถึงแม้ว่าจะสามารถดูดซับน้ำได้จนมีน้ำหนักเท่าเดิม ก็ไม่ใช่หมายความว่าเนื้อนั้นจะมีโครงสร้างเหมือนเดิม ผลิตภัณฑ์หลังคืนตัวจะมีลักษณะไม่ฉ่ำ และมีลักษณะเนื้อร่วนกว่าเนื้อสด

การแช่เยือกแข็งและการละลายก่อนการอบแห้งอาจช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการคืนตัวของผักแห้งได้ทั้งนี้เป็นที่เข้าใจว่าการแช่เยือกแข็งจะทำให้เกิดรูช่องว่างอันเนื่องจากผลึกน้ำแข็ง แม้ว่าคุณสมบัติในการดูดซับน้ำของผักอาจจะดีขึ้น แต่ว่าความสามารถในการจับตัวของสารในอาหารกับน้ำอาจไม่ดีขึ้นได้ (Karel,1975) การทำอาหารอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติการคืนตัวได้อย่างดี เพราะสามารถคืนตัวได้อย่างรวดเร็วและมีลักษณะใกล้เคียงกับของเดิมมากที่สุด ไม่ว่าในด้านปริมาณความชื้นหรือคุณสมบัติทางกายภาพ (Van Arsdel,1973)

2.4.4 การสูญเสียสารระเหย เมื่อน้ำกลายเป็นไอระเหยไปจากอาหารจะพาสารที่ระเหยได้ไปด้วยในปริมาณที่ต่างๆ กัน โดยทั่วไปปรากฏการณ์นี้เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ จึงได้มีการใช้สารบางชนิด เช่น ผงถ่าน หรือตัวดูดกลิ่นอื่นๆ ที่สามารถจับสารละเหยนี้ไว้ ด้วยจุดประสงค์ก็เพื่อจะนำกลิ่นนี้กลับมายังอาหารอีก

2.4.5 การเกิดสีน้ำตาลหรือความเสียหายเนื่องจากความร้อน ปัญหาที่สำคัญและเห็นได้ชัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบแห้ง ก็คือการเปลี่ยนแปลงสีซึ่งเรียกชื่อต่างๆ เช่น การเกิดสีน้ำตาล การเกิดสีไหม้หรืออาจเสียหายอันเนื่องจากความร้อน การเปลี่ยนแปลงนี้บางครั้งเป็นความต้องการ เช่น การเกิดสีน้ำตาลไหม้บนผิวหน้าของขนมปัง แต่ในแง่ของการอบแห้งถือว่าเป็นตำหนิทางคุณภาพ ถ้าการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้นมากจะทำให้กลิ่นรส ความสามารถในการคืนตัว และปริมาณกรดแอสคอร์บิก ถูกกระทบกระเทือนไปด้วย

อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความเสียหายในลักษณะนี้มักจะเป็นปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลา เช่น อาหารที่มีความไวต่ออุณหภูมิ อาจจะทนอุณหภูมิได้สูงถึง 30° C หรือสูงกว่านี้ได้เพียง 2-3 วินาที โดยไม่เกิดความเสียหาย แต่สามารถสังเกตห็นสีน้ำตาลนี้ได้ถ้าหากว่าใช้เวลานาน 8-10 ชั่วโมง ที่ 49 °C

Copyright by Mahidol University

อัตราการเกิดสีน้ำตาลยังขึ้นกับปริมาณความชื้นของอาหาร ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในระบบที่ซับซ้อนที่มีสารละลายอย่างเจือจาง แต่ถ้าสารละลายนี้เข้มข้นขึ้นอันเนื่องจากการอบแห้ง ปฏิกิริยาก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในกระบวนการอบแห้งอัตราการเกิดสีน้ำตาลจะสูงสุดที่ความชื้นอยู่ในระดับปานกลาง คือ ในช่วงระหว่าง 15-20 % เมื่ออาหารมีลักษณะแห้งอย่างสมบูรณ์การเกิดสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ อาหารอบแห้งที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 1-2 จะสามารถเก็บได้เป็นเวลานานแม้ว่าจะเก็บที่อุณหภูมิสูง

2.5 ปริมาณความชื้นสมดุลและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ (Equilibrium Moisture Content and Water Activity)

ปริมาณความชื้นสมดุลย์ของสารนิยามว่า เป็นปริมาณความชื้นที่มีอยู่เมื่อสารมีความดันไอสมดุลกับสิ่งแวดล้อม ในกระบวนการอบแห้งจะเป็นปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เมื่อสิ้นสุดกระบวนการ อัตราส่วนของความดันไอสมดุลต่อความดันไออิ่มตัวจะเรียกว่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุล หรือวอเตอร์ แอกทิวิตี้ (Water Activity : a_w) และค่านี้จะสอดคล้องกับค่าปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์นั้น

ค่า a_w วัดเป็นความชื้นสัมพัทธ์สมดุลคือ เปอร์เซนต์ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่สัมผัสกับบรรยากาศขณะที่ไม่มีการดูดซับหรือคายน้ำเกิดขึ้น

$$a_w = ERH/100 \quad \text{----------(2.1)}$$

เมื่อ ERH = ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (เปอร์เซนต์)

ในเรื่องของอาหารแห้งจำเป็นต้องเน้นการวัดปริมาณความชื้นสมดุลอย่างมาก เนื่องจากค่า a_w มีความสำคัญต่อการเก็บอาหาร จากการศึกษาวิจัยพบว่าปฏิกิริยาหลายอย่างและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เกิดขึ้นภายในช่วงของค่า a_w ที่แน่นอนช่วงหนึ่ง

ค่า a_w จะมีความสัมพันธ์กับการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย ยีสต์และรา กล่าวคือ การเจริญของเชื้อแบคทีเรียจะมีแบคทีเรียเพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถเจริญได้มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.9 เช่น *Staphylococcus aureus* ซึ่งสามารถเจริญได้ที่ค่า a_w 0.86 การควบคุมการเจริญของแบคทีเรียที่ดีที่สุดก็คือ การปรับค่า a_w ให้ต่ำกว่าค่าที่เชื้อแบคทีเรียสามารถเจริญได้ หรือให้ความร้อนอย่างเพียงพอที่จะทำลายเชื้อดังกล่าว หรือการใช้วิธีการบรรจุหีบห่อร่วมกับการใช้ความร้อน

การเจริญของเชื้อยีสต์มีลักษณะคล้ายกับการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย เพราะว่าการเจริญของเชื้อยีสต์จะชะงักที่ค่า a_w ประมาณ 0.88 การควบคุมการเจริญของเชื้อยีสต์ปฏิบัติเช่นเดียวกับการควบคุมการเจริญของเชื้อแบคทีเรียนอกจากนี้อาจเติมสารเคมีบางชนิดก็ได้ส่วนการเจริญของเชื้อราการเสื่อมเสียของอาหารพบว่าส่วนใหญ่พบว่าเชื้อราหลายชนิดสามารถเจริญได้ในช่วง a_w 0.80 สำหรับวิธีการควบคุมนั้นมักจะเติมยากันเชื้อราในอาหารหรือในภาชนะบรรจุ

Copyright by Mahidol University

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Levi และคณะ (1980) ได้ศึกษาผลการใช้ความร้อนและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีต่อลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยด้วยความชื้นปานกลาง พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการลวกจะมีความแน่นแข็งมากกว่าของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการลวก เมื่อผลิตภัณฑ์ทั้งสองมีความชื้นเท่ากับ 38% โดยผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการลวกจะมีค่าความแน่นแข็งระหว่าง 120-222 ปอนด์ของแรงตัดในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการลวกจะมีค่าระหว่าง 450-550 ปอนด์ของแรงตัด สำหรับปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์พบว่ามีผลต่อความแน่นแข็งของผลิตภัณฑ์เช่นกัน กล่าวคือในผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการลวกมีค่าความแน่นแข็งเมื่อไม่ผ่านกระบวนการซัลไฟต์ เท่ากับ 120 ปอนด์และเพิ่มเป็น 250 ปอนด์ เมื่อผ่านกระบวนการซัลไฟต์ที่ 2,500 ส่วนในล้านส่วน และผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการลวกค่าความแน่นแข็งจะเพิ่มจาก 450 ปอนด์ เมื่อไม่มีการใช้ซัลไฟต์เป็น 500 ปอนด์ เมื่อผ่านการซัลไฟต์ 2,500 ส่วนในล้านส่วน ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะไปทำให้เอนไซม์เพกโตลิติกหมดความว่องไวไป

Mazza และ Leamaguer (1965) ศึกษาการอบแห้งหัวหอม โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะทำความเข้าใจในกระบวนการระเหย การแพร่ การดูดซับความชื้นของชิ้นหัวหอม นอกจากนี้ยังศึกษาเกี่ยวกับการคืนกลับความชื้น (Rehydration) ที่อุณหภูมิ 25°C และ 40°C ด้วยเพื่อศึกษาว่า กลไกในการควบคุมการคืนกลับความชื้นมีความสัมพันธ์กับการควบคุมการดึงความชื้นออกจากหัวหอมหรือไม่ อุปกรณ์อบแห้งเป็นชนิด Vibro-Fluidizer สภาวะที่ใช้ในการทดลอง คืออุณหภูมิอบแห้ง 40,50 และ 60°C อัตราการไหลของอากาศ 5.5,8.1 และ 10.3 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการอบแห้งกล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น อัตราการอบแห้งจะเพิ่มมากขึ้น และไม่มีช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ส่วนอัตราการไหลของอากาศไม่เห็นผลชัดเจน

ทักษิณา รอยจิรากุล (2528) ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความเร็วลมที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งของ พุทรา ละมุด องุ่น และมะยม โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งในช่วง 55-72°C ความเร็วลม 0.6 และ 1.2 เมตรต่อวินาที พบว่าอัตราการอบแห้งของผลิตภัณฑ์เกษตรที่ศึกษาทั้งหมด อยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งที่ลดลงอัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นขณะที่อุณภูมิเพิ่มขึ้น ถ้าอุณหภูมิเพิ่มสูงเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เกษตร ความเร็วลมจะมีอิทธิพลเล็กน้อยต่ออัตราการอบแห้ง

ธงไชย ศรีนพคุณ (2530) ได้ทำการอบแห้งพริกขี้หนูผิวมันกับอุปกรณ์อบแห้งพบว่าอัตราการการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งมากขึ้น สำหรับความเร็วของอากาศอบแห้งนั้นจะมีอิทธิพลต่อการอบแห้งน้อยมาก

Copyright by Mahidol University

มานิต สุขจินดาเสถียร (2536) ได้ศึกษาหาแนวทางการอบแห้งต้นหอมสับที่เหมาะสมโดยใช้เครื่องอบแบบถาดอยู่กับที่โดยพิจารณาถึงความสิ้นเปลืองพลังงาน เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วยการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของต้นหอมสับและตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้ง โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 38-74°C พบว่าการเคลื่อนที่ของความชื้นจะถูกควบคุมโดยอุณหภูมิและความเร็วลม นอกจากนี้พบว่าลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมื่อดูจากสีพบว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 °C นั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเกิดสีน้ำตาล ส่วนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 70 °C ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไม่เป็นสีน้ำตาล ลักษณะของสีจะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สด ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์นั้นเกิดจากน้ำตาลที่มีอยู่ในต้นหอมสับได้รับความร้อนทำให้พันธะ Hydroxy group ภายในโมเลกุลของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวนั้นหลุดออกจากกัน และเกิดเป็นสารประกอบคีโตนขึ้น จึงทำให้ต้นหอมสับมีสีน้ำตาล

2.7 สรุป

2.7.1 ความรู้เกี่ยวกับถั่วงอก

ถั่วงอกที่นิยมนำมารับประทานนั้นได้จากการเพาะจากถั่วเขียวพันธุ์ผิวมัน เนื่องจากทำให้ได้ถั่วงอกที่มีคุณภาพดี คือไม่มีรากหรือรากสั้น ลำต้นขาว อวบอ้วนและมีความกรอบ ถั่วงอกในปัจจุบันนิยมทำการเพาะด้วยน้ำ เนื่องจากมีวิธีการเพาะที่ง่ายและทำให้ถั่วงอกที่มีคุณภาพดี โดยใช้เวลาในการเพาะทั้งสิ้น 4 วัน โดย ถั่วเขียว 1 กิโลกรัม จะสามารถเพาะเป็นถั่วงอกได้ 7 กิโลกรัม

2.7.2 ขบวนการอบแห้งโดยทั่วไป

การอบแห้งคือกระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทไปยังวัสดุที่มีความชื้น เมื่อวัสดุได้รับความร้อนจะเกิดกระบวนการถ่ายเทมวลไปยังอากาศ ดังนั้นการอบแห้งจึงขึ้นอยู่กับการถ่ายเท การพาการนำและการแผ่รังสีความร้อน กรรมวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนภายใต้สภาวะคงที่นั้นจะแบ่งเป็น 2 คาบ คือคาบอัตราการอบแห้งคงที่และคาบอัตราการอบแห้งลดลง เมื่อนำเอาอาหารเข้าอบอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดระหว่างอบแห้งคือเกิดการเหี่ยวย่น และเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลหรือความเสียหายอันเนื่องมาจากความร้อน ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการคืนรูป

2.7.3 งานวิจัยที่กี่ยวข้องกับถั่วงอกอบแห้ง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้ง จะเห็นได้ว่ามีผักและผลไม้ที่ใช้ในการอบได้แก่ มะละกอ กล้วยหัวหอม พุทรา ละมุด องุ่น มะยม พริกขี้หนูผิวมันและต้นหอมสับ ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระบวนการอบผักและผลไม้ที่กล่าวมาในขั้นต้นนั้นมีกระบวนที่ใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะต้นหอมสับนั้นมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับถั่วงอกมากที่สุด ดังนั้นจึงได้เลือกวิธีการผลิตโดยใช้แนวทางจากการอบแห้งต้นหอมสับของมานิต สุขจินดาเสถียร

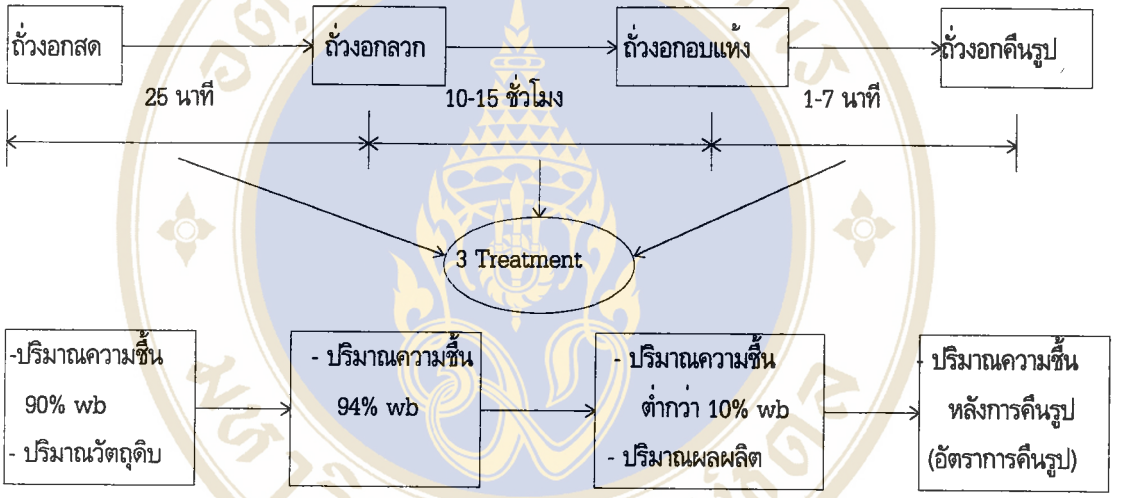
Copyright by Mahidol University

บทที่ 3

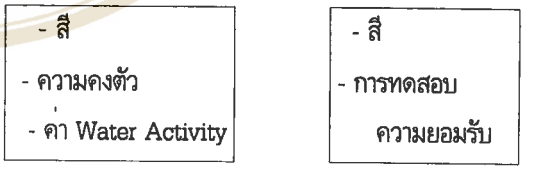
การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1. การดำเนินการทดลองในการผลิตถั่วงอกอบแห้ง 2. การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วงอกอบแห้ง 3.การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ในการดำเนินงานวิจัยทั้ง 3 ขั้นตอนนั้นเขียนเป็นแผนดำเนินงานทดลองดังนี้

1) กระบวนการผลิต



2) การทดสอบคุณภาพ



3) ต้นทุนในการผลิต

แผนภาพแสดงแผนการทดลอง

Copyright by Mahidol University

3.1 เครื่องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการดำการทดลองเป็นเครื่องอบแห้งแบบถาด(Tray Dryer) ยี่ห้อ Contermรุ่น APP96089 ซึ่งเป็นตู้อบความร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ถึง 300 °C Fluctualtion ± 0.2 °C ควบคุมอุณหภูมิโดยระบบMicro-Processor แสดงอุณหภูมิโดยระบบดิจิตอล LED มีระบบหมุนเวียนอากาศโดยใช้พัดลมเพื่อประสิทธิภาพในการกำจัดความชื้นและควบคุมอุณหภูมิ

รูปที่ 3-1 เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการดำเนินงานทดลอง

Copyright by Mahidol University

3.2 การดำเนินงานทดลอง

ในการดำเนินงานทดลองนั้น การหาตัวแปรที่เหมาะสมโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตู้ชนิดถาดอยู่กับที่ เป็นการทดลองหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งถั่วงอก ทำการอบแห้งถั่วงอกที่มีความชื้นเริ่มต้น 90-95 %wb ให้มีความชื้นสุดท้าย 5-10 %wb โดยพิจารณาลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการคืนรูป ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง เวลาที่ใช้ ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบกับผลผลิตที่ได้ ความคงตัวของผลิตภัณฑ์และต้นทุนในการผลิต

ในการศึกษาด้านอุณหภูมิที่ใช้อบนั้น ในขั้นต้นผู้วิจัยได้กำหนดอุณหภูมิที่ใช้อบคือ 50 60 และ 70°C ดำเนินการอบเพื่อสุ่มหาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะใช้ในการอบจริง ซึ่งจากการทดลองอบในขั้นต้นพบว่า การอบถั่วงอกที่อุณหภูมิ 50°C นั้น เมื่อทำการอบไปประมาณ 6-7 ชั่วโมง ถั่วงอกที่กำลังอบจะเริ่มมีกลิ่นเน่าเหม็น ส่วนถั่วงอกที่ทำการอบด้วยอุณหภูมิ 60 และ 70°C จะค่อยๆ แห้งลงไปเรื่อย ๆ ตามช่วงเวลาที่ทำการอบโดยไม่มีกลิ่นเหม็น ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือที่ 60 และ 70°C

การทดลองมีตัวแปรที่ควบคุม 2 ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในการอบแห้งคือ

ก) อุณหภูมิที่ใช้อบ จะแปรค่าอุณหภูมิเป็น 60 และ 70°C

ข) ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์คือ 5-10 %wb เนื่องจากเป็นปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการทำแห้งผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุอุปกรณ์อบแห้ง

ก) การเตรียมถั่วงอกที่จะใช้ในการอบแห้ง

การเตรียมถั่วงอกเพื่อทำการอบมีขั้นตอนดังนี้

1) นำถั่วงอกที่จะใช้ในการอบแห้งมาล้างน้ำให้สะอาดหลายๆ ครั้ง คัดส่วนที่ไม่ต้องการทิ้งไป เช่น ที่เน่าเสีย เปลือกหุ้มเมล็ด เป็นต้น จากนั้นนำถั่วงอกที่สะอาดแล้วผึ่งบนตะแกรง 10 นาที เพื่อสะเด็ดน้ำ นำไปชั่งให้ได้ 2 กิโลกรัม เนื่องจากปริมาณดังกล่าวเหมาะสมกับขนาดของพื้นที่ตะแกรงของเตาอบที่ใช้ในการดำเนินการทดลองในครั้งนี้

2) นำถั่วงอกที่เตรียมไว้ไปแช่ในโซเดียมไบซัลไฟต์($NaHSO_3$) ที่ความเข้มข้น 500 ppm. เป็นเวลา 15 นาที การแช่โซเดียมไบซัลไฟต์มีประโยชน์ในการป้องกันหรือลดการเกิดสีคล้ำจากเอ็นไซม์และป้องกันการเปลี่ยนสี จากนั้นจึงตักขึ้นผึ่งบนตระแกรงให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นจึงนำไปลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 10 วินาที เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากเอ็นไซม์ แล้วลดความร้อนอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกัน

Copyright by Mahidol University

ให้ความร้อนมากไป โดยนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องจนความร้อนของถั่วงอกลดลงจึงตักขึ้นสะเด็ดน้ำบนตระแกรง 5 นาที ซึ่งในการลวกน้ำร้อนนั้นนอกจากจะช่วยยับยั้งเอ็นไซม์แล้วยังช่วยให้การอบแห้งและการคืนรูปใช้เวลาน้อยลงด้วย

3) นำถั่วงอกไปแช่ในโซเดียมไบซัลไฟต์ ($NaHSO_3$) ที่ความเข้มข้น 500 ppm อีกครั้งเป็นเวลา 15 นาที จึงตักขึ้นสะเด็ดน้ำบนตระแกรง

ข) การเตรียมความร้อนของเครื่องอบแห้ง

การเตรียมความพร้อมของเครื่องอบแห้งคือการทำความสะอาดภายในเตาอบ จากนั้นจึงตั้งอุณหภูมิจนอุณหภูมิคงที่

3.2.2 ดำเนินการอบแห้ง

- นำถั่วงอกสดเข้าตู้อบแห้ง โดยการเกลี่ยถั่วงอกให้กระจายให้มากที่สุดไม่เกาะกันเป็นก้อน
- ทำการหาความชื้นของถั่วงอกระหว่างการอบแห้งทุกๆ 1 ชั่วโมง เพื่อศึกษาอัตราการอบแห้งในช่วงเวลาต่างๆ ในการหาความชื้นของถั่วงอก ทำได้โดยการเก็บตัวอย่างถั่วงอกจากตระแกรงซึ่งจะทำการสุ่มตัวอย่างประมาณ 3 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 104°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หาปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet Basis) ดังสมการ

$$wb = \frac{(w-d) \times 100}{d} \quad \text{---------- (3-1)}$$

เมื่อ wb = เปอร์เซ็นต์ความชื้น

w = น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชื้น

d = น้ำหนักของวัสดุแห้ง

- วัดพลังงานที่ใช้ในการอบโดย Kilowatt Hour Meter.

3.2.3 การคืนรูปถั่วงอกอบแห้ง

การตรวจสอบการคืนรูปโดยการต้มผลิตภัณฑ์ในน้ำ บันทึกลักษณะปรากฏและคำนวณน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น การตรวจสอบการคืนรูปจะทำเพื่อตรวจสอบความเหมาะสมและถูกต้องของสภาวะที่ใช้ในการทำแห้งที่สำคัญคืออุณหภูมิและเวลา ซึ่งในการศึกษาการคืนรูปถั่วงอกอบแห้งโดยการนำถั่วงอกอบแห้งที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 60 และ 70°C ที่ปริมาณความชื้นในช่วง 5-10 % wb จำนวนตัวอย่างละ 2 กรัม ไปต้มในน้ำเดือด 1 นาที ตักขึ้นทิ้งให้สะเด็ดน้ำบนตระแกรง 1 นาที นำไปชั่งน้ำหนัก ทำการศึกษาปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น

Copyright by Mahidol University

เมื่อคืนรูปถั่วงอกโดยใช้เวลาต้ม 1 นาทีแล้ว จึงศึกษาการคืนรูปเมื่อนำไปต้ม 2,3,4,5 นาที ตามลำดับ

3.3 การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ในการศึกษาคุณภาพของถั่วงอกอบแห้งที่ได้ พิจารณาดังนี้

3.3.1 สี(Color)

ในการศึกษาเกี่ยวกับสีจะศึกษาสีของถั่วงอกอบแห้งและถั่วงอกคืนรูป เนื่องจากในกระบวนการอบแห้งนั้นจะเกิดปฏิกิริยา(Browning) ซึ่งเป็นความเสียหายที่เกิดจากความร้อน ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ดีจึงไม่ควรมีสีคล้ำเปลี่ยนไปจากเดิมมากนัก เนื่องจากการเปลี่ยนสีในการเปรียบเทียบสีของถั่วงอกอบแห้งและถั่วงอกคืนรูป จะเทียบกับมาตรฐานสี Muncell Color Chart

3.3.2 ความคงตัว(Stability)

ในการศึกษาด้านความคงตัวของผลิตภัณฑ์ จะทำการศึกษาโดยการทิ้งถั่วงอกอบแห้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง สังเกตดูเชื้อราทุกๆ วันจนครบ 2 สัปดาห์ จากนั้นจึงนำไปคืนรูปเพื่อศึกษาลักษณะถั่วงอกคืนรูปหลังจากเก็บไว้ 2 สัปดาห์

3.3.3 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ (Water Activity)

ในกระบวนการอบแห้งจำเป็นต้องมีการวัดค่า Water Activity (a_w) เนื่องจากค่า a_w มีความสัมพันธ์กันกับเชื้อแบคทีเรีย ยีสต์และรา ดังนั้นจึงมีความสำคัญต่อการเก็บอาหาร ซึ่งค่า a_w วัดเป็นความชื้นสัมพัทธ์สมดุลคือเปอร์เซนต์ความชื้นสัมผัสบรรยากาศขณะที่ไม่การดูดซับหรือคายน้ำ เกิดขึ้น สำหรับในการศึกษาครั้งนี้จะทำการวัดค่าดังกล่าวโดยใช้ Water Activity Meter (รุ่นMB ยี่ห้อNovasina บริษัท Novasina AG, Switzerland)

3.3.4 การยอมรับในผลิตภัณฑ์ (Sensory Evaluation)

การศึกษาการยอมรับของผลิตภัณฑ์ ทำการวัดผลโดยใช้ประชากรกลุ่มตัวอย่างจำนวน 35 คน ทำการชิม โดยชิมถั่วงอกคืนรูปกับบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ให้กลุ่มตัวอย่างที่ชิมให้คะแนนลงในแบบสอบถาม โดยใช้ 9 Point Hedonic Scale และ 5 Point Hedonic Scale แล้วนำคะแนนที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) ดังสูตร

Copyright by Mahidol University

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยมหิดล

$$\overline{X} = \frac{\sum fx}{N} \text{ ----------(3.2)}$$

เมื่อ X = คาเฉลี่ยเลขคณิต

χ = ข้อมูล

N = จำนวนข้อมูล

f = ความถี่

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบกับผลผลิต

ในการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบกับผลผลิต หาได้โดยการนำถั่วงอกสด 2 กิโลกรัมไปผ่านการอบที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C จนได้ปริมาณความชื้นที่ต้องการ จึงนำไปชั่งหาน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้

3.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานของระบบอบแห้ง

พลังงานที่ใช้ในการอบวัดได้จาก Kilowatt Hour Meter แปลงเป็นค่าพลังงานความร้อน ดังสูตร

พลังงานความร้อน (MJ) = ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (kW) x เวลาที่ใช้ (h) x ประสิทธิภาพของเตาอบ (%) -----(3.3)
x แฟคเตอร์ในการเปลี่ยนรูปจากพลังงานไฟฟ้า (2.6)

3.6 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตถั่วงอกอบแห้งในระดับห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์หาต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้งในห้องปฏิบัติการ โดยทำการวิเคราะห์หาต้นทุนพลังงานและวัตุดิบที่ใช้ในการผลิตถั่วงอกอบแห้งทั้งหมด

3.7 การศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตถั่วงอกอบแห้ง

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เป็นแนวทางหรือองค์ประกอบเพื่อการตัดสินใจ โดยการรวบรวมข้อมูลของค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ที่ได้ในเชิงปริมาณเป็นจำนวนเงิน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายและรายรับในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งต้นทุนที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ

Copyright by Mahidol University

1 13448365

1) ต้นทุนคงที่(Fixed Cost) ได้แก่ ค่าเครื่องอบแห้ง และค่าที่ดิน

2) ต้นทุนผันแปร (Variable Cost) ได้แก่ ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าดูแลรักษาและค่าถั่วงอกสดที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต

สำหรับเกณฑ์การตัดสินใจมี 3 วิธี ดังนี้

1) มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

$$NPV = -[\ CF_0\ ] + \sum_{j=1} CFj\ (\ P/F,\ i\%,\ j) \text{ ---------- (3.4)}$$

เมื่อ NPV = มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ

CF_0 = กระแสเงินตั้งต้นมีค่าเป็นลบ (เป็นค่าใช้จ่ายในการลงทุน), บาท

CFj = ผลตอบแทนสุทธิ มักมีค่าเป็นบวก, บาท

P/F = ตัวประกอบลดค่า, เศษส่วนไร้หน่วย

i = อัตราดอกเบี้ย, เศษส่วนไร้หน่วย

n = อายุการใช้งาน, ปี

จากสมการจะเห็นว่า NPV มีค่าเป็นบวกเมื่อมูลค่าของผลตอบแทน Cfj มากกว่าจำนวนเงินที่ลงทุน [CF_0] กล่าวคือ การที่จะยอมรับว่าการลงทุนใด ๆ จะมีความคุ้มทางเศรษฐศาสตร์ก็ต่อเมื่อมีค่า NPV ต้องมีค่าเป็นบวกหรือศูนย์

2) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน (Benefit/Cost Ratio, BCR)

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{จากสูตร B/C Ratio} = \sum_{j=1}^{n=10} (B\text{-}O\&M)(\ P/F,\ i\%,\ j) \ /\ \text{Investment ------- (3.5)}$$

เมื่อ B/C Ratio = อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน , เศษส่วนไร้หน่วย

B = รายได้, บาท

0&M = เงินที่จ่ายระยะสั้นกว่า 1 ปี หรือค่าใช้จ่ายที่ไม่ใช่ทุน,บาท

Investment= เงินที่ลงทุนระยะยาวมากกว่า 1 ปี, บาท

จากสมการพบว่าโครงการที่จะได้รับการยอมรับ B/C Ratio จะต้องมากกว่า 1

Copyright by Mahidol University

3) ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Peroid, PBP)

ระยะเวลาการคืนทุนสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{สูตร } [\ CF_0\ ] = \sum_{j=1}^{PBP} CFj \quad \text{---------- (3.6)}$$

$$PBP = \frac{[\ CF_0]}{YCF}$$

เมื่อ PBP = ระยะเวลาที่ได้รับทุนคืน, ปี

$[\ CF_0\ ]$ = เงินลงทุนที่เริ่มต้น

YCF = ผลตอบแทนสุทธิในแต่ละปี(เฉลี่ย), บาท

จากสมการระยะเวลาคืนทุน (PBP) คือเวลาที่ต้องการเพื่อให้การลงทุนเริ่มต้นได้รับการคืนทุน โดยไม่คำนึงถึงค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา

Copyright by Mahidol University

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 ลักษณะผลิตภัณฑ์และปรากฏการณ์ของการอบแห้ง

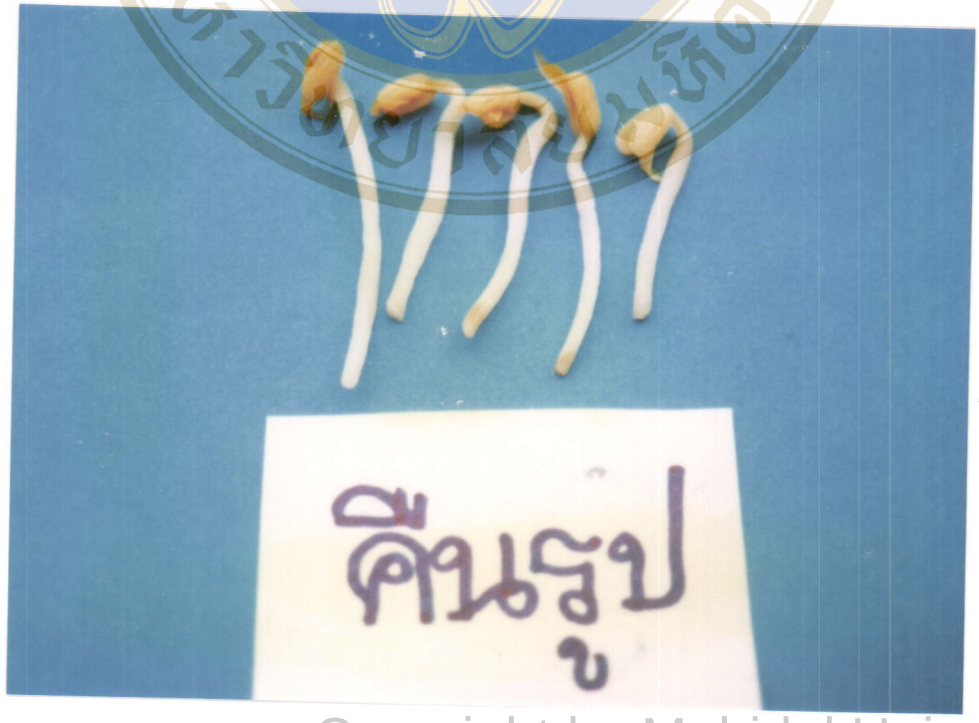
4.1.1 ลักษณะผลิตภัณฑ์ถั่วงอกอบแห้ง

เมื่อนำถั่วงอกสดไปทำการอบแห้ง โดยทำการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60 และ 70°C ที่ปริมาณความชื้นสุดท้าย 5-9 %wb พบว่าถั่วงอกที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 60°C ที่ความชื้นสุดท้าย 5 และ 8 %wb กับถั่วงอกที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 70°C ที่ความชื้นสุดท้าย 5 และ 8 %wb นั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่แตกต่างกันในด้านขนาดและรูปร่าง คือลักษณะลำต้นจะหงิกงอตลอดความยาว ลำต้นมีความกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร ความยาวประมาณ 3.5-4.0 เซนติเมตร ซึ่งลักษณะเปรียบเทียบระหว่างถั่วงอกก่อนอบและถั่วงอกอบแห้งแสดงดังภาพที่ 4-1 ถึง 4-3

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 4-1 ลักษณะถั่วงอกก่อนอบ

ภาพที่ 4-2 ลักษณะถั่วงอกอบแห้งที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 60°C



Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 4-3 ลักษณะถั่วงอกอบแห้งคืนรูปที่ผ่านอบด้วยอุณหภูมิ 60°C

4.1.2 ปรากฏการณ์ในการอบแห้ง

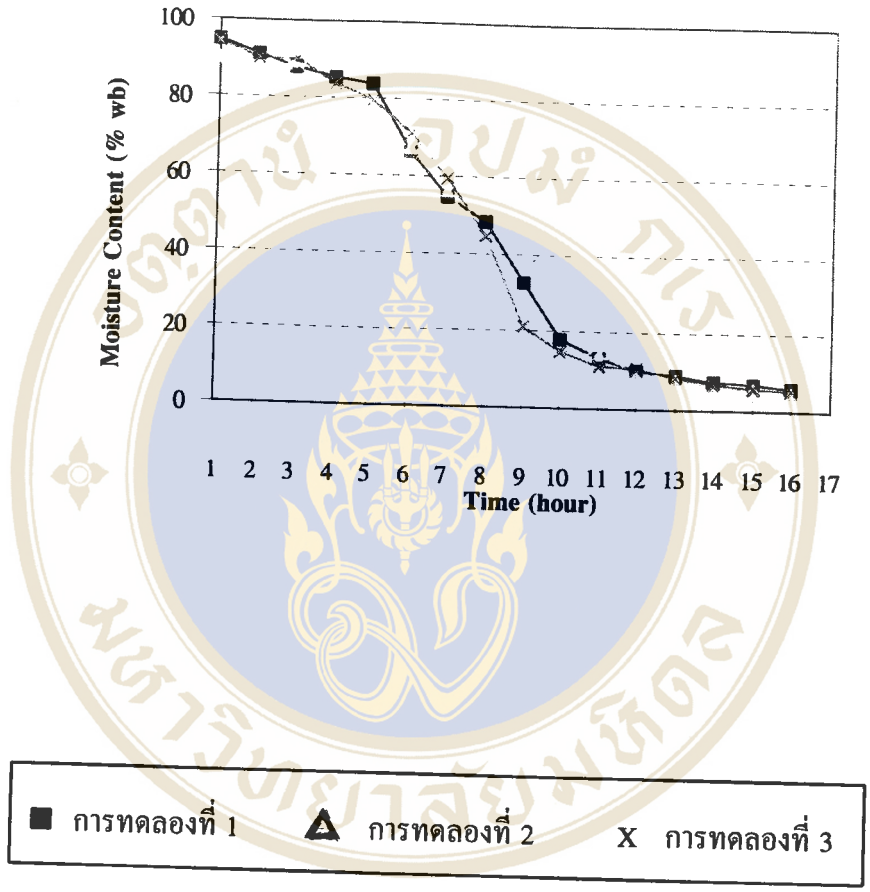
เมื่อนำถั่วงอกสดไปทำการอบแห้งโดยทำการอบที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C ทำการศึกษาปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการอบแห้งโดยพิจารณาจากปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนไปในช่วงระยะเวลาต่างๆซึ่งจากการอบถั่วงอกที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C พบว่า ในช่วง 3 ชั่วโมงแรกของการอบจะมีอัตราการระเหยของน้ำออกจากชิ้นของถั่วงอกน้อย ซึ่งถือว่าเป็นช่วงวอร์มอัพ(Warm Up) เนื่องจากในตอนแรกนั้นความชื้นจะถูกกำจัดออกไปโดยการระเหยจากผิวที่อิ่มตัว ต่อมาเมื่อผิวที่อิ่มตัวจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งเกิดการระเหยของน้ำ ซึ่งจากภาพ 4-4 และ 4-5 จะเห็นได้ว่าการระเหยของน้ำออกจากถั่วงอกประกอบด้วย 2 ช่วงคือ

ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Rate Period) ซึ่งเป็นช่วงที่มีอัตราการระเหยของน้ำเกิดขึ้น เป็นระยะที่ผิวหน้าของถั่วงอกสามารถรักษาระดับความชื้นพอที่จะให้ค่าความดันย่อยมีค่าเท่ากันกับความดันของน้ำที่อุณภูมิกระเปาะเปียก ซึ่งช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ในการอบถั่วงอกนั้นจะเกิดขึ้นประมาณ 7 ชั่วโมงติดต่อกัน หลังจากนั้นที่ปริมาณความชื้นที่จุดหนึ่ง ซึ่งเป็นจุดที่อัตราการอบแห้งเปลี่ยนแปลงจากคงที่เป็นอัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งเรียกว่าเป็นความชื้นวิกฤต ซึ่งถั่วงอกมีความชื้นวิกฤตที่ความชื้นประมาณร้อยละ 12-14 Wb

ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period) จะเกิดขึ้นหลังจากอัตราการอบแห้งลดลงจนถึงความชื้นวิกฤต กระบวนการอบแห้งจะเกิดขึ้นด้วยอัตราลดลงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในไม่เพียงพอต่อการระเหย อัตราการอบแห้งจึงลดลง

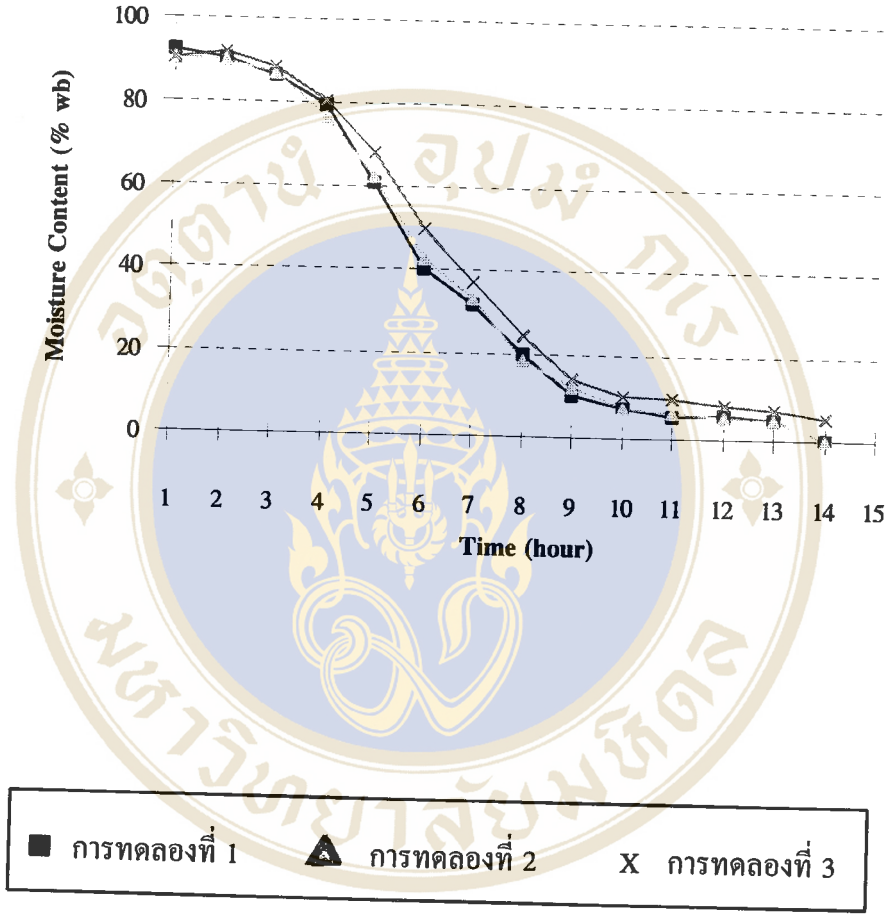
นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าปรากฏการณ์ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C นั้นจะมีลักษณะเดียวกัน จะแตกต่างกันคือที่อุณหภูมิสูงกว่าคือที่ 70°C จะใช้เวลาในการอบถั่วงอกให้ความชื้นตามต้องการได้เร็วกว่าการอบที่อุณหภูมิ 60 °C

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่อบแห้งของการอบด้วยอุณหภูมิ 60°C

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่อบแห้งของการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 70 °C

Copyright by Mahidol University

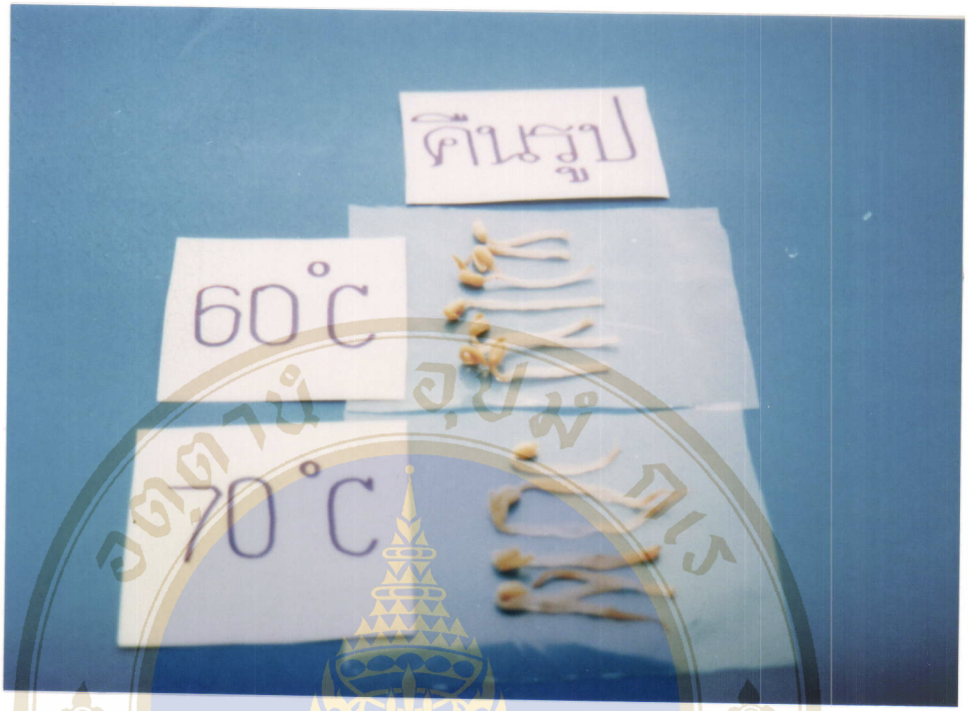
4.2 การคืนรูปถั่วงอกอบแห้ง

4.2.1 ลักษณะของถั่วงอกคืนรูป

เมื่อนำถั่วงอกอบแห้งตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 60°C ที่ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 5 และ 8 wb และอบด้วยอุณหภูมิ 70°C ที่ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 5 และ 8 wb เช่นกัน ทำการคืนรูปโดยการนำไปต้มในน้ำเดือด 4 นาที พบว่าถั่วงอกคืนรูปที่ได้จะมีลักษณะของลำต้นค่อนข้างตรงเหมือนถั่วงอกสดมีความกว้างลำต้นประมาณ 2.0-2.5 มิลลิเมตร ผิวของลำต้นจะมีรอยย่นเป็นร่องเล็กๆ ขนานไปกับลำต้น ถั่วงอกที่ทำการอบที่อุณหภูมิ 60°C จะมีลำต้นใหญ่และเหนียวกว่าถั่วงอกที่อบด้วยอุณหภูมิ 70°C เล็กน้อย และที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 8 wb เมื่อนำไปคืนรูปพบว่าจะมีขนาดของลำต้นใหญ่กว่าถั่วงอกที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 5 wb เล็กน้อย ถั่วงอกคืนรูปนี้จะมีความยาวของลำต้นประมาณ 3.8-4.3 มิลลิเมตร และในการศึกษาการคืนรูปพบว่าถ้าใช้เวลาในการต้มนานเกินกว่า 4 นาทีแล้ว ถั่วงอกคืนรูปที่ได้จะมีลำต้นใส เมื่อบีบจะมีลักษณะเปื่อย ลักษณะถั่วงอกคืนรูป และการเปรียบเทียบระหว่างถั่วงอกสด ถั่วงอกอบแห้งและถั่วงอกคืนรูปแสดงดังภาพที่ 4-6 ถึง 4-8

ภาพที่ 4-6 ลักษณะถั่วงอกอบแห้งเปรียบเทียบระหว่างการอบด้วยอุณหภูมิ 60 และ 70°C

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 4-7 ลักษณะการคืนรูปของถั่วงอกอบแห้งเปรียบเทียบระหว่างถั่วงอกที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 60 และ 70°C

ภาพที่ 4-8 ลักษณะเปรียบเทียบระหว่างถั่วงอกสด อบแห้งและคืนรูปของที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 70°C

Copyright by Mahidol University

4.2.2 อัตราการคืนรูปของถั่วงอกอบแห้ง

เมื่อนำถั่วงอกอบแห้งตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 60°C ที่มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 5 และ 8 wb และที่อุณหภูมิ 70°C ที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 5 และ 8 นำไปต้มในน้ำเดือด ทำการศึกษาอัตราการคืนรูปจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นในแต่ละนาที จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อนำถั่วงอกอบแห้งที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 60°C ที่ความชื้นร้อยละ 5 wb ไปคืนรูปโดยใช้เวลา 4 นาที ถั่วงอกคืนรูปที่ได้จะมีความชื้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 wb เป็นร้อยละ 53 wb คิดเป็นอัตราการคืนรูปร้อยละ 58 ส่วนถั่วงอกอบแห้งที่มีความชื้นร้อยละ 8 จะมีความชื้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 8 wb เป็นร้อยละ 62 wb ซึ่งถั่วงอกอบแห้ง 1 กิโลกรัม เมื่อนำไปคืนรูปจะได้ถั่วงอกคืนรูป 6.92 กิโลกรัม

สำหรับการคืนรูปของถั่วงอกที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 70°C ที่ความชื้นร้อยละ 5 และ 8 wb พบว่าที่ความชื้นร้อยละ 5 wb เมื่อนำไปคืนรูปจะมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 49 wb ซึ่งคิดเป็นอัตราการคืนรูปร้อยละ 54 และที่ความชื้นร้อยละ 8 wb เมื่อนำไปคืนรูปจะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 54 %wb คิดเป็นอัตราการคืนรูปร้อยละ 60 การคืนรูปถั่วงอกอบแห้งที่อบด้วยอุณหภูมิ 60 และ 70°C ความชื้นร้อยละ5 และ 8 แสดงดังตารางที่ 4-1 และ 4-2

ตารางที่ 4-1 อัตราการคืนรูปของถั่วงอกอบแห้งที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 60°C

ความชื้นเริ่มต้น (%wb)		ระยะเวลาการนำไปต้มในน้ำเดือด (นาที)			
		1	2	3	4
5	ความชื้น (%wb)	29	35	49	53
	อัตราการคืนรูป (%)	32	39	54	58
8	ความชื้น (%wb)	34	46	58	62
	อัตราการคืนรูป (%)	38	51	64	69

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 4-2 อัตราการคืนรูปของถั่วงอกอบแห้งที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 70°C

ความชื้นเริ่มต้น (%wb)		ระยะเวลาการนำไปต้มในน้ำเดือด (นาที)			
		1	2	3	4
5	ความชื้น (%wb)	21	28	36	39
	อัตราการคืนรูป (%)	23	31	40	54
8	ความชื้น (%wb)	28	36	41	53
	อัตราการคืนรูป (%)	31	40	46	60

4.3 คุณภาพของถั่วงอกอบแห้ง

4.3.1 สี(Color)

ในการศึกษาด้านสีของผลิตภัณฑ์โดยการนำไปเทียบกับมาตรฐานระบบ Muncell Color Chart พบว่าถั่วงอกอบแห้งที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 60°C ความชื้นร้อยละ 5 และ 8 wb จะมีสีในระบบ Muncell Color Chart เป็น 10 YR 8/4 (Very Pale Brown) ส่วนที่ถั่วงอกอบแห้งที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 70°C จะมีสีเข้มกว่าเล็กน้อยคือ 10 YR 8/5 (Yellow) การที่ถั่วงอกที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 70 °C จะมีสีเข้มกว่าที่อุณหภูมิ 60°C นั้นเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลให้น้ำตาลที่มีอยู่ในถั่วงอกได้รับความร้อนมากกว่าจึงทำให้เกิดสีน้ำตาลได้มากกว่า

ส่วนสีของถั่วงอกคืนรูป พบว่าถั่วงอกคืนรูปที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 60°C ความชื้นเริ่มต้นของการคืนรูปร้อยละ 5 และ 8 wb จะมีสีเป็น 5 YR 8/1(White) ส่วนถั่วงอกที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 70°C จะมีสี 2.5 Y 8/1 (Pinkish White)

Copyright by Mahidol University

4.3.2 ความคงตัว(Stability)

ในการศึกษาความคงตัวของถั่วงอกอบแห้ง โดยการตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 สัปดาห์สังเกตเชื้อราทุกๆ วัน พบว่าถั่วงอกอบแห้งที่ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ความชื้นสัมพัทธ์ 40-60) นั้นไม่มีราเกิดขึ้น แต่สีของถั่วงอกอบแห้งที่ทำการอบด้วยอุณหภูมิ 60°C จะเปลี่ยนเป็นสีเข้มขึ้นจากสี 10YR 8/4 (Very Pale Brown) เป็น 10YR 8/5(Yellow) ส่วนถั่วงอกที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 70°C ก็มีสีเข้มขึ้นอีกเล็กน้อยเช่นกันคือจากสี 10 YR 8/5(Yellow) เป็น 10 YR 8/6(Yellow) แต่ไม่มีผลต่ออัตราการคืนรูป แสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 อัตราการคืนรูปของถั่วงอกอบแห้งที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 60°C เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 สัปดาห์

ความชื้นเริ่มต้น (% wb)		ระยะเวลาการนำไปต้มในน้ำเดือด(นาที)							
		อบด้วยอุณหภูมิ60°C				อบด้วยอุณหภูมิ 70°C			
		1	2	3	4	1	2	3	4
5	ความชื้น(%wb)	29	35	49	53	21	28	36	39
	อัตราการคืนรูป(%)	32	39	54	58	23	31	40	54
8	ความชื้น(%)	34	46	58	62	28	36	40	54
	อัตราการคืนรูป(%)	38	51	64	69	31	40	46	60

4.3.3 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (Water Activity)

ในการศึกษาหาค่า a_w โดยการนำถั่วงอกอบแห้งที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 60 °C ความชื้นร้อยละ 8 wb จากผลการศึกษาพบว่าถั่วงอกอบแห้งดังกล่าวมีค่า a_w เป็น 0.34 และเมื่อนำถั่วงอกอบแห้งตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่าถั่วงอกอบแห้งดังกล่าวมีค่า a_w เพิ่มขึ้นเป็น 0.39 ซึ่ง a_w ทั้งสองจะมีค่าต่ำกว่าที่เชื้อแบคทีเรีย ยีสต์ และรา จะสามารถ เจริญได้

Copyright by Mahidol University

4.3.4 ประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)

ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อศึกษาการยอมรับในผลิตภัณฑ์ของผู้ทดสอบโดยมีคะแนนเต็ม 9 (9 Point Hedonic Scale)พบว่าคะแนนเฉลี่ยของความชอบเมื่อได้เห็นผลิตภัณฑ์จะอยู่ในระดับ 6.5 คือผู้ชิมมีความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง และเมื่อผู้ชิมได้ชิมรสชาติพบว่าคะแนนเฉลี่ยของความชอบจะเพิ่มขึ้นเป็น 7.4 คือมีความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงมาก สำหรับการทดสอบความยอมรับทางด้านสี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อ โดยมีคะแนนเต็ม 5 (5 Point Hedonic Scale) พบว่ามีคะแนนเฉลี่ยเป็น 3.1, 3.6 และ 4.0 ตามลำดับแสดงว่าผู้ทดสอบมีความชอบลักษณะเนื้อของผลิตภัณฑ์มากกว่าสีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์

สำหรับทางด้านคุณค่าทางโภชนาการนั้นเนื่องจากถั่วงอกไม่มีความเด่นในด้านสารอาหารประเภทใดเป็นหลัก ในการศึกษาครั้งนี้จึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ที่ได้ อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาที่ผ่าน ๆ มาพบว่าในกระบวนการอบแห้งผักและผลไม้นั้นโดยทั่วไปสารอาหารที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดคือวิตะมินซี ซึ่งอาจเกิดการสูญเสียถึงร้อยละ 40 ส่วนสารอาหารประเภทอื่นจะถูกทำลายไปประมาณร้อยละ 20 (Luh B. S. and Woodroof J.G.,1975)

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบกับผลผลิต

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบกับผลผลิตที่ได้นั้น จากการศึกษาโดยใช้ถั่วงอกสด 2 กิโลกรัม ไปผ่านกระบวนการอบที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C จนได้ปริมาณความชื้นร้อยละ 5 wb ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าที่ปริมาณความชื้นสุดท้ายร้อยละ 5 wb ที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 60 และ 70°C จะได้ผลิตภัณฑ์ถั่วงอกอบแห้งประมาณ 280-290 กรัม หรือได้ผลิตภัณฑ์ประมาณร้อยละ 14

สำหรับการอบถั่วงอกที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C ที่ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 8 wb ซึ่งจะได้ปริมาณถั่วงอกอบแห้งประมาณ 330-340 กรัม หรือได้ผลิตภัณฑ์คิดเป็นร้อยละ 17 ของถั่วงอกสด ดังตารางที่ 4-4

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้อบ ปริมาณความชื้นสุดท้ายต่อปริมาณถั่วงอกอบแห้งที่ได้ (ถั่วงอกสด 2 กิโลกรัม)

อุณหภูมิที่ใช้อบ (°C)	ปริมาณความชื้นสุดท้าย ของถั่วงอกอบแห้ง (%wb)	ปริมาณที่ถั่วงอก อบแห้งที่ได้ (kg)
60	5	0.28
	8	0.33
70	5	0.29
	8	0.34

4.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานของระบบอบแห้ง

จากผลการทดลองอบแห้งถั่วงอกน้ำหนัก 2 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C พบว่าที่อุณหภูมิ 60°C ปริมาณความชื้นสุดท้ายของถั่วงอกร้อยละ 5 wb จะใช้เวลาในการอบทั้งสิ้น 15 ชั่วโมง สามารถระเหยน้ำออกจากถั่วงอกได้ 1.72 กิโลกรัม ได้ถั่วงอกอบแห้งประมาณ 280 กรัม ซึ่งการอบในสภาวะดังกล่าวจะใช้พลังงานทั้งสิ้น 133.0 MJ/kg H_2O_{evap} ส่วนที่ปริมาณความชื้นสุดท้ายร้อยละ 8 wb จะใช้เวลาในการอบ 12 ชั่วโมง สามารถระเหยน้ำออกจากถั่วงอกได้ 1.67 กิโลกรัม ได้ผลิตภัณฑ์ถั่วงอกอบแห้งประมาณ 330 กรัม ใช้พลังงานความร้อนในการอบ 106.0 MJ/kg H_2O_{evap}

สำหรับถั่วงอกที่อบด้วยอุณหภูมิ 70°C ที่ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 5 wb จะใช้เวลาในการอบ 13 ชั่วโมง สามารถระเหยน้ำออกจากถั่วงอก 1.70 กิโลกรัม ได้ถั่วงอกอบแห้ง 290 กรัม การอบดังกล่าวจะใช้พลังงานความร้อน 115.3 MJ/kg H_2O_{evap} ส่วนที่ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 8 wb จะใช้เวลาในการอบ 10 ชั่วโมง สามารถระเหยน้ำออกจากถั่วงอกได้ 1.66 กิโลกรัม ได้ผลิตภัณฑ์ถั่วงอกอบแห้ง 340 กรัม ใช้พลังงานความร้อนในการอบ 88.7 MJ/kg H_2O_{evap} ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้น เวลาและพลังงานที่ใช้แสดงดังตารางที่ 4-5

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้น เวลาและพลังงานที่ใช้

อุณหภูมิที่ใช้อบ ($^{\circ}C$)	ปริมาณความชื้นสุดท้าย (% wb)	เวลาที่ใช้ (h)	พลังงานความร้อนที่ใช้ MJ/kg H_2O_{evap}
60	5	15	133.0
	8	12	106.0
70	5	13	115.3
	8	10	88.73

4.6 ต้นทุนในการผลิตถั่วงอกอบแห้งในห้องปฏิบัติการ

ในการดำเนินการผลิตถั่วงอกอบแห้งในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด(Tray Dryer) พบว่า เมื่อนำถั่วงอกสด 2 กิโลกรัมซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมกับขนาดของเตาอบ ดำเนินการอบที่อุณหภูมิ 60 $^{\circ}C$ ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 92 wb จนมีความชื้นสุดท้าย 8 wb ซึ่งจะใช้เวลาในการอบ 12 ชั่วโมง จะใช้พลังงานไฟฟ้า 7.11 กิโลวัตต์ ซึ่งถั่วงอกอบแห้งดังกล่าวจะมีต้นทุนการผลิต 92 บาท/กิโลกรัมถั่วงอกอบแห้ง

4.7 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตถั่วงอกอบแห้ง

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์(การลงทุน) ของการผลิตถั่วงอกอบแห้งโดยใช้วิธีวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์(Net Present Value, NPV) และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน(Benefit/Cost Ratio, BCR) และระยะเวลาคืนทุน(Payback Period, PBP)

Copyright by Mahidol University

ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้

1) รายจ่าย(การลงทุน) หมายถึงมูลค่าการลงทุนในปีแรก

1.1) ต้นทุนคงที่(Fixed Cost) ประกอบด้วย

เครื่องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการผลิตอบถั่วงอก จะใช้โรงอบแห้งตามแบบของมูลนิธิชัยพัฒนา ซึ่งใช้ในการอบพริกชี้ฟ้าแดงแห้ง กระเทียมแห้งและผลไม้แห้ง เป็นต้น ซึ่งจะมีลักษณะเป็นโรงอบขนาด 95 ตารางเมตร ใช้พลังงานไฟฟ้า สามารถทำงานได้ 24 ชั่วโมง โดยมีระบบควบคุมอุณหภูมิในห้องอบแห้งได้คงที่ตามต้องการ ภายในประกอบด้วยขดลวดไฟฟ้าขนาด 4.80 Kw-h จำนวน 4 ตัว สำหรับให้ความร้อนแก่อากาศที่ใช้ในการอบแห้ง อากาศไหลภายในห้องอบแห้งเป็นแบบบังคับโดยใช้พัดลมขนาด 1.30 Kw-h จำนวน 2 ตัว มีระบบหมุนเวียนอากาศที่ผ่านการอบแห้งกลับมาใช้ใหม่โดยใช้วาล์วปีกผีเสื้อในการปรับอัตราส่วนของอากาศ ภายในห้องอบแห้งจะมีชั้นวางตะแกรง 20 ชั้น แต่ละชั้นประกอบจะวางตะแกรงจำนวน 8 ตะแกรง ซึ่งขนาดพื้นที่ตะแกรงดังกล่าวจะใช้อบถั่วงอกสดได้ครั้งละ 300 กิโลกรัมและได้เป็นถั่วงอกอบแห้งครั้งละ 50 กิโลกรัม หรือ 100 กิโลกรัม/วัน ซึ่งคิดเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วงอกอบแห้ง 30,000 กิโลกรัม/ปี สำหรับเงินลงทุนของโรงอบแห้งคือ 887,250 บาท สร้างเมื่อปี พ.ศ. 2536 ปรับราคา ณ ปี พ.ศ. 2540 โดยคิดอัตราเงินเฟ้อร้อยละ 4 จะได้เงินลงทุนสร้างโรงอบแห้งคือ 1,061,957.00 บาท

ที่ดิน

ที่ดินสำหรับใช้สร้างโรงอบแห้งและพื้นที่ใช้สอย ตลอดจนใช้เก็บผลิตภัณฑ์ถั่วงอกอบแห้ง จะใช้พื้นที่ประมาณ 160 ตารางวา จากการประเมินที่ดินราคาของ อ. เมือง จ. นครปฐม ของกรมที่ดิน พ.ศ. 2539 ได้ประเมินไว้ตารางวาละ 1,700 บาท ราคาดังกล่าวนำมาคูณด้วยอัตราการเพิ่มมูลค่าที่ดินอยู่ระหว่างร้อยละ 12 บาท/ปี ดังนั้นพื้นที่บริเวณดังกล่าวคิดเป็นราคาในแต่ละปีประมาณ 32,640.00 บาท

1.2) ต้นทุนผันแปร(Variable Cost) ประกอบด้วย

แรงงาน

โดยปกติต้นทุนแรงงานจะเป็นค่าจ้างแรงงาน(คน) ซึ่งจะคิดตามแรงงานขั้นต่ำของกรมแรงงาน พ.ศ. 2540 คือ 157 บาท/วัน หรือ 19.60 บาท/ชั่วโมง แต่เนื่องจากในการผลิตถั่วงอกอบแห้งนั้นต้องใช้เวลาในการอบทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง/ครั้ง ดังนั้นจึงคิดค่าแรงงานเป็น 235.44 บาท/คน ซึ่งในการผลิตจะใช้

Copyright by Mahidol University

แรงงานในการผลิต 4 คน แบ่งเป็นกลางวัน 2 คนและกลางคืนอีก 2 คน ดังนั้นรวมค่าแรงงานคือ 941.76 บาท/วัน โดยทำการอบ 300 วัน/ปี ดังนั้นคิดเป็นค่าแรงงาน 282,528 บาท/ปี

การบำรุงดูแลรักษา

ค่าบำรุงรักษาจะคิดเฉลี่ยเท่ากันทุก ๆ ปี คือคิดเป็นร้อยละ 5 ของราคาเครื่องอบแห้ง ซึ่งคิดเป็น 51,897.85 บาท/ปี

ค่าไฟฟ้า

อุปกรณ์ที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวดไฟฟ้าขนาด 4.8 Kw-h จำนวน 4 ตัว และ พัดลมขนาด 2.6 Kw-h จำนวน 1 ตัว ใช้ไฟฟ้ารวม 21.8 Kw-h สำหรับกิจการขนาดเล็กกำหนดให้คิดค่าพลังงานไฟฟ้าหน่วยละ 1.68 บาท ซึ่งคิดเป็นเงิน 263,692.8 บาท/ปี

2) รายรับ หมายถึงมูลค่าถั่วงอกอบแห้ง

ในการผลิตถั่วงอกอบแห้งในระดับอุตสาหกรรม โดยมีสมมุติฐานการผลิตดังที่กล่าวมาแล้ว พบว่ามีความสามารถในการผลิตถั่วงอกอบแห้ง 30,000 กิโลกรัม/ปี โดยมีต้นทุนในการผลิต 2128118.65 บาท/ปี ดังนั้นถั่วงอกอบแห้งจึงมีต้นทุนการผลิต 70.93 บาท/กิโลกรัม เนื่องจากถั่วงอกอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตร ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดกำไรประมาณร้อยละ 15 และราคาเน่าเสียร้อยละ 10 ดังนั้นราคาขายของผลิตภัณฑ์ถั่วงอกอบแห้งคือ 89.00 บาท/กิโลกรัม ดังนั้นมูลค่าของถั่วงอกอบแห้งที่หักลดค่าเน่าเสียแล้วจึงมีมูลค่า 2,447,117.79 บาท/ปี (รายละเอียดแสดงดังตาราง 4-6 หน้า 52)

3) การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

3.1) มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

$$\text{จากสูตร } NPV = -[CF_0] + \sum_{j=1} CFj \ (P/F, i\%, j) \text{ ---------- (4.1)}$$

เมื่อ NPV = มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิ

CF_0 = กระแสเงินตั้งต้นมีค่าเป็นลบ (เป็นค่าใช้จ่ายในการลงทุน), บาท

CFj = ผลตอบแทนสุทธิ มักมีค่าเป็นบวก, บาท

P/F = ตัวประกอบลดค่า, เศษส่วนไร้หน่วย

Copyright by Mahidol University

i = อัตราดอกเบี้ย, เศษส่วนไร้หน่วย

n = อายุการใช้งาน, ปี

ถ้า NPV มีค่าเป็นบวกหรือเป็นศูนย์ถือว่าควรลงทุน ถ้าเป็นลบไม่ควรลงทุน คำนวณได้ดังนี้

$$\sum_{j=1}^{n=10} CFj\ (P/F, i\%, j) = 318981.35(0.8929)+318981.35(0.7972+318981.35(0.7118)+ 318981.35(0.6355)+318981.35(0.5674)+318981.35(5066)+ 318981.35(0.4523)+318981.35(0.4039)+318981.35(0.3606)+ 318981.35(0.3220)$$

$$= 1802308.37$$

$$-[CF_0] = -[1388357.00]$$

$$NPV = -[1388357.00] + 1802308.37$$

$$= \mathbf{+\ 413,951.37}\ \text{บาท}$$

3.2) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน (Benefit/Cost Ratio, BCR)

จากสูตร $B/C\ Ratio = \sum_{j=1}^{n=10} (B\text{-}O\&M)(P/F, i\%, j) / Investment$ ------- (4.2)

เมื่อ B/C Ratio = อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน , เศษส่วนไร้หน่วย

B = รายได้, บาท

0&M = เงินที่จ่ายระยะสั้นกว่า 1 ปี หรือค่าใช้จ่ายที่ไม่ใช่ทุน,บาท

Investment= เงินที่ลงทุนระยะยาวมากกว่า 1 ปี, บาท

ถ้า B/C Ratio มากกว่าหรือเท่ากับ 1 ควรลงทุน แต่ถ้าน้อยกว่า 1 ไม่ควรลงทุน คำนวณดังนี้

Copyright by Mahidol University

$$\sum_{j=1}^{n=10} (B\text{-}O\&M)(P/F,i\%, j) = 318981.35(0.8929)+318981.35(0.7972)+318981.35(0.7118)+$$
$$318981.35(0.6355)+318981.35(0.5674)+318981.35(5066)+$$
$$318981.35(0.4523)+318981.35(0.4039)+318981.35(0.3606)+$$
$$318981.35(0.3220)$$

B&C Ratio = 1802308.37/1388357.00

= **1.29**

3) ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Peroid, PBP)

จากสูตร $[CF_0] = \sum_{j=1}^{PBP} CFj$ ---------- (4.3)

$$PBP = \frac{[CF_0]}{YCF}$$

เมื่อ PBP = ระยะเวลาที่ได้รับทุนคืน, ปี

$[CF_0]$ = เงินลงทุนที่เริ่มต้น

YCF = ผลตอบแทนสุทธิในแต่ละปี(เฉลี่ย), บาท

คำนวณดังนี้

$[CF_0]$ คือ $\sum_{j=1}^{PBP} CFj = CF_1 + CF_2 + CF_3$

3 ปีแรก = 956944.05

4 ปีแรก = 1275925.40

PBP = 3+ [740351.37-9596944.05/1275925.4-956944.05](4-3)

= **2.33** ปี

จากการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตถั่วงอกอบแห้งพบว่ามีมูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิเป็น (NPV) +413,951.37 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน (B&C Ratio) เป็น 1.29 และมีระยะเวลาคืนทุน(PBP) 2.33 ปี

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 4-6 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ในการผลิตถั่วงอกอบแห้ง

รายจ่าย	ปีที่ 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 โรงอบแห้ง	1061957.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2 ที่ดิน	326400.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2 ไฟฟ้า	0.00	263692.8	263692.8	263692.8	263692.8	263692.8	263692.8	263692.8	263692.8	263692.8	263692.8
3 แรงงาน	0.00	282528.0	282528.0	282528.0	282528.0	282528.0	282528.0	282528.0	282528.0	282528.0	282528.0
4 ดูแลรักษา	0.00	51897.85	51897.85	51897.85	51897.85	51897.85	51897.85	518797.8	51897.85	51897.85	51897.85
5 ถั่วงอกสด	0.00	1530000.	1530000.	1530000.	1530000.	1530000.	1530000.	1530000.	1530000.	1530000.	1530000.
รวมรายจ่าย	1388357.	2128118.	2128118.	2128118.	2128118.	2128118.	2128118.	2128118.	2128118.	2128118.	2128118.
รายรับ	ปีที่ 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.ค่าผลผลิต	0.00	2447117.	2447117.	2447117.	2447117.	2447117.	2447117.	2447117.	2447117.	2447117.	2447117.
2.ค่าซาก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวมรายรับ	0.00	2447117.	2447117.	2447117.	2447117.	2447117.	2447117.	2447117.	2447117.	2447117.	2447117.
รับจ่ายสุทธิ	1388357.	318981.3	318981.3	318981.3	318981.3	318981.3	318981.3	318981.3	318981.3	318981.3	318981.3
ค่าปัจจุบัน	1388357.	284818.4	254291.9	227050.9	202712.6	180990.0	161595.9	144275.2	128836.5	115024.6	102711.9
NPV	**+413951.**										
BCR	**1.29**										
PBP	**2.33 ปี**										

Copyright© by Chiang Mai University

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้เบื้องต้นในการผลิตถั่วงอกอบแห้ง โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Dryer) ทำการอบถั่วงอกที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 1 กิโลกรัม ที่ความชื้นร้อยละ 93 wb จนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่าร้อยละ 10 wb จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อการอบแห้งถั่วงอก

ก. อุณหภูมิ

ในการศึกษาการอบแห้งพบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสูงสุดต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาจาก

- ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60° C ตลอดการทดลองจะได้ถั่วงอกอบแห้งที่มีสีใกล้เคียงกับถั่วงอกสดมากที่สุด เมื่อนำถั่วงอกอบแห้งดังกล่าวไปทำการคืนรูป จะได้ถั่วงอกอบแห้งคืนรูปที่มีลำต้นแข็งแรง ยังคงมีความกรอบอยู่ และมีสีใกล้เคียงถั่วงอกสด
- ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70° C ตลอดการทดลองจะได้ถั่วงอกอบแห้งที่มีสีเข้มกว่าการอบด้วยอุณหภูมิ 60° C เมื่อนำไปทำการคืนรูปจะได้ถั่วงอกอบคืนรูปที่มีลักษณะไม่ดีนักคือมีสีเหลืองอ่อนอมเทา ลำต้นจะใสและเปื่อยยุ่ย

ข. ความชื้น

จากการศึกษาพบว่าความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กันกับอัตราการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ดังนี้

- ที่ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 5 wb พบว่าถั่วงอกอบแห้งที่ได้เมื่อนำไปคืนรูปจะมีอัตราการคืนรูปต่ำกว่าที่ความชื้นร้อยละ 8 wb กล่าวคือในกรณีที่ทำการอบด้วยอุณหภูมิ 60° C ที่ความชื้นร้อยละ 5 wb จะมีอัตราการคืนรูปร้อยละ 58 สำหรับถั่วงอกที่ทำการอบด้วยอุณหภูมิ 70° C ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 5 wb เช่นกันจะมีอัตราการคืนรูปคิดเป็นร้อยละ 54
- ที่ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 8 wb พบว่าถั่วงอกอบแห้งที่ทำการอบด้วยอุณหภูมิ 60 ° C เมื่อนำไปคืนรูปจะมีอัตราการคืนรูปร้อยละ 69 ซึ่งเป็นอัตราการคืนรูปสูงสุดและได้ผลิตภัณฑ์ถั่วงอกอบแห้ง

Copyright by Mahidol University

คืนรูปที่มีลักษณะดี ส่วนที่ทำการอบด้วยอุณหภูมิ 70° C จะมีอัตราการคืนรูปร้อยละ 60 แต่ถั่วงอกคืนรูปที่ได้จะมีลำต้นที่มีลักษณะเปื่อย

ค. ระยะเวลาในการอบแห้ง

ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งถั่วงอกที่เหมาะสมคือ 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60° C ถั่วงอกอบแห้งที่ได้จะมีลักษณะดีคือมีสีใกล้เคียงกับถั่วงอกสด และมีอัตราคืนรูปดีที่สุด

5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบกับผลผลิตที่ได้

จากผลการศึกษาโดยใช้ถั่วงอกสด 2 กิโลกรัม ทำการอบพบว่าถั่วงอกที่มีคุณภาพดีที่สุด(ทำการอบด้วยอุณหภูมิ 60° C ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 8 wb) จะได้ถั่วงอกอบแห้งประมาณ 330 กรัม ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 17 ของถั่วงอกสด

5.1.3 ความสิ้นเปลืองพลังงาน

จากผลการศึกษาพบว่าถั่วงอกอบแห้งที่มีคุณภาพดี (อบด้วยอุณหภูมิ 60° C ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 8 wb) ซึ่งการอบในสภาวะดังกล่าวจะใช้พลังงานไฟฟ้า 14.22 kW/Batch หรือคิดเป็นพลังงานความร้อนที่ใช้อบ 133.00 MJ/kg H_2O_{evap}

5.1.4 คุณภาพของถั่วงอกอบแห้ง

ก. สี(Color)

ผลิตภัณฑ์ถั่วงอกอบแห้งที่ได้ จะมีสีในระบบ Muncell Color Chart เป็น 10 YR 8/4 (Very Pale Brown) เมื่อนำไปคืนรูปเป็นถั่วงอกอบแห้งคืนรูปจะเป็นสี 5Y 8/1(White)

ข. ความคงตัว(Stability)

เมื่อเก็บถั่วงอกอบแห้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 สัปดาห์ พบว่าสีของถั่วงอกจะเข้มขึ้นกว่าเดิม แต่ไม่มีผลต่อการคืนรูปของผลิตภัณฑ์

ค. ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (Water Activity, a_w)

จากการศึกษาพบว่าถั่วงอกอบแห้งมีค่า a_w เป็น 0.34 เมื่อทิ้งไว้ 2 สัปดาห์จะมีค่า a_w เพิ่มขึ้นเป็น 0.39 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าที่จุลินทรีย์จะเจริญได้ดังนั้นจึงปลอดภัยต่อการบริโภค

Copyright by Mahidol University

ง. การทดสอบทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)

จากการทดสอบความยอมรับของผลิตภัณฑ์โดยใช้กลุ่มตัวอย่างทำการชิม โดยมีคะแนนเต็ม 9 พบว่าจะมีคะแนนความชอบอยู่ในระดับ 7.4 ซึ่งหมายถึงมีความชอบระหว่างปานกลางถึงชอบมาก

5.1.5 ต้นทุนการผลิตในห้องปฏิบัติการ และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตถั่วงอกอบแห้ง

จากการวิเคราะห์ต้นทุนในห้องปฏิบัติการพบว่าถั่วงอกอบแห้งมีต้นทุน 92 บาท/กิโลกรัม(ไม่คิดค่าเครื่องอบแห้ง) และในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์(การลงทุน)โดยพิจารณาตามเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสม ซึ่งกำหนดอายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง 10 ปี พบว่าถั่วงอกอบแห้งดังกล่าวมีต้นทุนในการผลิต 70.93 บาท โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV) เป็น +740351.37 บาท โดยมีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน(BCR) 1.69 และมีระยะเวลาคืนทุน(PBP) 2.33 ปี

นอกจากนี้ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถั่วงอกอบแห้งพบว่า ผลิตภัณฑ์ถั่วอกอบแห้งที่ได้นั้นไม่เหมาะที่จะนำไปบรรจุในซองบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปโดยทั่วไป เนื่องจากมีอัตราการคืนรูปช้ากว่าเส้นของบะหมี่ แต่จะสามารถบรรจุในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่ต้องทำการต้ม เนื่องจากถั่วงอกจะคืนรูปได้ดีและเร็วในน้ำเดือด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

1) ในการทำอบแห้งนั้น การนำถั่วงอกใส่ในเตาอบ ควรเกลี่ยถั่วงอกที่ต้องการอบให้กระจายให้มากที่สุด เพราะถ้าถั่วงอกเกาะกันเป็นก้อนแล้วทำให้เวลาในการอบนานขึ้น และถั่วงอกอบแห้งที่ได้จะมีความชื้นไม่สม่ำเสมอ

2) ในการทดสอบด้านประสาทสัมผัส โดยการให้ผู้ทดสอบทำการชิมถั่วงอกอบแห้งคืนรูปกับบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการชิมกับบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปรสเป็ดตุ๋นซึ่งมีน้ำซุปสีน้ำตาลเข้ม และน้ำซุปดังกล่าวจะซึมเข้าไปในลำต้นของถั่วงอก ทำให้ถั่วงอกมีสีไม่สวยงาม ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความชอบทางด้านสีของถั่วงอกอบแห้งคืนรูปต่ำ

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาเพิ่มเติม

1) ผู้วิจัยมีข้อคิดเห็นว่าถั่วงอกอบแห้งคืนรูปนั้นน่าจะสามารถนำไปประกอบอาหารประเภทอื่น ๆ ได้ ดังนั้นน่าจะมีการศึกษาเพิ่มเติมว่าถั่วงอกอบแห้งคืนรูปสามารถจะนำไปประกอบอาหารชนิดใดได้บ้าง

Copyright by Mahidol University

2)ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วงอกอบแห้งในด้านอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ด้วย

3) ถ้าโรงงานมีความต้องการที่จะผลิตถั่วงอกอบแห้ง 1 ตัน/วัน แล้วในระยะเวลา 1 ปีจะต้องใช้ถั่วงอกสดทั้งสิ้น 1,801,800 กิโลกรัม ซึ่งคิดเป็นปริมาณถั่วเขียวที่ใช้ในการผลิตรวม 257,400 กิโลกรัม ทำให้เกษตรกรสามารถเพิ่มพื้นที่ในการปลูกถั่วเขียว 1,120 ไร่/ปี ซึ่งจะเป็นการสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร เป็นการพัฒนาคุณภาพชีวิต(Quality Of Life) ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักในการพัฒนาประเทศ

Copyright by Mahidol University

บรรณานุกรม

เจริญขวัญ วนะบดีนิมิตร. *เครื่องอบแห้ง*. รายงานวิชาปัญหาพิเศษ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีประจอมเกล้าพระจอมเกล้าธนบุรี, 2533 : 45 หน้า.

ป. ประมณฑ์ปัญญา. *บทบาทของถั่วงอกในวงการอาหาร*. นิตยสารชาวเกษตร. 2528. ปีที่ 4, ฉบับที่ 47:3-5.

ดวงจันทร์ ดวงพัตรา. *เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์*. กลุ่มหนังสือเกษตร. กรุงเทพ, 2531: 210 หน้า

ธงไชย ศรีนพคุณ. *สมการการอบแห้งและแบบจำลองความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2530 :125 หน้า.

พัชรี โสธนาสมบูรณ์. *การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีระหว่างการงอกของถั่วเขียว*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ, 2531: 79 หน้า.

ไพโรจน์ วิริยะจารี. *การวางแผนและการวิเคราะห์ด้านประสาทสัมผัส*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2535 : 35-40.

วุฒิชัย นาครักษา. *การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของพันธุ์ถั่วเขียวที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ, 2526 : 82 หน้า.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. *สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์*. กลุ่มหนังสือเกษตร. กรุงเทพ, 2537 : 213 หน้า.

วันชัย ริจิรวนิช และ ชอุ่ม พลอยมีค่า. *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535 : 45-75

สมชาย เปรมประภาวัติ. *การใช้ประโยชน์จากถั่วเขียว*. เอกสารประกอบการอบรมวิชาชีพประชาชนภาคฤดูร้อน. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ, 2523 : 62 หน้า.

สมสุข ศรีจักรวาฬ. *ถั่วงอกโปรตีนจากพืช*. นิตยสารกสิกร. 2528 ; ปีที่ 58, ฉบับที่ 4 : 329-332

ศิวะ อัจฉริยะวิริยะ และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. *การศึกษาหาพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับวิเคราะห์การอบแห้งมะละกอแช่อิ่ม*. การประชุมทางวิชาการเรื่อง เครื่องมือและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม. เชียงใหม่, 2531 : 34-35.

ศิวะ อัจฉริยะวิริยะ และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. *การศึกษาหาพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยน้ำว้า*. วิศวกรรมสาร. 2532 ; ปีที่ 9, ฉบับที่ 4 : 80.

อรอนงค์ นัยวิกุล. *การแปรรูปและคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์จากถั่วเขียว*. วารสารอุตสาหกรรม. 2535, ปีที่ 3, ฉบับที่ 3 : 2535.

อรอนงค์ ศรีพวาทกุล. *การปรับปรุงกระบวนการผลิตต้นหอมอบแห้ง*. รายงานวิชาปัญหาพิเศษ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2534: 42 หน้า.

Copyright by Mahidol University

Brown, A.H., Van Arsdel, W.B., and Morgan, Jr., A.I. *Air Drying and Drum Drying.* In: Food Dehydration. Vol. I. Drying Methods and Phenomena. 2nd. ed. W.B. Van Arsdel, M.J. Copley, and A.I. Morgan, The AVI publ. Co., Inc., Westport, Connecicut. 1973.

Chang, D.C.N., *A Study of Mungbean Sprouts Production.* First International Symposium an Mungbean. Los Banos, Philippines, 1977.

Chen, L.H., Wells C.E., and Fordham T.R. *Germinations Seeds for Human Consumtion.* J. Food Sci, 1975. 40: 1290-1294..

Coffman C.W. and Garcia V.V., *Functional Properies and Amino Acid Content of Protien Isolate from Mungbean Flour.* J. Food Tech, 1977 : 473-484.

Collins J.L. and Sanders G.G. *Chang in Trysin Inhibitary Activity in Some Soybean Varities During Maturation and Germination.* J. Food Science, 1976: 168-172.

Goring P. *Physical Phenomena During the Drying of Food-Stuffs.* In : Fundamental Aspects of the Dehydration of Food-Stuffs. Soc. Chem. Ind. (London), 1958 : 42-53.

Fish, B.P. *Diffusion and Termodynamics of Water in Potato Starch Gel.* In : Fundamental Aspects of the Dehydration of Foodstuffs. Soc. Chem. Ind. (London), 1958 : 143-157.

Joslyn, M.A. *Food Processing by Drying and Dehydration.* In : Fundamental of Food Processing Operation. ed. J.L. Heid and M.A. Joslyn. The AVI Publ. Co., Inc., Westport, Connecticut,1967.

Karel, M. *Dehydration of Foods.* In : Principles of Food Science : Part II Physical Principles of Food Preservation. ed. M. Karel, O. R. Fennema, D.B. Lund. Marcel Dekker, D.B. Lund. Marcel Dekker, Inc., New York and Basel, 1975.

Livi, A., Ramirez-Martinez, Jr., and Pudua, H. *Influence of Heat and SO_2 Treatment on Some Characteristics of Inter Mediate Moisture Banana.* J. Food Technol,1980, 15: 557-566.

Vanderstoep, T. *Effect of Germination on Nutritive Value of Legumes.* Food Technol, 1981, 53(3) : 83-85.

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก ก.

ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ ก-1 ปริมาณความชื้นของถั่วงอกขณะที่ทำการอบด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาต่าง ๆ

ชั่วโมงที่อบ	ปริมาณความชื้นของถั่วงอก			ความชื้นเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	94.54	90.03	93.96	92.84
1	90.82	87.15	90.23	89.40
2	87.68	80.25	90.20	86.04
3	85.50	78.62	83.76	82.62
4	83.75	70.94	79.35	78.01
5	66.18	67.62	71.25	68.35
6	54.66	56.10	59.73	56.83
7	48.32	43.10	44.74	45.39
8	32.41	20.68	21.12	24.73
9	18.12	14.55	14.64	15.77
10	13.25	14.09	11.16	12.83
11	10.20	9.45	10.54	10.06
12	9.04	7.78	8.17	8.33
13	7.54	5.86	6.02	6.47
14	6.75	5.62	6.05	6.14
15	5.59	4.87	5.02	5.16

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ ก-2 ปริมาณความชื้นของถั่วงอกขณะที่ทำการอบด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาต่าง ๆ

ชั่วโมงที่อบ	ปริมาณความชื้นของถั่วงอก			ความชื้นเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	94.51	93.68	94.52	93.57
1	92.31	90.25	90.37	90.97
2	90.15	89.52	91.71	90.46
3	86.52	87.05	88.20	87.25
4	79.68	76.54	80.25	78.82
5	60.91	62.52	68.48	63.97
6	40.12	42.68	49.74	44.18
7	31.53	33.38	37.16	34.02
8	19.95	18.60	24.29	20.94
9	10.06	12.12	14.24	12.14
10	7.25	7.12	10.39	8.25
11	5.36	6.12	9.70	7.06
12	5.75	5.38	8.12	6.41
13	4.92	5.00	7.08	5.66
14	-	-	5.14	-

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

อุณหภูมิที่ใช้อบ(°C)	ความชื้นสุดท้าย(%)	เวลาที่ใช้ (h)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	พลังงานความร้อนที่ใช้ (MJ)
60	5	15	1.2x15hx0.79 = 14.22	1.2x15x1000x0.79x0.26x3600 = 133.00
	8	12	1.2x12hx0.79 = 11.37	1.2x12x1000x0.79x0.26x3600 = 106.44
70	5	13	1.2x13hx0.79 = 12.32	1.2x13x1000x0.79x0.26x3600 = 115.35
	8	10	1.2x10hx0.79 = 9.48	1.2x10x1000x0.79x0.26x3600 = 88.73

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก ค.

แบบสอบถามประเมินผลทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ถั่วงอกอบแห้งคืนรูป

เพศ _____ วันที่ _____

อายุ _____ เวลา _____

แบบสอบถามมีทั้งหมด 2 ตอน

ตอนที่ 1 ก่อนชิม เมื่อท่านได้รับผลิตภัณฑ์ กรุณาให้คะแนนความชอบของท่าน **โดยการมอง** แล้วขีดเครื่องหมาย / ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

ความชอบต่อลักษณะโดยทั่วไป หมายถึง ความชอบเมื่อท่าน **ได้เห็น** ผลิตภัณฑ์ถั่วงอกอบแห้งคืนรูป

_____ ชอบมากที่สุด

_____ ชอบมาก

_____ ชอบปานกลาง

_____ ชอบเล็กน้อย

_____ อยู่ระหว่างชอบและไม่ชอบ

_____ ไม่ชอบเล็กน้อย

_____ ไม่ชอบปานกลาง

_____ ไม่ชอบมาก

_____ ไม่ชอบที่สุด

ข้อเสนอแนะ_____

_____

_____

_____

_____

Copyright by Mahidol University

ตอนที่ 2 หลังชิมผลิตภัณฑ์ กรุณาให้คะแนน โดยการขีดเครื่องหมาย / ลงในช่องที่ตรงกับความรู้สึกและความชอบของท่านมากที่สุด

ความชอบของผลิตภัณฑ์ถั่วงอกอบแห้งคืนรูปโดยรวม หมายถึง ความชอบหลังจาก **ได้ชิม** ผลิตภัณฑ์ถั่วงอกอบแห้งคืนรูปแล้ว

_____ ชอบมากที่สุด
_____ ชอบมาก
_____ ชอบปานกลาง
_____ ชอบเล็กน้อย
_____ อยู่ระหว่างชอบและไม่ชอบ
_____ ไม่ชอบเล็กน้อย
_____ ไม่ชอบปานกลาง
_____ ไม่ชอบมาก
_____ ไม่ชอบที่สุด

2.2 สี

-------- ชอบมาก
-------- ชอบปานกลาง
-------- อยู่ระหว่างชอบและไม่ชอบ
-------- ไม่ชอบปานกลาง
-------- ไม่ชอบมาก

2.3 กลิ่นรส

--------- ชอบมาก
--------- ชอบปานกลาง
--------- อยู่ระหว่างชอบและไม่ชอบ
--------- ไม่ชอบปานกลาง
--------- ไม่ชอบมาก

2.4 ลักษณะเนื้อ

---------- ชอบมาก
---------- ชอบปานกลาง
-------- อยู่ระหว่างชอบและไม่ชอบ
---------- ไม่ชอบปานกลาง
---------- ไม่ชอบมาก

ข้อเสนอแนะ_____
_____
_____
_____
_____

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก ง.

การวิเคราะห์คะแนนจากแบบสอบถามทางประสาทสัมผัส

ผู้ทดสอบ	คะแนนที่ให้	
ชิม	ก่อนชิม	หลังชิม
ทานที่ 1	8	8
2	6	7
3	7	8
4	9	9
5	5	6
6	8	8
7	6	7
8	7	8
9	7	7
10	6	8
11	5	8
12	4	6
13	2	6
14	8	8
15	7	8
16	6	7
17	8	8
18	8	8
19	7	8
20	6	7

(ต่อ)

ผู้ทดสอบ	คะแนนที่ให้	
ชิม	ก่อนชิม	หลังชิม
21	6	8
22	5	6
23	9	8
24	4	5
25	8	8
26	8	8
27	7	8
28	6	8
29	5	6
30	4	6
31	8	8
32	7	8
33	7	8
34	8	8
35	6	8
รวม	226/35=**6.51**	261/35=**7.46**

Copyright by Mahidol University