สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการผลิตเครื่องดื่มผงจากถั่วเหลืองที่ผ่านการเพาะงอก

STUDY ON PRODUCTION OF GERMINATED SOY MILK POWDER

T119392

นางสาวนิสากร มีจั่น
นางสาวสยุมพร ใจดี
นางสาวสุวิสาส์ กาญจนพิมล

b.....
i.....

เลขหมู่.....
ทะเบียน 119392
วัน,เดือน,ปี..... 7 S.A. 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON PRODUCTION OF GERMINATED SOY MILK POWDER

Miss Nisakorn Meechan

Miss Sayumporn Jaidee

Miss Suwisa Kanjanapimon

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการผลิตเครื่องดื่มผงจากถั่วเหลืองที่ผ่านการเพาะงอก

Study on Production of Germinated Soy Milk Powder

ผู้จัดทำ

1. นางสาวนิสากร มีจั่น
2. นางสาวสยุมพร ใจดี
3. นางสาวสุวิสาส์ กาญจนพิมล

.....

(ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาการผลิตเครื่องดื่มผงจากถั่วเหลืองที่ผ่านการเพาะงอก
โดย นางสาวนิสากร มีจั่น
นางสาวสยุมพร ใจดี
นางสาวสุวิสาส์ กาญจนพิมล
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.กรุณา วงษ์กระจ่าง

บทคัดย่อ

ถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญและนิยมนำมาผลิตเป็นน้ำนมถั่วเหลือง กอปรกับในปัจจุบันผู้บริโภคต่างตระหนักถึงความสำคัญของสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพมากขึ้น เช่น สารกาบา ซึ่งได้จากการเพาะงอก ในโครงงานนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการนำถั่วเหลืองมาเพาะให้งอกเพื่อเพิ่มคุณค่าทางสารอาหาร โดยมุ่งศึกษาอัตราการเพาะงอกและปริมาณสารกาบาที่ได้ของถั่วเหลือง ถั่วเหลืองที่ผ่านการเพาะงอกนำมาสกัดเป็นน้ำนมถั่วเหลืองผสมงาดำงอกเพื่อปรุงแต่งกลิ่นรส จากนั้นนำมาศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย และวางแผนการทดลองแบบ Factorial Design ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย อัตราส่วนของสารมอลโตเด็กซ์ตรินต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำนมถั่วเหลืองงอก (3 ระดับคือ 0:1,1:1,2:1) และอุณหภูมิลมร้อนในการทำแห้ง (2 ระดับคือ 180 และ 200 °C) ผงของนมถั่วเหลืองงอกที่ได้นำมาวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ความหนาแน่นรวม ดัชนีการดูดซับน้ำ ดัชนีการละลายน้ำ ความสามารถในการจม ความสารถในการกระจายและคุณสมบัติการดูดซับความชื้น ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง โดยวิธีทางสถิติ จากการศึกษา พบว่าปัจจัยทั้ง 2 ประการ ต่างมีผลต่อคุณลักษณะของผงน้ำนมถั่วเหลืองงอก ที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำนมถั่วเหลืองงอกเพื่อให้ได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงสูงสุดที่ 77.87 % เมื่อทำการผลิตที่สภาวะที่ใช้ ปริมาณการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินที่ระดับ 2:1 และอุณหภูมิลมร้อนในการทำแห้งมีค่า 180 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Study on production of germinated soy milk powder.

By Miss Nisakorn Meechan

Miss Sayumporn Jaidee

Miss Suwisa Kanjanapimon

Report for Bachelor's Degree of Food Engineering

Department of Food Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Advisor Asst.Prof.Dr. Maradee Phongpipatpong

Co-advisor Ms.Karuna Wongkrajang

Abstract

Soybean is an important protein source and popularly used for making soymilk. At present, health conscious consumer pay more attention to nutrient intake, such as γ-amino butyric acid (GABA) which derived from germination process. The objective of this research is to study a germination rate and GABA content in soybean and sesame during the germination step. The germinated soybeans is then extracted with water to make soymilk, favoring with germinated sesame milk. The selected germinated soymilk sample is continued for spray drying experiment to determine the effect of maltodextrin and soluble solid in soymilk ratio (at 3 levels - 0:1, 1:1, 2:1) and drying air temperature (at 2 levels -180 °C, 200°C) on product characteristics including powder yield , water activity , bulk density, water absorption index, water solubility index, sinkability, dispersibility, and hygroscopicity. The result shows that the optimum yield of germinated soy powder of 77.87 % occurs at the condition of the ratio of maltodextrin : solid soluble at 2:1 and drying temperature inlet at 180 °C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้โดยได้รับความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาฤดีผ่องพิพัฒน์พงศ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ คำชี้แนะและแนวทางในการปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ในการทำงานที่ดี รวมไปถึง อ.กรุณา วงษ์กระจ่าง ที่ได้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการวิเคราะห์ผลการทดลองคอยให้คำแนะนำต่างๆ ฝึกให้นักศึกษารู้จักกระบวนการคิดและวิเคราะห์ผล และประสบการณ์ในการทำงานวิจัยมากมาย

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

ขอขอบคุณ คุณอำนาจ คูตะคุ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ และคุณบุญนำ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการและธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านเอกสารการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่าง ๆ พร้อมทั้งช่วยตรวจและแก้ไขข้อผิดพลาด จนทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์เล่มนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวนิสากร มีจั่น
นางสาวสยุมพร ใจดี
นางสาวสุวิสาส์ กาญจนพิมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	IV
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	XI
สารบัญภาพ	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการ เหตุผล และที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ถั่วเหลือง	4
2.1.1 ประวัติถั่วเหลือง	4
2.1.2 พฤกษศาสตร์ของถั่วเหลือง	4
2.1.3 การปลูกถั่วเหลืองในประเทศไทย	6
2.1.4 สายพันธุ์ถั่วเหลือง	6
2.1.5 กระบวนการแปรรูปถั่วเหลืองในอุตสาหกรรมอาหาร	7
2.1.6 สารอาหารในถั่วเหลือง	8
2.2 งาดำ	9
2.2.1 ประวัติงาดำ	9
2.2.2 พฤกษศาสตร์ของงาดำ	9
2.2.3 การปลูกงาในประเทศไทยการผลิตงาของประเทศไทย	10
2.2.4 สายพันธุ์งา	10
2.2.5 กระบวนการแปรรูปงาดำในอุตสาหกรรมอาหาร	10
2.2.6 สารอาหารในงาดำ	11
2.3 การงอกและสารอาหาร	12
2.3.1 สารกาบา	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 สารไอโซฟลาโวนส์	12
2.4 การอบแห้งแบบพ่นฝอย	13
2.4.1 อาหารที่ใช้ในการ Spray Drying	14
2.4.2 ลักษณะการไหลภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	14
2.4.3 หัวฉีดที่ใช้พ่นของเหลวในเครื่องอบแห้ง	15
2.4.4 การส่งผ่านความร้อนและมวลในห้องอบแห้ง	16
2.4.5 การแยกอาหารผงจากระบบการอบแห้ง	16
2.4.6 ค่าปัจจัยในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้	16
2.5 สารช่วยทำแห้ง	19
2.5.1 มอลโตเด็กซ์ตริน (Maltodextrin)	19
2.5.2 โครงสร้างมอลโตเด็กซ์ตริน	20
2.6 Glass Transition	23
2.6.1 คุณสมบัติของ Glass Transition	23
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 อุปกรณ์และการทดลอง	32
3.1 วัตถุดิบที่ใช้ศึกษา	32
3.2 อุปกรณ์การทดลอง	32
3.3 สารเคมี	32
3.4 การหาอัตราการงอกของเมล็ดถั่วเหลืองและงา	33
3.5 การเพาะเมล็ดถั่วเหลืองและงา	33
3.6 การสกัดน้ำนมถั่วเหลืองงอกผสมงาดำ	34
3.7 การวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำนมถั่วเหลืองงอกผสมงาดำ	35
3.7.1 การวัดค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งในสารละลาย	35
3.7.2 ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส	35
3.8 การทำแห้งแบบพ่นฝอย	36
3.9 การวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำนมถั่วเหลืองงอก	37
3.9.1 ความชื้น (Moisture content)	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.9.2 ปริมาณผลผลิตที่ได้ (% Yield)	37
3.9.3 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water Activity, a_w)	37
3.9.4 ความหนาแน่นรวม (Bulk Density)	37
3.9.5 ดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) และดัชนีการละลายน้ำ (WSI)	38
3.9.6 ความสามารถในการจม (Sinkability)	38
3.9.7 ความสามารถในการกระจายตัว (Dispersibility)	39
3.9.8 คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity)	39
3.10 การวางแผนและวิเคราะห์ผลการทดลอง	39
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	41
4.1 การหาความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ	41
4.2 การหาอัตราการเพาะงอกของเมล็ดถั่วเหลืองและงาดำ	42
4.2.1 การหาอัตราการเพาะงอกของเมล็ดถั่วเหลือง	42
4.2.2 การหาอัตราการเพาะงอกของเมล็ดงาดำ	42
4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารกาบาที่ระยะเวลาการเพาะงอกต่างๆ	43
4.4 การหาอัตราส่วนของถั่วเหลืองต่องาดำในการสกัดน้ำนมถั่วเหลืองงอกผสมงาดำ	44
4.5 การทำแห้งแบบพ่นฝอย	45
4.6 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองผง	46
4.7 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองงอกผงที่สภาวะต่างๆ	47
4.7.1 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้น	48
4.7.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้	49
4.7.3 ผลการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	50
4.7.4 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น	51
4.7.5 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการดูดซับน้ำ	52
4.7.6 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการละลายน้ำ	53
4.7.7 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการจม	54
4.7.8 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการกระจาย	55
4.7.9 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดซับความชื้น	56
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	57
5.1 สรุปผลการทดลอง	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	58
บรรณานุกรม	59
ภาคผนวก	61
ภาคผนวก ก ภาพอุปกรณ์ วัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ในการทดลอง	62
ภาคผนวก ข การปรับแต่งตัวแปรในการทดลอง	71
ภาคผนวก ค ภาพการเพาะถั่วเหลืองและงาดำ	72
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ผลทางสถิติของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลือง 8

2.2 แสดงค่าปัจจัยตัวแปรในกระบวนการอบแห้งที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้ 18

2.3 แสดงคุณสมบัติพิเศษของมอลโตเด็กซ์ตริน 22

3.1 แสดงสภาวะการเตรียมตัวอย่าง 40

4.1 แสดงอัตราการงอกของเมล็ดพืชที่ระยะเวลาการเพาะงอกต่าง ๆ 42

4.2 ปริมาณสารกาบาที่สภาวะการเพาะงอกด้วยการแช่ – บ่มและการแช่น้ำที่ระยะเวลาการเพาะงอกต่างๆ 43

4.3 แสดงผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยผู้ที่มีอายุระหว่าง 52 – 78 ปี จำนวน 30 คน 44

4.4 แสดงสภาวะก่อนทำแห้งของน้ำนมถั่วเหลืองงอก 45

4.5 สภาวะก่อนทำแห้งของน้ำนมจากงาดำงอก 45

4.6 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง 45

4.7 แสดงผลการทดลองการวิเคราะห์เครื่องดื่มผงจากถั่วเหลืองที่ผ่านการเพาะงอก 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่

2.1 แสดงโครงสร้างมอลโตเด็กซ์ตริน 20
2.2 แสดงค่า Dextrose Equivalence (DE) 21
2.3 แสดงลักษณะทางกายภาพของมอลโตเด็กซ์ตริน 22
2.4 การนำเสนอ Schematic ของผลกระทบ glass transition 24
2.5 ผลกระทบของ thermal history 25
2.6 อุณหภูมิของความหนืดวัสดุอสัญฐานที่สูงกว่า glass transition temperature 29
3.1 การหาอัตราการงอกของถั่วเหลืองและงา 33
3.2 การเพาะแบบแช่ – บ่ม 34
3.3 การเพาะแบบแช่น้ำ 34
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เพาะกับอัตราการงอกของถั่วเหลืองและงาดำ 42
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้น (% Moisture content) 48
4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%Yield) 49
4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water Activity, a_w) 50
4.5 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) 51
4.6 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index, WAI) 52
4.7 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการละลายน้ำ (Water Solubility Index, WSI) 53
4.8 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการจม (Sinkability) 54
4.9 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการกระจาย (Dispersibility) 55
4.10 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity) 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการ เหตุผล และที่มาของปัญหา

ถั่วเหลือง(Soybean) นับได้ว่าเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีน ทดแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์ได้ ไม่มีคอเลสเตอรอล มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากนี้ยังมีสารอื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์หลายชนิด เช่น เลซิทินไอโซฟลาโวนส์ ลิกนินส์ ซาโปนินส์ ไฟติเอซิด ไฟโตเตอรอล เป็นต้น ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจที่ปลูกกันมากแถบภาคเหนือและภาคกลางตอนบน พันธุ์ที่นิยมปลูกได้แก่ พันธุ์ สจ.4 สจ.5 และพันธุ์เชียงใหม่ 60 ถั่วเหลืองจึงถูกแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย โดยมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆขึ้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในหลาย ๆ ประเทศ เป็นการขยายตลาดและเพิ่มความนิยมในการบริโภคถั่วเหลือง

ในปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจในเรื่องอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น เนื่องจากเป็นอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายและยังช่วยป้องกันโรคต่างๆ (Nakarin, 2008) น้ำนมถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่ง ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทุกวัย เนื่องจากรับประทานง่าย ราคาถูก และมีจำหน่ายทั่วไป น้ำนมถั่วเหลืองเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูงเท่านมวัว แต่มีไขมันน้อยกว่า จึงเหมาะกับผู้ที่ต้องการรักษาสุขภาพ นมถั่วเหลืองให้แคลเซียมน้อยกว่านมวัวแต่ให้ธาตุเหล็กและวิตามินบี 1 ที่มากกว่า

จากการศึกษาข้อมูลพบว่าเมื่อนำเมล็ดพืชมาทำให้งอก จะทำให้ได้สารอาหารเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะสารกาบา(GABA : gamma-amino butyric acid) ซึ่งมีสารช่วยป้องกันการเสื่อมของสมอง (Manyam et al., 1981) เนื่องจากในระยะที่เมล็ดเริ่มงอกจะสร้างฮอร์โมนเพื่อช่วยในการเพิ่มจำนวนและขยายขนาดของเซลล์ ทำให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและในถั่วเหลืองยังพบสารไอโซฟลาโวนส์(isoflavone) ที่สามารถช่วยชะลอการเกิดปัญหาโรคกระดูกพรุน(ศัลยา, 2546) ดังนั้นการนำเมล็ดถั่วเหลืองและเมล็ดงาดำมาทำให้งอกจึงเป็นการเพิ่มสารอาหารให้แก่เมล็ดพืชทั้ง 2 ชนิด จากนั้นนำเมล็ดถั่วเหลืองที่งอกแล้วมาแปรรูปเป็นน้ำนมถั่วเหลืองเพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหาร แต่เนื่องจากมีข้อจำกัด คือ น้ำนมถั่วเหลืองมีอายุการเก็บรักษาที่สั้น เนื่องจากมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชนิดนี้จึงเป็นสิ่งจำเป็นและสามารถทำได้โดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) ซึ่งวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยมในเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ จะมีคุณภาพดีกว่าการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง(Drum Drying) และใช้เวลาในการทำแห้งรวมถึงค่าใช้จ่ายน้อยกว่าวิธีการทำแห้งแบบระเหิด(Freeze Drying) (สืบสกุล, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำแห้งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ อาทิเช่น อุณหภูมิลมร้อน อัตราการป้อน ชนิดสาร และปริมาณสารช่วยทำแห้ง (Master, 1991) สำหรับงานวิจัยนี้สนใจศึกษาถึงผลของปริมาณสารช่วยทำแห้งและอุณหภูมิลมร้อน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งของน้ำนมถั่วเหลืองที่ผ่านการเพาะงอกเป็นผลิตภัณฑ์ผง ซึ่งเป็นการยืดอายุของผลิตภัณฑ์ ช่วยให้สะดวกในการบริโภค เป็นการเพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราการเพาะงอกและปริมาณสารกาบาที่ระยะเวลาการเพาะงอกแตกต่างกัน

1.2.2 เพื่อศึกษาอัตราส่วนของถั่วเหลืองงอกต่องาดำงอกในกระบวนการสกัดน้ำนมถั่วเหลืองงอกผสมงาดำงอก

1.2.3 เพื่อศึกษาอุณหภูมิ และปริมาณการเติมมอลโตเด็กซ์ตริน ที่มีผลต่อการทำแห้ง

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 วัตถุดิบที่ใช้ คือ ถั่วเหลืองพันธุ์ เชียงใหม่ 60 จากกรมวิชาการเกษตร ศูนย์เชียงใหม่ และเมล็ดงาดำ ตราไร่ทิพย์

1.3.2 ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย

- อัตราส่วนของถั่วเหลืองงอกต่องาดำงอกในการสกัดน้ำนมถั่วเหลืองผสมงาดำงอก
- อัตราส่วนของสารมอลโตเด็กซ์ตรินต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำนมถั่วเหลืองงอก (3 ระดับ คือ 0:1, 1:1, 2:1)
- อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการทำแห้ง (2 ระดับ คือ 180 และ 200 องศาเซลเซียส)

1.3.3 คุณสมบัติของน้ำนมถั่วเหลืองงอกและผลิตภัณฑ์ผงที่ศึกษาประกอบด้วย

- วิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี ได้แก่ ปริมาณสารอาหารในเมล็ดถั่วเหลืองงอกและเมล็ดงาดำงอก
- วิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ความหนาแน่นรวม ดัชนีการดูดซับน้ำ ดัชนีการละลายน้ำ ความสามารถในการจม ความสามารถในการกระจายและคุณสมบัติการดูดซับความชื้น
- วิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี กลิ่น และรสชาติ ของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบอัตราการงอกและปริมาณสารกาบาในถั่วเหลืองงอกและงาดำงอกที่ระยะเวลาการเพาะงอกที่แตกต่างกัน

1.4.2 ทราบอัตราส่วนของถั่วเหลืองงอกต่องาดำงอกในกระบวนการสกัดน้ำนมถั่วเหลืองงอกผสมงาดำงอก

1.4.3 ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งทั้งเรื่องอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งและปริมาณการใช้สารทำแห้ง

1.4.4 เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถั่วเหลือง (อภิพรรณ, 2549)

2.1.1 ประวัติถั่วเหลือง

ถั่วเหลือง (Soybean, *Glycine max* (L.) Merrill) เป็นพืชเศรษฐกิจที่เหมาะสำหรับปลูกสลับกับการปลูกข้าว ได้มีรายงานการปลูกถั่วเหลืองในประเทศจีนเมื่อเกือบ 5,000 ปีมาแล้ว แต่ก็ยังไม่แน่ชัดว่าส่วนใดของประเทศจีนเป็นถิ่นกำเนิดแต่ที่สันนิษฐานและยอมรับกันโดยทั่วไป คือ บริเวณหุบเขาแม่น้ำเหลือง เพราะ อารยธรรมของจีนได้ถือกำเนิดที่นั่นและประกอบกับมีการจารึกครั้งแรกเกี่ยวกับถั่วเหลือง เมื่อ 2295 ปีก่อนพุทธกาล ที่หุบเขาแม่น้ำเหลือง จากนั้นถั่วเหลืองได้แพร่กระจายสู่ประเทศเกาหลีและญี่ปุ่น เมื่อ 200 ปีก่อนคริสตกาล แล้วเข้าสู่ยุโรปในช่วงหลัง พ.ศ. 2143 และไปสู่สหรัฐอเมริกาในปี พ.ศ. 2347 จากนั้นกว่า 100 ปี ชาวอเมริกันได้ปลูกถั่วเหลืองเพื่อเป็นอาหารสัตว์ใช้เลี้ยงวัวโดยไม่ได้นำเมล็ดมาใช้ประโยชน์อย่างอื่น จนถึงปี พ.ศ. 2473 สหรัฐอเมริกาได้นำพันธุ์ถั่วเหลืองจากจีนเข้ามาในประเทศกว่า 1,000 สายพันธุ์ เพื่อการผสมและคัดเลือกพันธุ์ ทำให้ได้เมล็ดพันธุ์ที่มีเมล็ดโต ผลผลิตสูง เหมาะแก่การเพาะปลูกเพื่อผลิตเมล็ดมากขึ้น

2.1.2 พฤกษศาสตร์ของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองอยู่ใน family leguminosae มีชื่อวิทยาศาสตร์หลายชื่อ เช่น *Glycine soja, Soja hispida, Phaseolus max* เป็นต้น แต่ชื่อที่ยอมรับกันในปัจจุบัน คือ *Glycine max* (L.) Merrill

2.1.2.1 ราก

ถั่วเหลืองมีระบบรากแก้ว (tap root system) ถ้าดินร่วน รากแก้ว อาจหยั่งลึกถึง 0.50-1.00 เมตร แต่ถ้าผิวดินตื้นจะสังเกตเห็นรากแก้วไม่ชัดเจนและทำให้มีรากแขนง (lateral root) มากขึ้นโดยทั่ว ๆ ไประบบรากจะอยู่ในความลึกเพียง 30-45 ซม. จากระดับผิวดินเท่านั้น ตามรากจะพบปม (nodule) ซึ่งเกิดจากแบคทีเรียพวก *Rhizobium japonicum* เข้าไปอาศัยอยู่ แบคทีเรียจะได้รับคาร์โบไฮเดรตจากต้นถั่วเหลือง และถั่วเหลืองก็จะได้ไนโตรเจนในรูปไนเตรตที่แบคทีเรียตรึงได้จากอากาศไปใช้ประโยชน์ต่อไป การอยู่อาศัยของแบคทีเรียที่รากเรียกว่าเป็นแบบชีวสัมพันธ์ (symbiosis) หรือพึ่งพาอาศัยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 ลำต้น

ถั่วเหลืองที่ปลูกกันเป็นการค้า ส่วนมากมีลำต้นตรงเป็นพุ่มตรง มีการแตกแขนงค่อนข้างมาก สูงประมาณ 30 - 150 ซม. ความสูงขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความชื้นและฤดูปลูก อาจแบ่งถั่วเหลืองออกได้เป็น 2 พวกตามวิธีการเจริญเติบโตคือ

ก. ชนิดทอดยอด (Indeterminate type) พวกนี้ช่อดอกไม่เกิดที่ยอดของลำต้น (main stem) แต่เกิดตามมุมใบ จึงทำให้ยืดการเจริญของยอดถั่วไปได้อีกระยะหนึ่ง ภายหลังจากมีการออกดอกแล้ว พันธุ์พวกนี้จะมีปลายเรียว ยาว ทำให้ต้นหยุดเจริญเติบโตเมื่อเริ่มติดฝัก

ข. ชนิดไม่ทอดยอด (Determinate type) พวกนี้ช่อดอกเกิดที่ยอดของลำต้นเป็นกลุ่ม

ถั่วเหลืองส่วนมากมีขนสีน้ำตาลหรือสีเทาปกคลุมอยู่ทั่วไป เช่น ตามลำต้น ก้านใบ ใบ กลีบเลี้ยง ผล ยกเว้นที่ใบเลี้ยงเท่านั้นที่ไม่มีขน ระหว่างมุมของใบเลี้ยงหรือใบจริงจะพบตา (bud) ซึ่งจะเจริญเป็นกิ่ง ดอก หรืออยู่ในระยะพักตัว (dormant) ก็ได้ ถ้าถั่วเหลืองกำลังเจริญเติบโต ตานี้มักจะเกิดเป็นกิ่ง แต่ถ้าใช้ระยะปลูกแคบตาจะพักตัว ถ้าใช้ระยะปลูกกว้างก็อาจมีกิ่ง 5 - 6 กิ่ง/ต้น ส่วนใหญ่ตาที่มุมใบเลี้ยงไม่เจริญ นอกจากลำต้นที่อยู่เหนือใบเลี้ยงได้รับอันตราย เช่น ถูกแมลงกัด ตาที่มุมใบเลี้ยงจึงจะแตกออกเป็นลำต้นใหม่

2.1.2.3 ใบ

ใบเกิดแบบสลับ (alternate) บนลำต้น ยกเว้นใบเลี้ยง (cotyledon) และใบจริงคู่แรก (primary leaf) ของต้นอ่อนเท่านั้นที่เกิดตรงข้ามกัน ใบจริงคู่แรกเป็นใบเดี่ยว (simple leaf) แต่ใบที่เกิดต่อ ๆ มาเป็นใบรวม (compound leaves) ใบมีขนาดรูปร่างต่าง ๆ กัน มักเป็นแบบ pinnately trifoliate คือ มีใบย่อย 3 ใบ มีก้านใบรวม (petiole ยาว 5-10 ซม.) ก้านของใบย่อย (petiolule) ของใบกลางยาวกว่าก้านของใบย่อยอีก 2 ใบ ตรงโคนก้านใบทุกชนิดมีข้ออ่อนเรียก pulvinus ใบมีรูปร่างหลายแบบเช่นรูปไข่ (ovate) จนถึงเรียวยาว (lanceolate) ใบมีขนสีเทาหรือสีน้ำตาลปกคลุมอยู่ทั่วไป ที่โคนของใบย่อยมีหูใบย่อย (stipel) และที่โคนก้านใบจะมีหูใบ (stipule) พันธุ์ส่วนมากใบจะร่วงเมื่อผลเริ่มแก่ เมื่อผลแก่เต็มที่ใบจะร่วงหมด มีบางพันธุ์เท่านั้นที่ไม่สลัดใบเมื่อผลแก่เต็มที่

2.1.2.4 ดอก

ถั่วเหลืองมีดอกเป็นช่อ(inflorescence) มีช่อดอกแบบ Raceme ดอกมีสีขาวหรือสีม่วงสีขาว เป็นลักษณะด้อย(recessive) เมื่อดอกบานเต็มที่จะมีขนาดประมาณ 3 - 8 มม. ดอกเกิดตามมุมของก้านใบหรือที่ยอดของลำต้น ช่อดอกหนึ่ง ๆ มีดอกตั้งแต่ 3 - 15 ดอก ช่อดอกที่เกิดบนยอดของลำต้น มักจะมีจำนวนดอกในช่อมากกว่าช่อดอกที่เกิดตามมุมใบ

2.1.2.5 ฝัก

ฝักเกิดเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 2 - 10 ฝัก มีขนสีเทาหรือสีน้ำตาลปกคลุมอยู่ทั่วไปฝัก มีความยาว 2 - 7 ซม. แต่ละฝักมีเมล็ด 1 - 5 เมล็ด แต่ส่วนใหญ่มี 2 - 3 เมล็ด เมื่อสุกฝักจะมีสีน้ำตาล ฝักอาจแตกซึ่งทำให้เมล็ดร่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.6 เมล็ด

เมล็ดมีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กัน เมล็ดขนาดเล็กจำนวน 100 เมล็ดหนักประมาณ 2 กรัม ขนาดใหญ่ 100 เมล็ดหนักประมาณ 40 กรัม โดยทั่วไปจะหนักประมาณ 12-20 กรัม รูปร่างมีตั้งแต่กลมรีจนถึงยาว อาจมีสีเหลือง เขียว น้ำตาล และดำก็ได้

2.1.3 การปลูกถั่วเหลืองในประเทศไทย

ได้มีการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองอย่างจริงจังตั้งแต่ปี พ.ศ. 2503 ทำให้มีถั่วเหลืองพันธุ์ดีเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันการผลิตถั่วเหลืองในประเทศยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ ทำให้ต้องมีการนำเข้าถั่วเหลืองจากต่างประเทศ

ถั่วเหลืองของไทยส่วนมากปลูกแถบภาคเหนือ และภาคกลางตอนบน การปลูกถั่วเหลืองปัจจุบันมีอยู่ประมาณ 10 พันธุ์ ปรับปรุงโดยกรมวิชาการเกษตร คือ สจ.4, สจ.5, สุโขทัย 1, สุโขทัย 2, สุโขทัย 3 นครสวรรค์ 1, เชียงใหม่ 60 , เชียงใหม่ 2 , เชียงใหม่ 3 , เชียงใหม่ 4 ถั่วเหลืองที่สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร ได้ดำเนินการพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองขึ้นมาใหม่ คือ “พันธุ์ศรีสำโรง 1” ซึ่งให้ผลผลิตสูง มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น ทั้งยังสามารถต้านทานโรคราน้ำค้างได้ดี สำหรับพันธุ์ สจ.4 , สจ.5 และ เชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด

ในประเทศไทยสามารถปลูกถั่วเหลืองได้ทั้งปี ปีละ 3 ฤดู การปลูกอาจต้องปรับสภาพดินให้เหมาะสมก่อน pH ประมาณ 5.5-6.5 และเตรียมเมล็ดโดยการคลุกเชื้อไรโซเบียม การคลุกเชื้อไรโซเบียมต้องใช้เชื้อที่ใช้กับถั่วเหลืองเท่านั้น ถั่วเหลืองต้องการน้ำประมาณ 300-400 มิลลิลิตรตลอดฤดูปลูก ช่วงที่สำคัญที่ไม่ควรขาดน้ำคือช่วงการงอกและช่วงออกดอก อายุการเก็บเกี่ยวของถั่วเหลืองจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 60-110 วัน

2.1.4 สายพันธุ์ถั่วเหลือง

พันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากในปัจจุบัน มีลักษณะทางการเกษตร โดยเฉลี่ยดังนี้

2.1.4.1 นครสวรรค์ 1

ผลผลิต 245 กก./ไร่ น้ำหนัก 100 เมล็ด 18-19 กรัม มีน้ำมัน 21 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 39 เปอร์เซ็นต์ ต้านทานปานกลางต่อโรคใบจัดนูน อ่อนแอต่อโรคราน้ำค้าง เหมาะสำหรับปลูกในภาคเหนือตอนล่างและภาคกลางตอนบน

2.1.4.2 เชียงใหม่ 60

ดอกสีขาว ผลผลิต 300 กก./ไร่ น้ำหนัก 100 เมล็ด 15-17 กรัม มีน้ำมัน 20 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 44 เปอร์เซ็นต์ ต้านทานต่อโรคใบจุดนูนและไวรัสใบด่าง และทนทานต่อโรคราสนิม เหมาะสำหรับปลูกทุกภาคของประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.3 สจ.5

ดอกสีม่วง ผลผลิต 275 กก./ ไร่ น้ำหนัก 100 เมล็ด 13 - 15 กรัม มีน้ำมัน 19 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 42 เปอร์เซ็นต์ ทนทานต่อโรคราสนิม เหมาะสำหรับปลูกในภาคเหนือตอนบนและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2.1.4.4 สุโขทัย 1

ลำต้นกิ่งทอดยอด ใบแคบ มีขนสีขาวที่ลำต้น ใบและฝัก ฝักสีเทาดำ ผลผลิต 245 กก./ไร่ น้ำหนัก 100 เมล็ด 14-16 กรัม มีน้ำมัน 21 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 39 เปอร์เซ็นต์ ต้านทานต่อโรคใบจุดนูนและไวรัสใบแดง เหมาะสำหรับปลูกในภาคเหนือตอนล่างและภาคกลางตอนบน

2.1.5 กระบวนการแปรรูปถั่วเหลืองในอุตสาหกรรมอาหาร

การแปรรูปถั่วเหลืองให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่หลากหลายขึ้นและเป็นที่นิยมของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่จำหน่ายในท้องตลาดแบ่งได้ เป็นกลุ่มใหญ่ดังนี้ น้ำมันถั่วเหลือง ถั่วเหลืองเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญในหลายประเทศอาหารที่ทำจากถั่วเหลือง ประเทศในแถบเอเชีย เช่น ไทย จีน ญี่ปุ่น และประเทศอื่นในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมักและผ่านการหมักก่อน ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก เช่น น้ำนมถั่วเหลือง เต้าหู้ ถั่วงอกที่เพาะจากถั่วเหลือง เป็นต้น ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักถั่วเหลือง เช่น ถั่วเน่า เทมเป้ ซอสถั่วเหลือง เต้าเจี้ยว เป็นต้นโปรตีนจากถั่วเหลือง หลังจากการสกัดน้ำมันถั่วเหลืองด้วยตัวทำละลายแล้ว ส่วนที่เหลือจะเป็นเนื้อถั่วที่อุดมด้วยโปรตีน สามารถแปรรูปเป็นอาหารหลายชนิด เช่น เนื้อเทียม (โปรตีนเกษตร) แป้ง เบเกอรี่ ทำโปรตีนเข้มข้น หรือผ่านกรรมวิธีเพื่อแยกเอาโปรตีนบริสุทธิ์ ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ได้จากการแปรรูปถั่วเหลือง ปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ขึ้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในหลายๆ ประเทศ เพื่อเป็นการขยายตลาดและเพิ่มความนิยมในการบริโภคถั่วเหลือง ผลิตภัณฑ์ที่มีการพัฒนาขึ้นใหม่ เช่น ไอศกรีม โยเกิร์ตถั่วเหลือง เนยถั่วเหลือง เป็นต้นอาหารเสริมจากถั่วเหลือง เนื่องจากถั่วเหลืองมีสารเคมี ที่เป็นประโยชน์หลายชนิด เช่น เลซิติน โอลิโกแซคคาไรด์ วิตามินอี สเตอรอล ไฟเตท เป็นต้น สามารถใช้ถั่วเหลืองเพื่อช่วยเพิ่มเยื่อใยและคุณค่าทางอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 สารอาหารในถั่วเหลือง

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลือง

องค์ประกอบ	ปริมาณ
คาร์โบไฮเดรต (%)	27
โปรตีน (%)	50
เลซิทิน (%)	5
ไขมัน (%)	18

(ข้อมูล www.pharm.chula.ac.th)

นอกจากนี้ยังมีสารอื่นๆที่เป็นประโยชน์หลายชนิดได้แก่

2.1.6.1 ไอโซฟลาโวนส์ (Isoflavones) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และยังมีการทำงานได้เหมือนเอสโตรเจน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ genistein และ daidzein ไอโซฟลาโวนส์ยังช่วยป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจ ป้องกันมะเร็ง ยับยั้งการเจริญของเนื้องอก และป้องกันความเสื่อมของจอตา

2.1.6.2 ลิกนินส์ (Lignins) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และสามารถป้องกันสารก่อมะเร็งภายในลำไส้

2.1.6.3 ซาโปนินส์ (Saponins) มีฤทธิ์ต้านมะเร็ง และ ช่วยฟื้นฟูภูมิคุ้มกัน

2.1.6.4 ตัวยับยั้งเอนไซม์โปรตีเอส Protease inhibitors มีฤทธ์ต้านเอนไซม์โปรตีเอสซึ่งเป็นเอนไซม์ก่อมะเร็ง และยังมีฤทธิ์ต้านสารก่อมะเร็ง

2.1.6.5 ไฟติเอซิด (Phytic acid) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระช่วยร่างกายกำจัดโลหะหนักซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง

2.1.6.6 ไฟโตเอสโตรเจนในอาหารประเภทถั่วเหลือง เช่น น้ำนมถั่วเหลือง เต้าหู้ และถั่วเหลือง จะมีคุณสมบัติคล้ายกับฮอร์โมนเอสโตรเจน ซึ่งช่วยชะลอความเหี่ยวย่นอันเกิดจากผิวแห้งและริ้วรอยแห่งวัย สารอาหารที่มีประโยชน์อีกอย่างหนึ่งที่จะพบได้ในอาหารจากถั่วเหลือง ก็คือ วิตามินอี ซึ่งมีคุณสมบัติในการกระตุ้นการสร้างเซลล์ใหม่ ยังช่วยปกป้องผิวหนังไม่ให้เหี่ยวจากฤทธิ์ของแอนตี้ออกซิแดนท์

2.1.6.7 ไฟโตสเตอรอล (Phytosterols) เป็นสารที่ร่างกายดูดซึมไม่ได้ แต่จะช่วยจับคลอเลสเตอรอล และป้องกันมะเร็งลำไส้

2.1.6.8 เลซิทิน ทำหน้าที่เป็น imulsifier ทำให้ไขมันและคลอเลสเตอรอลกับน้ำรวมตัวกันได้ ทำให้ไขมันและคลอเลสเตอรอล ไม่เกาะติดผนังหลอดเลือด ลดการอุดตันของเส้นลือด นอกจากนี้ยังช่วยในเรื่องความจำด้วย เนื่องจากเลซิทินเป็นองค์ประกอบหนึ่งของเซลล์สมอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 งาดำ (อภิชาติ, 2550)

2.2.1 ประวัติงาดำ

งาดำเป็นไม้ล้มลุกที่มีมาแต่โบราณ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดในแถบระเทศเอธิโอเปีย ต่อมาก็ถูกนำเข้าไปยังอินเดีย จีน แอฟริกาเหนือ และเอเชียใต้ในราวประมาณ 2,000 ปีมาแล้ว ก่อนคริสต์ศักราชและในศตวรรษที 17 ได้ถูกนำเข้าไปในทวีปอเมริกา ส่วนในประเทศไทย งา เป็นที่รู้จักกันมาช้านาน ซึ่งนำมาใช้ ประโยชน์ได้ทั้งทางยา อาหาร และเครื่องสำอาง คนในสมัยก่อน ใช้น้ำมันงามาประทินความงาม อาทิ โลชั่นทาผิว ซึ่งในสมัยนั้นไม่มีโลชั่น เพราะน้ำมันงาสามารถช่วยลดแรงตึงผิว ป้องกันผิวแตก สตรีมีครรภ์มักใช้ทาหน้าท้องป้องกันท้องลาย หรือใช้หมักผมทำให้ผมนุ่มดกดำ

2.2.2 พฤกษศาสตร์ของงาดำ

งาดำ, นีโซ ไอยู่มั้ว (จีน), Benne, Gingelly, Sesame, Teel ชื่อวิทยาศาสตร์: *Sesamum indicum Linn. , S. orientle,* L วงศ์: PEDALIACEAE

งาเป็นพรรณไม้ล้มลุกขนาดเล็กเนื้ออ่อน ลำต้นจะตั้งตรงถึงยอดลำต้นเป็นสี่เหลี่ยม มีร่องตามยาวและมีขนปกคลุมมีความสูงประมาณ 0.5-2 เมตร อวบน้ำลำต้นมีสีเขียวเข้มอาจมีม่วงปน ใบลักษณะของใบคล้ายกับใบหญ้างวงช้าง มีขนทั้งด้านบนและใต้ใบ ใบเดี่ยวรูปไข่หรือรูปหอกเรียงตรงข้ามหรือสลับ ขอบใบเป็นจัก สีเขียวอ่อนจนถึงเข้ม บางพันธุ์มีสีเหลือง ก้านใบยาว 5 เซนติเมตร ดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลุ่มละ 1-3 ดอก ก้านดอกสั้นประมาณ 5 มิลลิเมตร มีต่อมน้ำหวานสีเหลืองหรือสีดำที่ฐานดอกทั้งสองข้าง กลีบรองดอก มี 5 แฉก ยาว 3-7 มิลลิเมตร โคนกลีบดอกเชื่อมติดกัน เป็นรูประฆังยาว 4-5 เซนติเมตร ส่วยปลายแยกเป็น 2 กลีบ คือกลีบและกลีบล่าง กลีบบนมี 3 หยัก กลีบล่างจะยาวกว่า และห้อยย้อยลงมา ดอกจะบานเมื่อ 2 กลีบนี้แยกออกจากกัน กลีบดอกมีสีขาว ขาวอมชมพูหรือม่วงอ่อน ด้านในของรูประฆัง จะมีสีเหลืองหรือจุดประสีม่วง เกสรตัวผู้มี 2 คู่ คู่หนึ่งสั้น อีกคู่หนึ่งยาว ก้านเกสรตัวเมียยาว 1.5-2 เซนติเมตร ยอดเกสรตัวเมียแยกเป็น 2-4 แฉก ดอกจะบานในตอนเช้าและร่วงในตอนเย็น ผลหรือฝัก ค่อนข้างกลมป้อม รูปทรงกระบอกหรือแบน ฝักยาว2-3 เซนติเมตร ฝักมีขนสั้นๆปกคลุม ปลายฝักจะมีงอยแหลม เมื่อฝักแก่จะแตกออกทำให้เมล็ดร่วงหลุดได้ เมล็ดรูปไข่ มีขนาดเล็กเรียงซ้อนกันอยู่ ในฝัก 70-100 เมล็ดต่อฝัก งาดำมีเมล็ดเป็นสีดำมันขนาดโตกว่าเม็ดแมงลักเล็กน้อย ส่วนงาขาวจะมีสีนวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การปลูกงาในประเทศไทยการผลิตงาของประเทศไทย

งาเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญทางเศรษฐกิจพืชหนึ่งของประเทศ และมีแนวโน้มที่จะทวีความสำคัญขึ้นทุกปี เนื่องจากเป็นพืชที่มีศักยภาพในการผลิตและการตลาดสูง สามารถปลูกขึ้นง่าย ลงทุนน้อย ทนต่อสภาพความแห้งแล้งได้ดี เกษตรกรนิยมปลูกงาก่อนและหลังการทำนา หรือหลังจากการเก็บเกี่ยวพืชหลัก การปลูกงามีทั้งในสภาพไร่และสภาพนา ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ของแต่ละท้องถิ่น เมล็ดงาและน้ำมันงามีคุณค่าทางด้านโภชนาการสูง เมล็ดงาประกอบด้วยน้ำมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ ที่จำเป็นหลายชนิดในเมล็ดงาจะมีน้ำมันงาประมาณร้อยละ 47-60 มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง จึงเหมาะที่จะนำมาใช้บริโภคเพราะช่วยกันรักษาระดับโคเลสเตอรอลในร่างกาย ป้องกันไม่ให้เกิดหลอดเลือดแข็งตัวหรือเส้นเลือดอุดตัน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของโรคหัวใจขาดเลือด

พบว่ามีพื้นที่ปลูกงาประมาณ 381,000 ไร่ ผลผลิตรวม 35,000 ตัน โดยผลผลิตส่วนใหญ่ร้อยละ 55 ส่งออกไปต่างประเทศมูลค่าประมาณ 400 ล้านบาทส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 45 ใช้ภายในประเทศ การผลิตงาของประเทศไทย ยังไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ ซึ่งมีความต้องการเพิ่มมากขึ้นทุกปี

2.2.4 สายพันธุ์งา

งาดำนครสวรรค์ เป็นพันธุ์พื้นเมืองที่ปัจจุบันเป็นพันธุ์ส่งเสริม มีการแนะนำให้ปลูกในพื้นที่หลายจังหวัดมี ลักษณะการเจริญเติบโตแบบทอดยอด เมล็ดมีสีดำขนาดใหญ่และเต่ง ลักษณะฝักเป็นแบบ 4 กลีบ 8 พู ฝักแตกง่ายเมื่อสุกแก่ ลำต้นค่อนข้างสูง แตกกิ่งก้านมาก ใบมีขนาดใหญ่ค่อนข้างกลม มี 1 ฝักต่อ 1 มุมใบ การเกิดฝักจะเวียนสลับ รอบลำต้น 1 ข้อ มี 1 ฝัก อายุเก็บเกี่ยว 95-100 วัน ผลผลิต 60-130 กิโลกรัมต่อไร่ นิยมปลูกมากในท้องที่จังหวัดบุรีรัมย์ ศรีสะเกษ สุรินทร์ นครราชสีมา มหาสารคาม ชัยภูมิ สระบุรี ลพบุรี เพชรบูรณ์ พิษณุโลก อุตรดิตถ์ นครสวรรค์ สุพรรณบุรี กาญจนบุรี ปราจีนบุรี และสุราษฎร์ธานี

2.2.5 กระบวนการแปรรูปงาดำในอุตสาหกรรมอาหาร

ในอดีตการบริโภคงาจะนิยมใช้เมล็ดงาในการประกอบอาหารทั้งคาวและหวาน หรือบริโภคเมล็ดโดยตรง ปัจจุบันความรู้ทางด้านโภชนาการก้าวหน้าไปมาก จึงมีการแปรรูปงาในรูปแบบต่างๆ เช่น ครีมงาหรือเนยงา น้ำมันงา เป็นต้น ซึ่งทำให้งามีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น แต่เกษตรกรไทยยังไม่มีเทคโนโลยีหรืออุปกรณ์ที่ดีพอ เพื่อนำมาใช้ในการแปรรูปงา เช่น การทำเนยงาหรือครีมงาโดยมากใช้เครื่องบดอาหารที่เรียกว่า Moulinex ซึ่งสามารถทำได้ในปริมาณน้อย ยุ่งยาก และขณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บดจะมีครีมงาติดที่ใบบดทำให้เครื่องชำรุดเสียหายเร็ว ส่วนการบดงาในปริมาณมากๆ ที่ทำเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กและกลางนั้น จะต้องใช้เครื่องบดที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ส่วนการสกัดน้ำมันงาทำได้โดย โขกเมล็ดงาด้วยครกให้ละเอียด แล้วนำไปใส่พาชนะที่มีน้ำร้อน เมื่อน้ำมันงาลอยตัวขึ้นผิวบนก็ใช้ช้อนตักแยกออก จึงจะได้น้ำมันงา ต่อมามีการพัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันงาแบบท่อซุง เป็นการใช้ท่อนไม้เจาะรูกลวงด้านใน เว้นหัวท้ายทำเป็นเกลียว อัดด้วยแรงคน แต่ต้องนำเมล็ดงาไปคั่วให้ร้อนก่อน แล้วจึงนำมาบดให้ละเอียดโดยใส่แผ่นกลมๆวางซ้อนในท่อนซุง ใช้แรงคนกดทับ น้ำมันงาจะไหลลงสู่ด้านล่างของท่อนซุงซึ่งมีถาดรองรับโดยผ่านการกรอง

2.2.6 สารอาหารในงาดำ

2.2.6.1 โปรตีน ในงามีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย คือ กรดอะมิโนเมธิโอนีน ในถั่วเหลืองมีกรดอะมิโนที่จำเป็นตัวนี้น้อย ชาวมังสวิรัติจึงใส่งาลงไปในอาหารถั่วเหลืองที่ปรุง เพื่อให้มีสารโปรตีนสมบูรณ์มากขึ้น

2.2.6.2 ไขมัน เมล็ดงามีน้ำมัน 45-55% เป็นน้ำมันที่มีกลิ่นหอม สีสวยและไม่เหม็นหืนง่าย มี กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูง ทั้งกรดไขมันโอเมก้า 3 กรดไขมันโอเมก้า 6 ที่มีคุณสมบัติช่วยลดโคเลสเตอรอล จึงช่วยป้องกันหลอดเลือดแข็งตัว ป้องกันโรคหัวใจ ทำให้ระบบหัวใจแข็งแรง นอกจากนี้ยังมีกรดไขมันไลโนเลอิก (linoleic acid) ซึ่งช่วยทำให้ผมดกดำ บำรุงผิวพรรณให้ชุ่มชื้น

2.2.6.3 เกลือแร่ 4.1-6.5% ที่สำคัญคือ เหล็ก ไอโอดีน สังกะสี เซเลเนียม แคลเซียม และฟอสฟอรัส โดยจะมีแคลเซียมมากกว่าพืชทั่วไป 20 เท่า งาดำมีแคลซียมมากกว่างาขาวประมาณ 2 เท่า และถ้าใช่ร่วมกับถั่วจะทำให้ได้อัตราส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัส เหมาะสมต่อการดูด

2.2.6.4 สารกลุ่มลิกแนนส์ กลัยโคไซด์ เป็นสารสำคัญที่ใช้ในเครื่องสำอางบำรุงผิว โดยทำเป็นครีม โลชั่น ช่วยในการทำให้ผิวหนังชุ่มชื่น ช่วยชะลอความแก่และต้านอนุมูลอิสระ

2.2.6.5 สารเซซามินในเมล็ดงา สามารถลดระดับ LDL-cholesterol ในกระแสเลือดของคน (ซึ่ง LDLcholesterolเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรค Athersclerosis (ไขมันอุดตันในเส้นเลือด)

2.2.6.6 แคลเซียม มีมากกว่านมวัวถึง 6 เท่าทั้งยังอุดมไปด้วยธาตุเหล็กแมกนีเซียม สังกะสี ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และทองแดง และมีวิตามินบีชนิดต่าง ๆ ซึ่งดีต่อระบบประสาท ช่วยทำให้นอนหลับง่าย บำรุงร่างกายให้กระฉับกระเฉง และมีวิตามินอี ซึ่งเป็นแอนตีออกซิแดนต์ช่วยต้านมะเร็งต่าง ๆ

2.2.6.7 วิตามินบีคอมเพล็กซ์หรือที่เรียกกันว่าวิตามินบีรวม ที่อยู่ภายในเมล็ดงาช่วยป้องกันโรคเหน็บชา บำรุงกระดูก นอกจากนี้ใยอาหารที่ได้จากการรับประทานงายังป้องกันอาการท้องผูกและช่วยบรรเทาอาการริดสีดวงทวาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การงอกและสารอาหาร

2.3.1 สารกาบา (Mayer, Cherry, & Rhodes, 1990)

GABA เป็นกรดอะมิโนที่ผลิตจากกระบวนการ decarboxylation ของกรดกลูตามิก (glutamic acid) กรดนี้จะมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาท(neurotransmitter) ในระบบประสาทส่วนกลาง นอกจากนี้ GABA ยังถือเป็นสารสื่อประสาทประเภทสารยับยั้ง (inhibitor) โดยจะทำหน้าที่รักษาสมดุลในสมองที่ได้รับการกระตุ้น ซึ่งช่วยทำให้สมองเกิดการผ่อนคลายและนอนหลับสบาย อีกทั้งยังทำหน้าที่ช่วยกระตุ้นต่อมไร้ท่อ (anterior pituitary) ซึ่งทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนที่ช่วยในการเจริญเติบโต (HGH) ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อ ทำให้กล้ามเนื้อเกิดความกระชับ และเกิดสาร lipotropic ซึ่งเป็นสารป้องกันการสะสมไขมัน ได้มีการนำสาร GABA มาใช้ในวงการแพทย์เพื่อการรักษาโรคเกี่ยวกับระบบประสาทต่างๆ หลายโรค เช่น โรควิตกกังวล โรคนอนไม่หลับ โรคลมชัก เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีผลการวิจัยด้านสุขภาพกล่าวว่า สารGABA มีผลช่วยลดความดันโลหิต ลด LDL (Low densitylipoprotein) ลดอาการอัลไซเมอร์ ลดน้ำหนัก ทำให้ผิวพรรณดี ตลอดจนใช้บำบัดโรคเกี่ยวกับระบบประสาทส่วนกลางได้

2.3.2 สารไอโซฟลาโวนส์ (ศัลยา, 2546)

ไอโซฟลาโวนที่พบในถั่วเหลือง เป็นสารกลุ่มที่มีโครงสร้างคล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจน จึงสามารถไปจับกับตัวรับเอสโตนเจนในร่างกายได้ สารในกลุ่มนี้ที่พบมากคือ genistein , daidzain และ coumestrol ซึ่งปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยกันมากถึงคุณสมบัติของสารเหล่านี้ต่อร่างกาย ได้แก่

2.3.2.1 ผลต่อภาวะกระดูกพรุน (Osteoporosis)

กระดูกซึ่งเป็นโครงสร้างของร่างกายมนุษย์นั้น จะประกอบด้วยเซลล์กระดูกซึ่งมีการสร้างมากกว่าทำลายเกิดขึ้นตลอดเวลา เซลล์กระดูกจะมีการสร้างมากว่าทำลายในช่วงอายุ แรกเกิดถึง25 ปี จากนั้น มวลกระดูกจะคงที่จนถึงอายุ 35 ปี หลังจากนั้นจะมีการสลายตัวมากกว่าการสร้าง ทำให้มวลกระดูกลดลงทุกปี สำหรับสตรีนั้นพบว่า มวลกระดูกจะมีความสัมพันธ์กับระดับฮอร์โมนเพศหญิงในร่างกาย ในสตรีวัยทองซึ่งมีภาวะการขาดฮอร์โมนเพศหญิงนั้นมวลกระดูกจะลดลง จึงมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคกระดูกพรุนได้ง่าย ได้มีการพบว่าสารในกลุ่มไอโซฟลาโวนที่พบในถั่วเหลืองมีความสัมพันธ์ต่อความหนาแน่นของมวลกระดูก โดยจากผลการทดลองในสัตว์ทดลองที่ตัดรังไข่ออกไปนั้น จะพบว่าสัตว์ทดลองมีความหนาแน่นของกระดูกมากขึ้น เนื่องจากได้รับสารไอโซฟลาโวนส์นี้เข้าไป สำหรับหญิงที่มีอายุตั้งแต่ 35 ปีขึ้นไป ที่ยังไม่เกิดอาการของการขาดฮอร์โมนนั้นสามารถป้องกันและหลีกเลี่ยงโรคกระดูกพรุนได้ โดยการบริโภคอาหารจากถั่วเหลืองเพื่อให้ได้สารไอโซฟลาโวนส์ในปริมาณวันละ 50-150 มก. ร่วมกับการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ รับประทานอาหารให้ครบ 5 หมู่ เพื่อให้สารอาหารที่ครบถ้วน หลีกเลี่ยงการดื่มสุรา สูบบุหรี่ และการใช้ยาสเตียรอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 ผลต่อภาวะคลอเลสเตอรอลในเส้นเลือด

เนื่องจากระดับคลอเลสเตอรอลในเลือดนั้น มีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด ซึ่งพบว่าในสตรีที่มีภาวะการขาดฮอร์โมนเอสโตรเจนนั้น มีโอกาสเสี่ยงต่อภาวะระดับคลอเลสเตอรอลในเลือดสูง เนื่องจากโคเลสเตอรอลเป็นสารตั้งต้นตัวหนึ่งในการสร้างฮอร์โมนและเมื่อรังไข่หยุดสร้างฮอร์โมนจะมีผลทำให้มีคลอเลสเตอรอลเหลือ จึงส่งผลให้มีระดับในคลอเลสเตอรอลสูงได้ นอกจากนั้นยังพบว่าสารกลุ่มไอโซฟลาโวน เช่น Genistein เป็นสารสำคัญในถั่วเหลืองที่มีผลต่อการลด LDL และเพิ่ม HDL ช่วยป้องกันภาวะหลอดเลือดแข็งตัวและลดการจับตัวของเกล็ดเลือดที่เป็นเหตุให้เกิดภาวะการอุดตันของหลอดเลือดได้

2.3.2.3 ผลต่อภาวะเสี่ยงการเป็นมะเร็ง

เนื่องจากสารกลุ่มไอโซฟลาโวนส์นี้มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ดังนั้นจึงเชื่อว่าจะมีผลในการป้องกันความเสี่ยงของร่างกาย ชะลอความแก่ และมีผลในการป้องกันความเสี่ยงของร่างกายชะลอความแก่ และมีการป้องกันการเกิดมะเร็งหรือเนื้องอกต่าง ๆ

2.3.2.4 ผลต่อภาวะของหญิงวัยหมดประจำเดือน

ถั่วเหลืองเหมาะสำหรับหญิงวัยหมดประจำเดือน ซึ่งพบว่า การรับประทานถั่วเหลืองเป็นประจำ จะช่วยลดความถี่และความรุนแรงของอาการร่อนวูบวาบ (Hot Flush) และยังช่วยควบคุมระดับฮอร์โมนเพศ

2.4 การอบแห้งแบบพ่นฝอย (ญาณิกาและคณะ, 2549)

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมกับการทำแห้งที่เหมาะกับผลิตภัณฑ์เริ่มต้นที่เป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Solution) หรือสารละลายที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Non-Homogeneous Solution) เป็นกรอบแห้งแบบรวดเร็ว อาหารสัมผัสกับความร้อนในระยะเวลาสั้น การอบแห้งแบบพ่นฝอยจะประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ คือ จะให้ของเหลวหรือสารละลายอาหารถูกทำเป็นละอองฝอยด้วยหัวอัดฉีด (Atomizer) เข้าไปในห้องทำแห้งซึ่งมีลมร้อนผ่านเข้ามาทำให้ละอองฝอยของอาหารสัมผัสกับลมร้อนและเกิดการระเหยของน้ำในละอองฝอย อนุภาคที่แห้งจะลอยกระจายในลมร้อนแล้วเข้าสู่เครื่องแยกไซโคลนออกจากเครื่องเป็นผลิตภัณฑ์ผง อาหารที่ป้อนเข้าไปจะถูกควบคุมให้เหมาะสมกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ตัวแปรที่ถูกควบคุม เช่น ความหนืด ความเข้มข้น และองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ลักษณะการไหล ตัว Atomizer (หัวอัดฉีด) การส่งผ่านความร้อนและมวลการแยกอาหารแห้งออกจากกระแสลม เป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะอาหารผงและประสิทธิภาพการทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 อาหารที่ใช้ในการ Spray Drying สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.4.1.1 แบบไม่เหนียวหนืด (Non-Sticky) ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะมีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพแน่นอน มีการดูดซับน้ำที่น้อยกว่าและมีอัตราการไหลไปยัง Chamber ที่คงที่ การออกแบบกระบวนการผลิตและเครื่องสามารถทำได้โดยง่าย เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภท หางนม โปรตีน แป้ง

2.4.1.2 แบบเหนียวหนืด (Sticky) จะมีผลิตภัณฑ์ที่คงเหลืออยู่ในรูปของไซรัปหรือติดอยู่ตามผนังของห้อง ซึ่งจะทำให้ค่าประสิทธิผลต่ำลงและเกิดปัญหาในกระบวนการโดยอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงไม่กี่องศาในกระบวนการผลิตก็อาจทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้นได้ เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภท น้ำผัก ผลไม้ พวกน้ำตาลแลกโตส

2.4.2 ลักษณะการไหลภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

มีหลายแบบโดยทั่วไปแล้วจะสามารถแบ่งได้ 4 แบบ คือ

2.4.2.1 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดสวนทางกัน

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดสวนทางกัน ของเหลวจะถูกพ่นใกล้กับส่วนบนของห้องอบแห้งและตกลงมา ขณะที่อากาสจะนำเข้าสู่เครื่องใกล้กับด้านล่างของห้องอบแห้ง และเคลื่อนที่สู่ด้านบนผ่านหยดเหลวผลิตภัณฑ์ที่แห้งจะออกจากด้านล่างของห้อง ขณะที่อากาสถูกกำจัดออกใกล้ส่วนบนของห้องอบแห้งอากาศที่เข้าซึ่งมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง จะสัมผัสโดยตรงกับผลิตภัณฑ์ซึ่งแห้งหรือเกือบแห้ง แต่ข้อเสียของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ซึ่งแห้งหรือเกือบแห้ง แต่ข้อเสียของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะลดลงเนื่องจากความร้อนที่มีต่อผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้อัตราไหลของอากาสต้องค่อนข้างต่ำเพื่อหลีกเลี่ยงผลิตภัณฑ์ติดไปกับอากาศในปริมาณมาก เมื่ออากาศถูกดูดออกจากด้านบนของเครื่อง

2.4.2.2 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน จะมีการผสมอากาศเข้ากับหยดของเหลวที่เกิดขึ้นใหม่ที่เครื่อง Atomizer หลังจากการผสมตอนต้นแล้วผลิตภัณฑ์และอากาสจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับขณะที่กระบวนการทำแห้งดำเนินต่อไปผลิตภัณฑ์และอากาศส่วนใหญ่จะออกจากเครื่องอบแห้งที่ทางออกด้านล่างและเคลื่อนที่ไปยังระบบแยก การจัดตัวเช่นนี้เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ที่มีความไวต่อความร้อนเนื่องจากผลิตภัณฑ์เหลวสัมผัสกับอากาศเข้าอุณหภูมิสูงและผลิตภัณฑ์แห้งสัมผัสกับอากาศร้อนหลังจากอุณหภูมิลดลงอย่างมาก

2.4.2.3 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน

การไหลของผลิตภัณฑ์และอากาศผ่านเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน ผลิตภัณฑ์จะเข้าสู่เครื่องด้วยตัว Atomizer ที่อยู่ใกล้กับศูนย์กลางห้องอบแห้ง อากาศที่เข้าส่วนบนจะเคลื่อนที่ลงมาด้านล่างของห้องอบแห้ง ซึ่งจะสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะคลื่อนที่ขึ้นด้านบนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังช่องอากาศภายนอก ผลิตภัณฑ์จะออกใกล้กับส่วนล่างของห้องอบแห้ง ถ้าอุณหภูมิของอากาศที่เข้าเครื่องสูงอาจทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ระบบนี้มีความสามารถในการระเหยต่อหน่วยปริมาตรสูงขึ้น

2.4.2.4 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลขนานกัน

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลขนานกัน การไหลของผลิตภัณฑ์และอากาศค่อนข้างจะเป็นเส้นสม่ำเสมอจากด้านบนสู่ด้านล่างของห้องอบแห้งที่แคบ ผลิตภัณฑ์และอากาศจะออกจากห้องอบแห้งด้วยกัน แล้วเคลื่อนที่ไปยังส่วนที่ใช้แยกของระบบ ลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบนี้จะแตกต่างจากชนิดกระแสไหลตามกัน คือ ความเร็วลมที่ใช้สูง ทำให้อุณหภูมิอากาศเข้าสูงความเร็วลมนี้โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 2-3 เมตรต่อวินาที

2.4.3 หัวฉีดที่ใช้พ่นของเหลวในเครื่องอบแห้ง

มีหลายชนิดจำแนกออกเป็น 4 ชนิดคือ

2.4.3.1 Centrifugal Pressure Nozzle หัวจ่ายนี้จำเป็นต้องใช้ความดันในการอัดของเหลวผ่านช่องเปิดเล็กๆ แล้วเกิดแผ่นของเหลวขึ้นซึ่งจะแตกออกเป็นหยดเล็กๆตามต้องการสำหรับการอบแห้งแบบพ่นฝอย เครื่อง Nozzle นี้จะทำให้เกิดแผ่นของเหลวลักษณะเป็นกรวยซึ่งเกิดจากการบีบของเหลวให้ไหลผ่านช่องเปิดวงแหวนแคบๆ

2.4.3.2 Fan-Spray Nozzle ใช้ทำให้เกิดหยดเหลวโดยกระทบกระแสของเหลวบนช่องเปิดเล็กๆ ซึ่งออกแบบมาเพื่อให้เกิดแผ่นของเหลวในระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบของของกระแสของเหลว แผ่นบางๆของของเหลวจะเกิดขึ้นแล้วแตกออกเป็นหยดของเหลว Fan-Spray Nozzle จะทำงานได้ดีที่สุดที่ความดันสูงและมีมุมการพ่นกว้างมาก

2.4.3.3 Two-Fluid Atomizer หลักการ คือ การใช้กระแสก๊าซความเร็วสูงเพื่อให้กระทบกับกระแสของเหลวความเร็วต่ำ แล้วแตกออกเป็นหยดของเหลวเล็กๆ การกระทบของตัวของของเหลวในกระแสก๊าซจริงๆ อาจจะเกิดขึ้นภายในตัวอะตอมไมเซอร์ โดยทั่วไปตัวอะตอมไมซ์เหล่านี้ มักจะใช้กำลังมากและอาจจะไม่ประหยัดที่ความจุสูง หยดของของเหลวละเอียดเล็กๆ สามารถเกิดขึ้นที่อัตราการไหลต่ำ และใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูง

2.4.3.4 Rotary atomizers จะใช้แรงเหวี่ยงให้เกิดแผ่นของของเหลว ซึ่งแตกออกเป็นหยดตามต้องการ ของเหลวจะส่งจะส่งเข้าไปยังผิวที่หมุนและเคลื่อนผ่านผิวเพื่อให้เกิดแผ่นบางที่เส้นรอบวง เนื่องจากแรงที่ทำให้เกิดแผ่นของเหวงขึ้นกับความเร็วของการหมุนโดยตรง ตัวอะตอมไมเซอร์ ชนิดนี้สามารถใช้กับอัตราการป้อน และคุณสมบัติของเหลวได้ในช่วงกว้างขนาดของหยดเหลว ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วของจานและอัตราการป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การส่งผ่านความร้อนและมวลในห้องอบแห้ง

รายละเอียดเกี่ยวกับการส่งผ่านความร้อนและมวลในห้องอบแห้งที่แท้จริงยังไม่ทราบมาก เนื่องจากมีปัจจัยหลายตัวแปร เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และการกระจายตัวของละออง ทำการวัดค่าได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามจากทฤษฎีสามารถอธิบายดังนี้

2.4.4.1 ในระยะเริ่มต้น อุณหภูมิของอนุภาคจะเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิกระเปราะเปียก

2.4.4.2 ในระยะที่สอง เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นภายในอนุภาคเพิ่มขึ้นและค่าปริมาณน้ำอิสระ ที่ผิวหน้ามีค่าลดลง ดังนั้นทำให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าสูงถึงอุณหภูมิกระเปราะเปียก

2.4.4.3 ในระยะที่สาม การแพร่ภายในจะถูกจำกัดลง

2.4.4.4 ปริมาณความชื้นวิกฤตจะลดต่ำลง จนทำให้ผิวหน้าของอนุภาคไม่ยอมให้สารกลิ่นรสผ่านไปได้ดังนั้น สามารถป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสได้

2.4.5 การแยกอาหารผงจากระบบการอบแห้ง

เมื่อการระเหยนี้ออกจากหยดของเหลวเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้วอาหารผงจะตกลงสู่ส่วนล่างของถังอบแห้งและถูกดูดออกมาตามท่อลมออก ซึ่งอาหารผงสามารถแยกออกจากอากาศร้อนด้วยระบบไซโคลน (Cyclone Separator) โดยอาศัยแรงเหวี่ยงและการถ่ายเทโมเมนตัม สามารถแยกของแข็งได้ถึงร้อยละ 95-98 ของปริมาณของแข็ง

2.4.6 ค่าปัจจัยในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้

ได้มีรายงานแสดงผลความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ผงดังนี้

2.4.6.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง

ที่อัตราการไหลของอากาศคงที่ อุณหภูมิอากาศเข้าและอุณหภูมิอากาศออกมีผลต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศเข้าเป็นการเพิ่มแรงขับ (Driving Force) ของน้ำในอนุภาคที่จะระเหยออกไป เป็นผลให้ความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Effciency) ของการอบแห้ง ในสภาพการทำงานจริง ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นสุดท้ายค่าหนึ่งเท่านั้น เพื่อให้ได้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีตามต้องการ ดังนั้นอุณหภูมิอากาศออกต้องอยู่ในช่วงเวลาที่กำหนดไว้แน่นอน ในบางกรณีต้องเลือกสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิอากาศออกต่ำซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง เพื่อป้องกันการรวมตัวหรือดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บ

2.4.6.2 ความเข้มข้น

ถ้าเพิ่มปริมาณของแข็งในสารละลายที่ป้อนโดยที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่จะมีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากปริมารของแข็งในอนุภาคที่พ่นฝอยจะเพิ่มขึ้นในขณะที่อัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การระเหยน้ำยังคงเดิม ดังนั้นอัตราส่วนของความชื้นต่อของแข็งที่เหลืออยู่ในอนุภาคจะน้อยกว่าในกรณีที่ปริมาณของแข็งในสารละลายต่ำ ผลที่ได้ตามมาคือผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง

2.4.6.3 อัตราการป้อน

การเพิ่มอัตราการป้อนโดยที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่ มีผลทำให้อนุภาคที่พ่นฝอยมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นต่ำ และเมื่อเพิ่มอัตราป้อนโดยที่อัตราการไหลของอากาศร้อนเข้าและปริมาณความร้อนที่ให้ระบบคงที่มีผลทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

2.4.6.4 การไหลเวียนของลมร้อน

ลมแห้งที่เข้าในห้องอบแห้งจะถูกควบคุมอัตราการไหลด้วยมอเตอร์ สามารถปรับระดับให้อัตราลมร้อนเข้าออกเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ การปรับการไหลเวียนลมร้อนมีผลต่อความดันภายในห้องอบลมร้อน ถ้าความดันเปลี่ยนก็จะมีผลต่อปริมาณการระเหยของไอน้ำ ดังนั้น ระดับการหมุนเวียนลมภายในห้องอบมีผลต่อประสิทธิภาพอุปกรณ์การทำแห้ง โดยอัตราการไหลเวียนลมร้อนสูงทำให้การแยกไซโคลนมีประสิทธิภาพสูงและอัตราการไหลเวียนลมร้อนต่ำให้ระดับความชื้นคงเหลือในผลิตภัณฑ์ต่ำ

2.4.6.5 ปั๊ม

ปั๊มที่ใช้อัดของเหลวเข้าสู่นอสเซิล ความเร็วของปั๊มมีผลต่อค่าความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออก อัตราเร็วปั๊มมีผลต่ออัตรามวลเข้า ปริมาณของเหลวผ่านมากก็ต้องใช้พลังงานมากในการระเหยน้ำออก การที่อุณหภูมิทางออกลดลงนี้เป็นข้อจำกัดปั๊มทำให้อนุภาคไม่แห้งพอมีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้เหนียวหนืดหรือผนังห้องอบแห้งเปียก ขนาดปั๊มขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความหนืดของของเหลวที่จะทำแห้ง และขนาดท่อ

การเพิ่มขนาดปั๊มทำให้อุณหภูมิทางออกลดลงและทำให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกเพิ่มขึ้นการลดขนาดปั๊มและคงอุณหภูมิขาเข้าและอัตราการไหลเวียนลมร้อนไว้จะเพิ่มความแห้งให้กับตัวผลิตภัณฑ์

2.4.6.6 อัตราการพ่น (Spray)

อัตราการพ่นคือปริมาณลมพอเพียงที่ใช้อัดให้ของเหลว (ของผสม สารแขวนลอย) เกิดการกระจาย อาจใช้แก๊สอื่นในการอัดได้ อัตราการพ่นมีผลต่อขนาดผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำให้ขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่ได้เล็กลงและความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้นทำให้อนุภาคของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีขนาดใหญ่และความพรุนมาก (พิพัฒน์ , 2548)

119392

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าปัจจัยตัวแปรในกระบวนการอบแห้งที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้

ตัวแปรต้น/ตัวแปรตาม	อัตราการดูดอากาศออก (เพิ่ม)	ความชื้นของอากาศ (เพิ่ม)	อุณหภูมิขาเข้า (เพิ่ม)	อัตราของอากาศที่เข้า(เพิ่ม)	อัตราการป้อนวัตถุดิบ (เพิ่ม)	ตัวทำลายที่แทนที่น้ำ	ความเข้มข้น (เพิ่ม)
อุณหภูมิขาออก	(เพิ่ม) ความร้อนสูญเสียในกระบวนการผลิตน้อยลง	(เพิ่มเล็กน้อย) มีพลังงานถูกเก็บสะสมในรูปความชื้น	(เพิ่มมาก) เป็นอัตราส่วนโดยตรง	(ลดเล็กน้อย) ปริมาณอากาศที่ต้องให้ความร้อนเพิ่มขึ้น	(ลด) เพิ่มปริมาณพลังงานในการให้ความร้อน	(เพิ่มขึ้น) สูญเสียพลังงานในการทำให้ตัวทำละลายร้อนน้อยลง	(เพิ่ม) น้ำที่จะระเหยมีปริมาณลดลง
ขนาดอนุภาค	-	-	-	(ลดลงมาก) ต้องใช้พลังงานมากในการกระจาย	(เพิ่มเล็กน้อย) ทำให้ของไหลมีการกระจายดีขึ้น	(ลดเล็กน้อย) ลดแรงตึงผิว	(เพิ่มมาก) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น
ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์	(เพิ่ม) จะสูญเสียความดันบางส่วนในการระเหยน้ำ	(เพิ่ม) จะสูญเสียความดันบางส่วนใน การทำให้อากาศแห้ง	(ลด) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะต่ำลง	-	(เพิ่ม) น้ำที่เพิ่มข้นทำให้ความดันสูญเสียเพิ่มขึ้น	(ลดลงมาก) ไม่มีการป้อนน้ำทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งมากขึ้น	(ลดเล็กน้อย) น้ำที่ระเหยน้อยลงทำให้สูญเสียความดัน ลดลง
ค่า yield	(เพิ่ม) ทำให้ประสิทธภาพในการแยกขนาดที่ไซโคลนดีขึ้น	(ลดลงน้อย) ความชื้นที่มากขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์ติดกัน	(เพิ่มเล็กน้อย) ผลิตภัณฑ์แห้งจะช่วยป้องกันการติดกัน	-	ขึ้นอยู่กับการปรับแต่ง	(เพิ่ม) พวกที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำจะทำการทำแห้งง่ายขึ้น	(เพิ่มเล็กน้อย) อนุภาคที่ใหญ่ทำให้ประสิทธิภาพการแยกขนาดดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สารช่วยทำแห้ง

สารช่วยทำแห้งเป็นสารที่ถูกใส่เพิ่มเข้าไปเพื่อลดการเหนียวติดบนผนัง Chamber และมีการไหลของอนุภาคผงได้อย่างอิสระมากขึ้น สามารถแบ่งตามลักษณะหน้าที่ออกเป็น 4 ประเภท คือ สารช่วยดูดซับ สารเพิ่มความยืดหยุ่น สารเพิ่มความคงตัว และสารเพิ่มปริมาณ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทำแห้ง ที่เพิ่มเติมลงไปในสารป้อนก่อนเข้าสู่เครื่องอบแห้ง ส่วนใหญ่ในอุตสาหรรมอาหารจะใช้มอลโตเด็กซ์ตริน

2.5.1 มอลโตเด็กซ์ตริน (Maltodextrin)

แป้งมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต Maltodextrin ที่มีค่าสมมูลเด็กซ์โทรสต่ำคือ 5 10 15 และ 20 ได้โดยการใช้เอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส 2 ชนิด ได้แก่ เอนไซม์ Termamyl และ Ban (Novo Nordisk , Denmark) โดยเอนไซม์ทั้งสองจะมีกิจกรรมสูงเมื่อทำงานในภาวะที่มีความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วงที่เป็นกลางหรือกรดเล็กน้อย (5.0 ถึง 7.0) แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ทั้งสองจะแตกต่างกัน คืออุณหภูมิ 95 และ75 องศาเซลเซียส สำหรับ Termamyl และ Ban ตามลำดับ เมื่อทำการย่อยแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยใช้เอนไซม์ทั้งสองพบว่า สามารถผลิต Maltodextrin ที่มีค่าสมมูลเด็กโทรสตามต้องการได้โดยใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ทั้งสองพบว่า สามารถผลิต Maltodextrin ที่มีค่าสมมูลเด็กซ์โทรสตามต้องการได้โดยใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยต่างกันผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเอนไซม์ทั้งสองมีค่า DE ใกล้เคียงกัน แต่จะมีองค์ประกอบของน้ำตาลแตกต่างกันเล็กน้อย โดย Maltodextrin ที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เอนไซม์ Termamyl จะมีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในช่วงที่แคบกว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้โดยใช้เอนไซม์ Ban เมื่อพิจรณาตัวอย่างที่มีค่า DE เท่ากัน นอกจากนี้ Maltodxtrin ที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เอนไซม์ Ban จะมีสัดส่วนของโมเลกุลที่มีขนาดเล็กสูงกว่าที่เตรียมได้โดยต้องใช้เอนไซม์ Ban จะมีสัดส่วนของโมเลกุลที่มีขนาดเล็กสูงกว่าที่เตรียมได้โดยใช้เอนไซม์ Termamyl ด้วยอย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่มีค่า DE 5 ถึง 15 จากเอนไซม์ทั้งสองมีปริมาณน้ำตาลกลูโคส (DP = 1) ต่ำกว่าร้อยละ 1 ซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการของ Maltodextrin และเมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของน้ำตาลของ Maltodextrin ที่เตรียมได้จากมันสำปะหลังกับผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่เตรียมจากแป้งข้าวโพดและมันฝรั่ง พบว่า Maltodextrin ที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เอนไซม์ Ban และที่ได้จากแป้งข้าวดพดจะคล้ายคลึงกันและมีสัดส่วนของโมเลกุลที่มีขนาดเล็กสูงกว่าที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เอนไซม์ Termamyl และ Maltodextrin ที่เตรียมจากแป้งมันฝรั่งจะมีโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ที่ในสัดส่วนที่มากกว่า จากลักษณะน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของ Maltodextrin ต่างกัน มีผลทำให้สมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์ที่ได้แตกต่างกัน ที่สำคัญได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ และความหนืด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maltodextrin ที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้ Ban จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำมากกว่าตัวอย่างที่ได้จากเอนไซม์ Termamyl ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลที่มีโมเลกุลขนาดเล็กในสัดส่วนที่มากกว่า อย่างไรก็ตามสมบัติส่วนใหญ่ของ Maltodextrin ที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เอนไซม์ Termamyl และ Ban จะใกล้เคียงกันและคล้ายคลึงกับตัวอย่างทางการค้าที่เตรียมได้จากแป้งข้าวโพดมากกว่าแป้งมันฝรั่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความหนืดของสารละลาย Maltodextrin ซึ่งมีลักษณะเป็นของไหลแบบ Newtonian โดยที่ Maltodextrin ที่เตรียมได้จากแป้งมันฝรั่งจะมีค่า Consistency coefficient (K) สูงกว่าผลิตภัณฑ์ Maltodextrin ที่มีค่า DE เท่ากันที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพด

เหตุผลที่เลือกมอลโตเด็กซ์ตริน

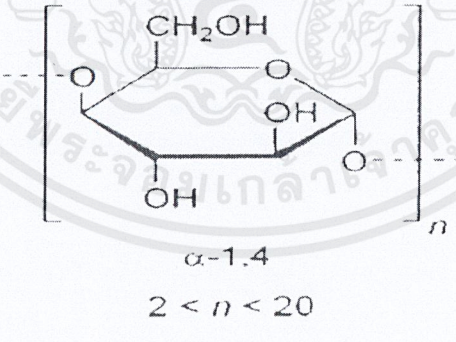
1.มีราคาที่เหมาะสมต้นทุนที่ได้ทำการทดลอง

2.มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง หาได้สะดวกและได้รับการยอมรับตามคุณสมบัติ

3.มีความเหมาะสมกับการมาเป็นสารทำแห้งได้ดี

2.5.1.1 โครงสร้างมอลโตเด็กซ์ตริน

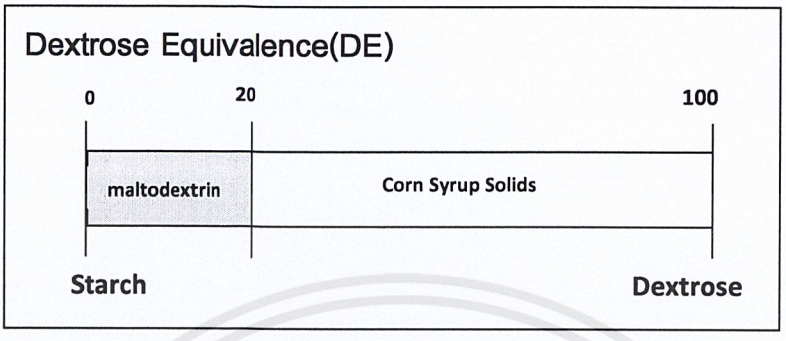
Maltodextrin เป็นโพลีแซคคาไรด์ ถูกใช้เพื่อเป็น Food Additive ได้จากการไฮโดรไลซิสแป้ง ประกอบด้วย D-glucose (dextrin) หนึ่งหน่วยต่อกันเป็นลักษณะโซ่ยาวดังภาพที่ 2.1 โดยความยาวสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ หน่วยของกลูโคสจะเชื่อมต่อกันแบบพันธะ α (1-4) Maltodextrin มีส่วนประกอบที่เป็นต้นแบบที่เกิดการรวมกันของสายโซ่ที่เปลี่ยนกลูโคสจากสามไปยังสิบเก้าหน่วยความยาว



ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างมอลโตเด็กซ์ตริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maltodextrin ถูกแบ่งประเภทโดย ค่า DE (dextrose equivalent) และมีค่า DE ถึง 20 หรือ สูงกว่า โดยส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่าง 5 ถึง 20 ถ้าสูงกว่า 20 ทาง European Union's CN จะเรียกว่ากลูโคสไซรัป (วิกกีพิเดียน) ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงค่า Dextrose Equivalence (DE)

บนพื้นฐานจากการใช้ประโยชน์ที่แตกต่างจากแป้ง ในอาหารต่างๆ โดยปกติการ hydrolysis ของแป้งใช้เพื่อเป็นกระบวนการของแป้ง Dextrose Equivalence (DE) บอกถึงปริมาณที่วัดของระดับการ hydrolysis แป้งโพลิเมอร์ ซึ่งเป็นการวัดปริมาณของพลังงานที่ลดลงเมื่อเทียบกับ dextrose stamdsrd ที่ 100 ระดับของผลกระทบที่เกิดการ hydrolysis เป็นคุณสมบัติในการทำงานของ maltodextrin (MD) และ corn syrup solid (CSS) ที่ค่า DE สูงๆ จะดีมีการเพิ่มขึ้นของการ hydrolysis และมีการเปลี่ยนแปลงที่ดีต่อคุณสมบัติในการทำงาน ซึ่งความสามารถในการละลายนี้ขึ้นกับค่า DE และชนิดของอาหารที่จะนำมาใช้ นอกจากนี้มอลโตเด็กซ์ตรินยังมีสมบัติให้ลักษณะความเป็นเนื้อแก่ผลิตภัณฑ์ ลักษณะทางกายภาพจะมีผงสีขาว ร่อน และมีความหวานเล็กน้อย ดังภาพที่ 2.2 โดยอยู่ในรูปของผงแห้งมากกว่าในรูปของสารละลาย ซึ่งมีความชื้นน้อยกว่า 5 % นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์คือ ช่วยในการเก็บรักษากลิ่นได้ เมื่อนำสารนี้ไปละลายน้ำอาจได้สารละลายใสหรือขุ่นขึ้นกับชนิดที่นำมาใช้ และสามารถละลายในอาหารที่เป็นของเหลวเช่น ซุป น้ำผลไม้ ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติพิเศษของมอลโตเด็กซ์ตริน

SPECIFICATION OF MALTODEXTRIN

SI.No	**Parameter**	**Unit**	**Standard Specifications**
1	Description	-	White to slightly cream poder
2	Reconstitution	-	Limpid to slightly opalescent without sediment – up to 40% in hot water
3	Enzymatic activity	-	Absent-alpha amylase
4	Moisture	%	5 max
5	PH	-	4-7
6	Drv substance	%	95
7	Dextrose equivalent	%	12-22
8	Ash	%	0.5 max
9	Starch	%	Negative – iodine test
10	Bulk density	g/cc	0.3-0.5
11	Microbial limits		
A	Total bacterial count	CFU/g	10,000
B	Salmonella	CFU/g	Nil
C	E.coli	CFU/g	Nil
12	Solubility	%	98 min

Note: Standard DE 8-10. DE 10-15. DE 15-20

ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะทางกายภาพของมอลโตเด็กซ์ตริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 Glass Transition

2.6.1 คุณสมบัติของ Glass Transition

Glass Transition เป็นการเปลี่ยนจากสภาวะทางกายภาพของวัสดุ อสัญฐาน(amorphous) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปจากของแข็งที่เป็น nonequilibrium ไปเป็นสภาวะของเหลวหนืด (rubbery, leathery และ syrup เป็นต้น) จะเกิดขึ้นระหว่างการทำให้เย็นลง ขณะที่น้ำถูกทำให้เย็นจัดต่ำกว่าจุดเยือกแข็งที่ตำแหน่งสูงจนเปลี่ยนเป็นแก้วถึง nonequilibrium สภาวะ glassy ของแข็ง, Glass Transition มีการสังเกตพบบ่อยๆว่าที่อุณหภูมิประมาณ 100 °C ภายใต้อุณหภูมิหลอมละลายที่สมดุล (T_m) ของสสาร crystalline ถึงอย่างไรการเปลี่ยนแปลงซึ่งมีความหมายระหว่างความแตกต่างของย่านอุณหภูมิที่สังเกต T_g และ T_m ค่าอัตราส่วน T_m / T_g เป็นตัวแปรที่มีประโยชน์มากสำหรับใช้อธิบายลักษณะของวัสดุที่เป็น noncrystalline

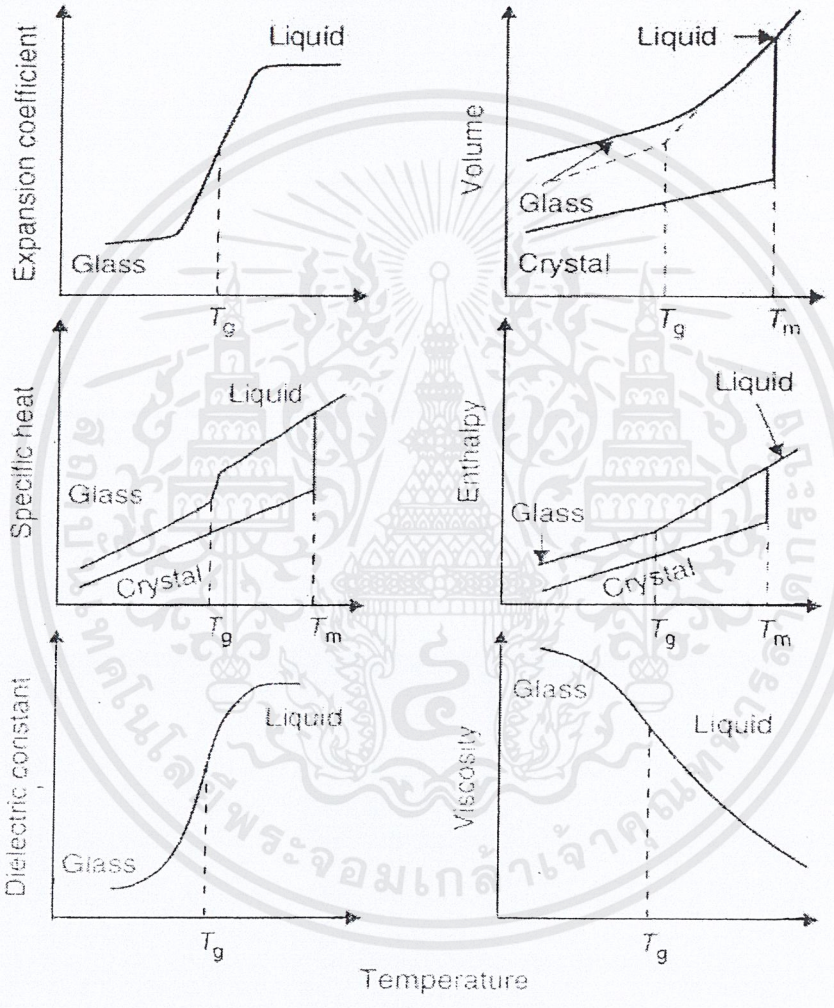
Glass Transition มีผลกระทบที่สำคัญต่อ relaxation time ของความแตกต่างที่หลากหลายในคุณสมบัติวัสดุ การเปลี่ยนแปลงความจุความร้อน ΔC_p หรือความจุความร้อนจำเพาะ ΔC_p และที่มีความสัมพันธ์กับการผ่อนคลายอื่นๆ ส่วนใหญ่กับ Glass Transition ที่เกิดขึ้นบนย่านอุณหภูมิในความกว้างของการเปลี่ยนส่วนมากจะมีความแตกต่าง เมื่อส่วนประกอบอาหารต่างชนิดกัน ในตัวอย่างนี้ย่านอุณภูมิที่ใช้งาน คือ 10-20 °C ไปเป็นน้ำตาลอสัญฐานมวลโมเลกุลต่ำมาก เนื่องจากว่าความกว้างของการเปลี่ยนในโปรตีนและโพลิเมอร์คาร์โบไฮเดรต เป็นแป้งและ gluten อาจจะขยายออกไปถึงจำนวน 10 เท่า (ระดับความแตกต่าง)

การหาค่าที่แม่นยำที่สุดของ Glass Transition ของวัสดุ polymeric คือได้มาโดยการทำให้เย็นลงของสิ่งที่หลอมละลายที่อัตราเร็วจำเพาะ และการที่จะหาค่าการเปลี่ยนอุณหภูมิที่มีการใช้ความจุความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การขยายออกหรือการวัดการบีบอัด ดังภาพที่ 2.4 ถึงอย่างไรก็ไม่ใช่ความเป็นไปได้เสมอสำหรับวัสดุอาหารซึ่งก็คือสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้มากมายโดยน้ำและในบางเหตุกาณ์ทำให้การแยกออกเป็นส่วนๆภายใต้อุณหภูมิหลอมละลาย ยิ่งกว่านั้นการทำให้เย็นลงแบบแตกต่างกันและอัตราความร้อนที่แตกต่าง ค่า T_g จะเปลี่ยนแปลงสำหรับทุกๆระบบรูปร่างอสัญฐานรวมถึงอาหาร ที่แสดงดังภาพที่ 2.5 และการเปลี่ยนแปลงที่อยู่ภายในย่านอุณหภูมิบางทีถูกนำไปใช้เป็นเกณฑ์ที่แตกต่างกันทำให้เงื่อนไขมีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน การทำให้เกิด T_g โดย Thermal history ซึ่งเป็นสิ่งที่ขาดการสนใจบ่อยๆแต่ hysteresis ใน Glass Transition สามารถถูกใช้ในการเพิ่มข้อมูลใน Thermal history ของวัสดุ Glasses สามารถที่จะถูกหลอมให้อ่อนตัวแล้วเย็นลงเมื่อได้รับ Glassy solid ที่ชนิดแตกต่างกัน ซึ่งอาจจะให้การดูดซับความร้อนที่แตกต่างกันและการผ่อนคลาย enthalpy ซึ่งดูดซับความร้อนรอบๆ Glass Transition และการผ่อนคลายในคุณสมบัติเทอร์โมไดนามิกส์อื่นๆ ถึงอย่างไรข้อมูลเล็กน้อยที่สามารถใช้ประโยชน์ได้เกี่ยวกับผลกระทบของความร้อนและ moisture history บนสภาพแวดล้อมและการผ่อนคลายของส่วนประกอบอสัญฐาน Glass transition temperature เดี่ยวๆให้อุณหภูมิอ้างอิงสำหรับย่านอุณหภูมิ Glass Transition แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

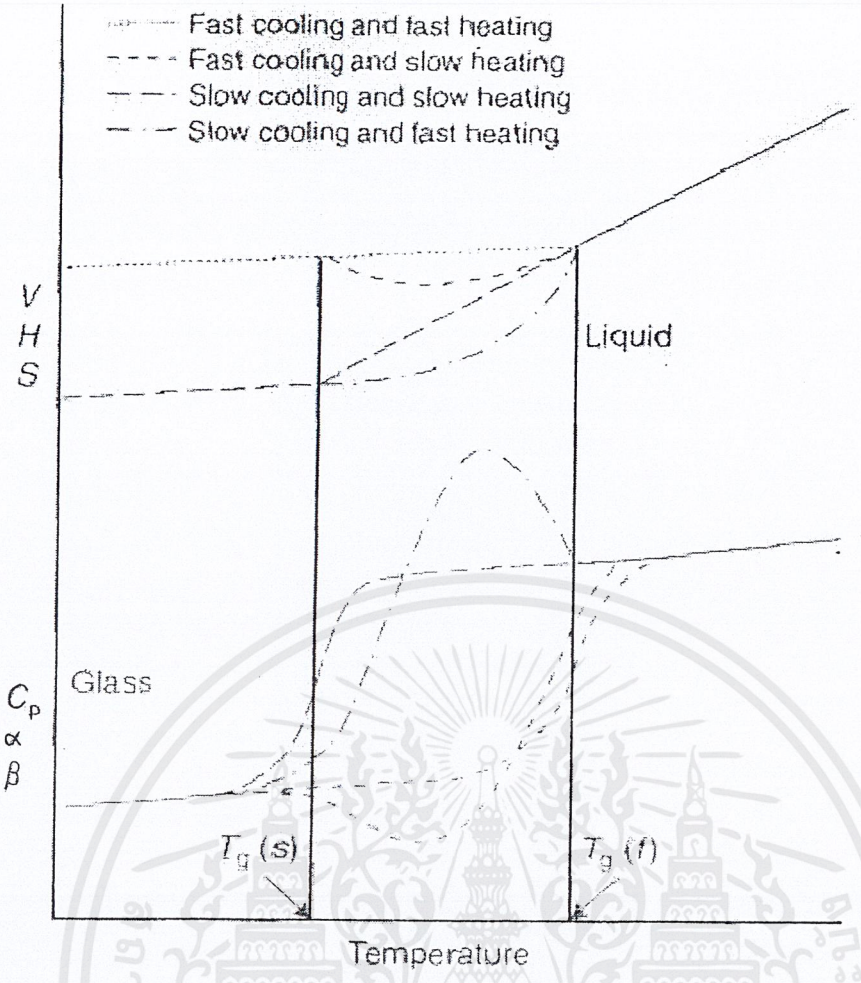
เวลาการผ่อนคลายที่อุณหภูมินั้น บางทีอาจจะขึ้นอยู่กับความแปรปรวนบนวิธีการและเกณฑ์การหาค่าของมัน

ผลกระทบที่สำคัญที่สุดของ Glass Transition ในคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุอาหาร คือ การเพิ่มขึ้นในการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเหนือกว่า Glass Transition ในสภาวะ rubbery สิ่งที่อาจจะมีผลกระทบต่ออัตราเร็วของความแตกต่างทางกายภาพที่แตกต่างกันและการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้เสื่อมโทรมทางเคมี ดังนั้นอาหารที่มีรูปร่างอสัญฐานต่างๆต้องดำเนินการและเก็บรักษาในสภาวะ Glassy ของตัวมันเองเพื่อให้คงคุณภาพและหลีกเลี่ยงความเสื่อมคุณภาพเร็ว



ภาพที่ 2.4 การนำเสนอ Schematic ของผลกระทบ glass transition บนค่าคงที่ dielectric ความร้อนจำเพาะ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน ความหนืด เอนทาลปี และปริมาตร เมื่อ glass อสัญฐานถูกให้ความร้อนจนเกินขอบเขต glass transition temperature ของมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 ผลกระทบของ thermal history บนβ ค่าสัมประสิทธิ์การบีบอัดความร้อน, α ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวความร้อน C_p ความร้อนจำเพาะ S เอนโทรปี H เอนทาลปี และ V ปริมาตร บนค่าเหล่านี้ที่ขอบเขต glass transition temperature และการสังเกตผลกระทบ thermal hysteresis ที่เป็นไปได้ขณะที่ glass ถูกให้ความร้อนจนเกิน glass transition temperature ของมัน ทำให้เกิดอัตราการทำให้เย็นลงและร้อนขึ้นเหมือนๆกัน โดยไม่ทำการสังเกต hysteresis แต่ค่า T_g ถูกใช้ในการหาค่าอัตราที่ช้าหรือเร็ว บางทีกลายเป็นความแตกต่างเล็กๆน้อยๆ การทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วเป็น glass กับปริมาตรเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานระหว่างความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนสูงกว่าขอบเขต T_g การทำให้เย็นตัวลงอย่างช้าๆ ทำให้เกิดการก่อรูปร่างของ glass สภาพพลังงานต่ำและต้องการพลังงานมากเป็นพิเศษ ขณะที่ความร้อนสูงกว่าขอบเขต T_g การสังเกตขนาด endotherm ในเส้นโค้ง DSC มีการเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ การอ่อนตัวลงเพิ่มขึ้นหรือเวลา aging ภายใต้ glass transition temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ทฤษฎีของ Glass Transition

ทฤษฎี free – volume

กฎพื้นฐานของทฤษฎีนี้ คือ ช่องว่างหรือโพรง ที่ทำให้มีการเคลื่อนที่ของมวลโมเลกุลได้ง่าย ในสภาพความจุที่ยอมรับให้มวลโมเลกุลเคลื่อนย้ายจากตำแหน่งหนึ่งไปยังตำแหน่งอื่นๆ ระหว่างช่องว่าง ทฤษฎี free – volume ซึ่งถูกใช้เป็นครั้งแรกในการบรรยายที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง second – order ใน polymers การบรรยายนี้เป็นสิ่งสำคัญในการวิเคราะห์ของวัสดุอาหารอสัญฐาน

ทฤษฎี free – volume ยอมรับว่า glass transition temperature ที่สามารถเข้าใจได้ว่าเป็นอุณหภูมิที่ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวความร้อนของวัสดุถูกปรับเปลี่ยน ยิ่งถ้าเป็นจริงกว่านั้น free volume (ปริมาตรอิสระ) ของวัสดุอสัญฐานเป็นค่าคงที่ที่ glass transition ทฤษฎีได้ถูกใช้ประโยชน์จากตัวแปรพารามิเตอร์เดี่ยวๆ ปริมาตรอิสระ V_f ในการเพิ่มเติมอุณหภูมิและความดันไปยังการบรรยายสภาวะอสัญฐานที่เป็น nonequilibrium ซึ่งสามารถให้คำจำกัดความที่ยอมรับในสมการ 1 ปริมาตรที่ยุ่งยาก V_0 ประกอบด้วยปริมาตรภายในแรงแวนเดอร์วาล์วและปริมาตรที่เกี่ยวข้องกับการสั่นมวลโมเลกุล

$$V_f = V - V_0 \qquad (1)$$

โดยที่ V คือ ปริมาตร macroscopic (ที่มองเห็นด้วยตาเปล่า) ของวัสดุ และ V_0 คือปริมตรยุ่งยากโดยโมเลกุล

ปริมาตรอิสระที่เป็นเศษส่วน (ส่วนย่อย) f คือ นิยามโดยสมการที่ 2 และสามารถเป็นไปได้ซึ่งเกี่ยวข้องกับ glass transition temperature ที่เป็นที่ยอมรับในสมการที่ 2.1 ปริมาตรอิสระเป็นสิ่งที่เกี่ยวข้องถึงการขยายตัวทางความร้อนของวัสดุ

$$f = \frac{V}{V_f} \qquad (2)$$

$$f = f_g + \alpha(T - T_g) \qquad (2.1)$$

โดยที่ f_g คือ fractional ปริมาตรอิสระที่ T_g และ α_f เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายปริมาตรอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรอิสระ คือ การทำให้ได้สัดส่วนไปยังอินเวิสน้ำหนักโมเลกุลและ Plasticizers น้ำหนักมวลโมเลกุลต่ำ ดังเช่น น้ำในวัสดุอาหารอสัญฐานปริมาตรอิสระเพิ่มขึ้น ทฤษฎี free – volume ได้มีการนำไปใช้ประสบความสำเร็จในการทำนายการเปลี่ยนเอนทาลปี หรือการผ่อนคลาย (relaxations) เอนทาลปีที่ T_g เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงใน thermal history

Free volume and Molecular Mobility (ปริมาตรอิสระ และการเคลื่อนโมเลกุล)

Williama et al. (1955) ได้ค้นพบจำนวนหลักฐาน วัสดุรูปร่าง glass เกือบจะเปลี่ยนแปลงเป็นสากลในช่วงเวลาการผ่อนคลาย (relaxation time) ใน glass transition เหล่านั้น การค้นพบนี้ทำให้รู้จักมากขึ้น หากว่าการทดลอง Williama – Landel – Ferry (WLF) ดังสมการที่ 2.2 ซึ่งช่วงเวลาการผ่อนคลายมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติเชิงกลไปถึงการอ้างอิงที่สูงกว่าอุณหภูมิ glass transition temperature จากการศึกษาต่อมา สมการ WLF ได้รับมาจากเทอร์โมไดนามิกส์ (Shen and Eisenberg , 1967 ; Ferry , 1980; Tant and Wilkes , 1981) และยิ่งไปกว่านั้นยังได้รับจากทฤษฎี Free - volume (Bauwens , 1986 ; Sperling , 1992)

Williama et al. (1955) ความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของช่วงเวลาการผ่อนคลาย A_t , ที่การสังเกตอุณหภูมิ θ , ไปยังช่วงเวลาการผ่อนคลายที่อุณหภูมิอ้างอิง θ_0 , ไปยังช่วงเวลาการผ่อนคลายที่อุณหภูมิอ้างอิง θ_0 ดังสมการที่ 2.2

$$A_t = \frac{\theta}{\theta_0} \qquad (2.2)$$

A_t แสดงถึง ความสัมพันธ์ไปยังจำนวนของปริมาณที่ขึ้นอยู่กับเวลาที่ Glass transition และอุณหภูมิอื่น ๆ (Sperling, 1992) ความสัมพันธ์ปริมาณที่ถูกใช้มากที่สุดไปยังการเปลี่ยนแปลง free - volume มากกว่า Glass transition คือความหนืด η , Williama et al. (1955) ได้แนะนำสมการที่ 2.3 ที่สามารถนำมาใช้ได้กับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในช่วงเวลาการผ่อนคลาย ตัวอย่างเช่น ความหนืดเหนือ Glass transition

$$A_t = \frac{-C_1(T-T_0)}{C_2+(T-T_0)} \qquad (2.3)$$

โดยที่ C_1 และ C_2 คือ ค่าคงที่, T คือ อุณหภูมิจากการสังเกตและ T_0 คืออุณหภูมิอ้างอิง

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับเวลาของจำนวนวัสดุรูปร่าง glass อนินทรีย์และอินทรีย์ที่แสดงนั้น เมื่อ glass transition temperature , T_g ได้ถูกนำไปเป็นอุณหภูมิอ้างอิง C_1 และ C_2 นั้นเป็นค่าที่นิยมใช้ อยู่ที่ -17.44 และ 51.6 ตามลำดับ (Williama et al, 1955) ค่านี้ได้ถูกนำมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บ่อยๆ ถึงรูปแบบช่วงเวลาการผ่อนคลายมากกว่า glass transition temperature การใช้ค่าที่นิยมนี้ยังไม่แนะนำโดย (Williama et al, 1955) และอาจไม่แนะนำให้นำมาใช้ในระบบอาหาร (Peleg, 1992)

ทฤษฎี free – volume มีความสัมพันธ์คงที่ของสมการ WLF ไปยังเศษส่วนปริมาตรอิสระและการขยายตัวทางความร้อน ดังนั้น ตามทฤษฎีจากสมการ WLF สามารถนำมาเขียนในรูปแบบของสมการที่ 2.3

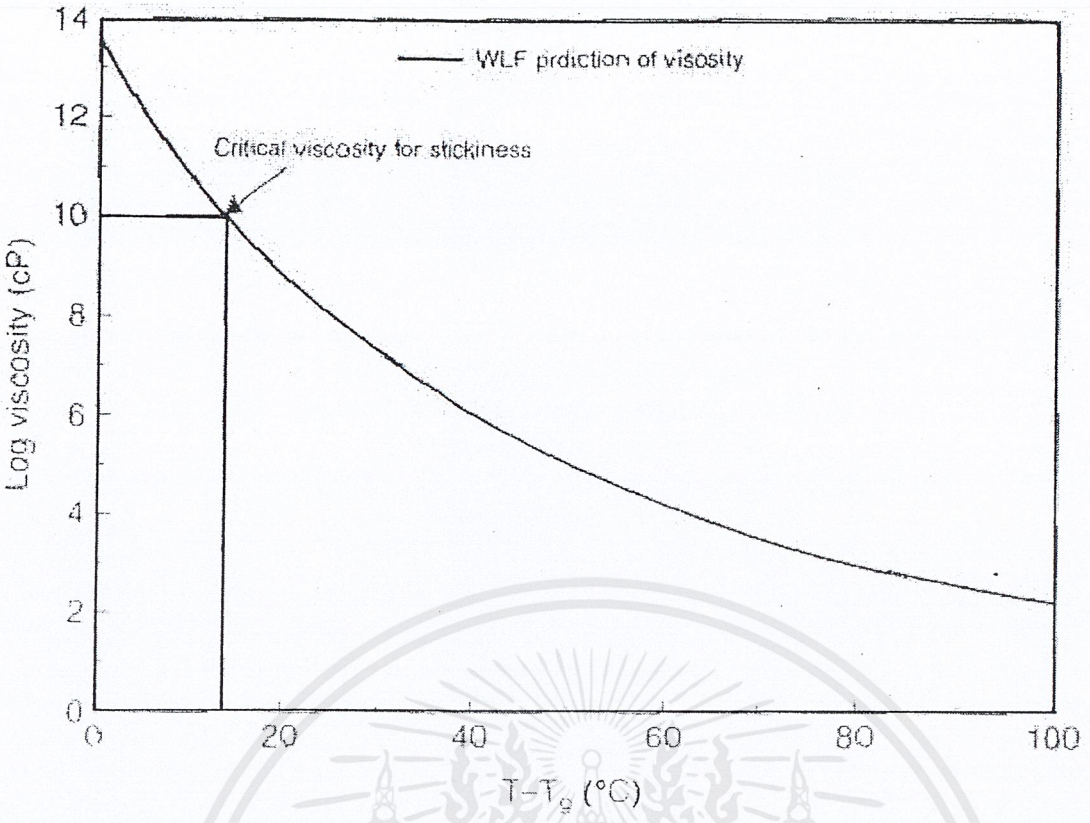
$$\mathrm{LnA_T} = \frac{-\left(\frac{B}{f_0}\right)(T-T_0)}{f_{0/\alpha_f} + (T-T_0)} \qquad (2.4)$$

โดยที่ B เป็นค่าคงที่, f_0 เป็นเศษส่วนอิสระที่ T_0 และ α_f เป็นค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของปริมาตรอิสระ

ดังสมการที่ 2.4 เมื่อ glass transition temperature ถูกใช้เป็นอุณหภูมิอ้างอิงกับค่าคงที่สากลใน WLF ปริมาตรอิสระที่ glass transition ของหลายๆ polymer คือ 2.5% (Sperling, 1992)

สมการ WLF สามารถเขียนให้อาศัยอุณหภูมิของความหนืดที่สูงกว่า T_g (Soesanto and Williams, 1981; Angell et al, 1982) การทำให้ความเหนียวลดลงที่สูงกว่า T_g ดังแสดงในภาพที่ 2.6 ค่าคงที่ที่นิยมใช้WLF ถูกนำมาใช้เป็นแบบจำลองเวลาไปยังการตกผลึกของน้ำตาลอสัญฐาน ที่สูงกว่าค่า T_g ของมัน โดย Roos and Karel (1990,1991) การนำสมการ WLF ไปใช้โดยทำการประมาณย่านอุณหภูมิจาก T_g ถึง T_g + 100 °C ภายใต้ T_g และสูงกว่า T_g + 100 °C ประเภท Arrhenius ที่ถูกนำไปใช้โดยอาศัยอุณหภูมิบ่อยๆ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่รุนแรงมากของคุณสมบัติเชิงกลเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงถึง T_g + 50 °C ดังแสดงในภาพที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 อาศัยอุณหภูมิของความหนืดวัสดุอสัญฐานที่สูงกว่า glass transition temperature นั้น ขณะที่ใช้การทำนายของ Williama – Landel – Ferry สมการที่ 2.3 (Williama et al, 1955) สมการนี้จะถูกนำมาใช้ประจำที่ช่วงอุณหภูมิของ T_g ถึง T_g + 100 °C (Downton et al, 1982) การรายงานความหนืดภายใต้ 10^{10} cP นำไปสู่การเกิดความเหนียวของวัสดุที่ระเหยน้ำ ความหนืดของวัสดุอสัญฐานที่ถูกให้ความร้อนจนสูงกว่า glass transition temperature ของมันถึง10^{10} cP ในบริเวณใกล้เคียงจุดสุดท้ายของการเปลี่ยนสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(สืบสกุล และคณะ, 2004) ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำนมข้าว โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองที่ใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมคือ วิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology, RSM) เลือกใช้หลักการออกแบบส่วนประสมกลาง (central composite design) ตัวแปรต้นมี 3 ตัวแปรได้แก่ อุณหภูมิลมร้อน อัตราไหลของอากาศร้อนและอัตราป้อนสาร ผลตอบที่ทำการศึกษาและเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ได้แก่ ปริมาณความชื้น (<3%) วอเตอร์แอกติวีตี้ (water activity 0.2 – 0.3) ดัชนีการดูดซับน้ำ (water absorption index , WAI 3.2-5.935) ดัชนีการละลายน้ำ (water solubility index , WSI 4.3-6.545%) พารามิเตอร์สีของผลิตภัณฑ์หลังคืนรูป (L*=45.40 dE * = 54.55 h * = 115.067) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิอากาศร้อน 192.5 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศร้อน 35 m^3/h และอัตราการป้อนสาร 740 ml/h ผลการทดลองเพื่อยืนยันผลที่สภาวะดังกล่าวพบว่า มีความแตกต่างกันน้อยกว่า 6%

(ณัฐวุฒิ และคณะ , 1998) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการเอนแคปซูเลชั่นน้ำมันให้อยู่ในรูปผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170,200,230 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นความเข้มข้นของสารละลาย 30,40,50% W/W และอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว 3:1,2:1 และ 1:1 โดยให้อุณหภูมิลมร้อนขาออกคงที่ที่ 100 องศาเซลเซียส ใช้หัวฉีดแบบ Two-Fluid Nozzle และวางแผนการทดลองแบบ BOX-Behnken ประกอบด้วย 15 การทดลอง ผงน้ำมันมะพร้าวที่ได้จากการนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ อาทิ ปริมาณความชื้น , ปริมารของผงผลิตภัณฑ์ที่ได้ , ปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้ , ปริมาณกรดไขมันอิสระ และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Response Surface Method (RSM) จากการศึกษาพบว่าปัจจัยทั้งสามประการต่างมีผลต่อคุณลักษณะของผงน้ำมันมะพร้าวที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันที่กักเก็บสูงสุดที่ประมาณ 14.4% ซึ่งเปอร์เซ็นความเข้มข้นของสารละลาย 45% อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว 3:1 และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 230 องศาเซลเซียส ซึ่งคิดเป็น 74.2% ของปริมาณน้ำมันทั้งหมดในผงน้ำมันมะพร้าว

(Porndarun , 2007) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงจากน้ำสกัดแป้งข้าวกล้องหอมมะลิโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและศึกษาการเจริญของเชื้อรา Aspergillus niger โดยใช้ผงจากน้ำสกัดแป้งข้าวกล้องหอมมะลิเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design เพื่อ ศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิขาเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 3 ระดับ คือ 150 160 และ 170 ^{0}C และให้อุณหภูมิขาออกคงที่ที่ 90^{0}C ผลการวิจัยพบว่า อุณหภูมิขาเข้ามีผลต่อผลผลิตผงจากน้ำสกัดแป้งข้าวกล้องหอมมะลิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการทำแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลผลิตจะลดลงเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้นและมีผลให้เวลาในกระบวนการทำแห้งลดลง สภาวะที่เหมาะสมในการทำผงจากน้ำสกัดแป้งข้าวกล้องหอมมะลิคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำสกัดแป้งข้าวกล้องหอมมะลิเท่ากับ 15.0 อุณหภูมิขาเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ 160 ^{0}C และอุณหภูมิขาออกที่ 90^{0}C จะได้ผงจากน้ำสกัดแป้งข้าวกล้องหอมมะลิร้อยละ 57.23 และผงจากน้ำสกัดแป้งข้าวกล้องหอมมะลิมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เท่ากับ 0.183 เมื่อใช้ผงจากน้ำสกัดแป้งข้าวกล้องหอมมะลิ 7.5 เปอร์เซ็นต์ (7.5^{0}B) ในอาหารเหลวและ 5.0 เปอร์เซ็นต์ (5.0^{0}B) ในอาหารแข็งพบว่าเชื้อรา Aspergillus niger มีการเจริญได้ดีและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับการเจริญในอาหารควบคุม (Difco)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และการทดลอง

ในการศึกษาเรื่องการทำน้ำนมถั่วเหลืองงอกผสมงาดำผง แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้ วิธีการเพาะเมล็ดถั่วเหลืองและงาดำ การสกัดน้ำนมถั่วเหลืองงอกผสมงาดำ และการทำแห้งผลิตภัณฑ์ให้เป็นผง

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ศึกษา

3.1.1 ถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60 จากกรมวิชาการเกษตร ศูนย์เชียงใหม่

3.1.2 เมล็ดงาดำ ตราไร่ทิพย์

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

3.2.1 ตู้อบความร้อน (Hot Air Oven)

3.2.2 โถดูดความชื้น

3.2.3 ภาชนะอลูมิเนียม

3.2.4 จานเพาะถั่วหรือถาด

3.2.5 ผ้าขาวบาง

3.2.6 เครื่องคอลลอยด์มิลล์

3.2.7 หม้อและทัพพีสแตนเลส

3.2.8 เตาแก๊ส

3.2.9 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย JCM รุ่น minilab SDE 10

3.2.10 เครื่องแก้วต่าง ๆ ได้แก่ บีกเกอร์ เทอร์โมมิเตอร์ แท่งแก้วคน

3.2.11 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.2.12 ตู้อบความชื้นแบบสุญญากาศ (Vacuum oven)

3.2.13 เครื่องเซ็นทริฟิวส์

3.2.14 เครื่อง Water bath

3.2.15 เครื่อง Magnetic stirrer

3.3 สารเคมี

1. สารมอลโตเด็กซ์ตริน (DE 18)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

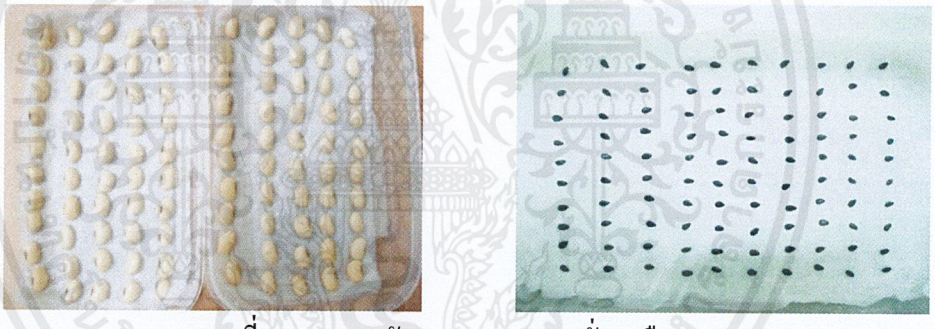
3.4 การหาอัตราการงอกของเมล็ดถั่วเหลืองและงาดำ (นิพนธ์, 2548)

เครื่องมือ

1. จานเพาะถั่วหรือถาด
2. ผ้าขาวบาง

วิธีการทดลอง

1. นำเมล็ดถั่วเหลืองและงาดำมาล้างน้ำให้สะอาด จากนั้นนำมาแช่น้ำจนตัวอย่างดูดน้ำเต็มที่ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
2. นำตัวอย่างเมล็ดพืช จำนวนอย่างละ 100 เมล็ด ที่แช่น้ำแล้ว ไปเพาะงอกบนผ้าขาวบางที่ชุ่มน้ำแล้วปิดด้วยผ้าขาวบางเปียกหมาด ๆ
3. นำไปเพาะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และพรมน้ำทุกๆ 4 ชั่วโมง เพาะเป็นเวลา 18 ชั่วโมง
4. นับเมล็ดที่งอกเพื่อหาอัตราการงอก ซึ่งควรมีอัตราการงอกไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 จึงเหมาะสมสำหรับการนำมาเพาะงอก



ภาพที่ 3.1 การหาอัตราการงอกของถั่วเหลืองและงา

3.5 การเพาะเมล็ดถั่วเหลืองและงาดำ

เครื่องมือ

1. จานเพาะถั่วหรือถาด
2. ผ้าขาวบาง

วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างเมล็ดถั่วเหลืองและงาดำที่ล้างสะอาด มาแช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวอย่างดูดน้ำจนเต็มที่ จากนั้นนำไปเพาะงอกต่อในสภาวะแช่ -บ่ม และแช่น้ำ โดย

1.1 แช่ – บ่ม คือการเพาะงอกโดยนำเมล็ดพืชที่แช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง มาเพาะต่อบนผ้าขาวบางที่เปียกหมาดๆ และพรมน้ำทุก 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.2 การเพาะแบบแช่ – บ่ม

1.2 แช่น้ำ คือ การเพาะงอกโดยนำเมล็ดพืชที่แช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง มาเพาะต่อโดยแช่น้ำตลอดและเปลี่ยนน้ำทุก 4 ชั่วโมง เพาะเมล็ดพืชที่อุณหภูมิห้องทั้ง 2 สภาวะ

ภาพที่ 3.3 การเพาะแบบแช่น้ำ

2. เก็บตัวอย่างการเพาะงอกทั้ง 2 สภาวะ ที่มีระยะเวลาในการงอกที่แตกต่างกัน ดังนี้ 0 2 4 6 8 10 12 และ 24 ชั่วโมง
3. หยุดปฏิกิริยาการงอกด้วยการลวกน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยลวกถั่วเหลืองเป็นเวลา 5 นาที และลวกงาดำเป็นเวลา 3 นาที
4. วิเคราะห์หาปริมาณสาร GABA (ได้รับความอนุเคราะห์ในการหาปริมาณสาร GABA จากสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)

3.6 การสกัดน้ำนมถั่วเหลืองงอกผสมงาดำ

1. นำถั่วเหลืองงอกและงาดำงอกมาแช่น้ำ โดยใส่น้ำให้น้ำท่วมประมาณ 3 เท่าของถั่วเหลืองและงาดำ แช่น้ำเป็นเวลา 5 ชั่วโมง (แช่แยกกัน)
2. รินน้ำที่แช่ทิ้งและนำถั่วเหลืองงอกมาผสมกับงาดำงอก
   โดยน้ำหนักก่อนแช่มีอัตราส่วนดังนี้
   ตัวอย่างที่ 1 น้ำนมถั่วเหลืองงอก 100 % ถั่วเหลืองงอก คิดเป็น 500 กรัม
   ตัวอย่างที่ 2 น้ำนมถั่วเหลืองงอกผสมงาดำ (ถั่วเหลืองงอก 95%: งาดำงอก 5 %)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถั่วเหลืองงอก คิดเป็น 475 กรัม: งาดำงอก 25 กรัม

ตัวอย่างที่ 3 น้ำนมถั่วเหลืองงอกผสมงาดำ (ถั่วเหลืองงอก 90 %: งาดำงอก 10 %)

ถั่วเหลืองงอก คิดเป็น 450 กรัม: งาดำงอก 50 กรัม

3. ต้มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จำนวน 4 ลิตร (อัตราส่วนของถั่วเหลืองงอกผสมงาดำงอก: น้ำ คือ 1 : 8) เทผสมลงไปในถั่วเหลืองงอกผสมงาดำงอก
4. นำเข้าเครื่องคอลลอยด์มิลล์จะได้น้ำนมถั่วเหลืองงอกผสมงาดำออกมา
5. นำมากรองด้วยผ้าขาวบาง (เพื่อกรองเอากากออก)
6. นำน้ำนมถั่วเหลืองงอกผสมงาดำมาต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (ต้มด้วยไฟอ่อน – ปานกลาง) ต้องคนตลอดเวลาเพราะป้องกันการไหม้ที่ก้นหม้อ

3.7 การวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำนมถั่วเหลืองผสมงาดำงอก

3.7.1 การวัดค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งในสารละลาย

วิธีการวิเคราะห์

นำน้ำนมถั่วเหลืองงอกผสมงาดำมาวัดค่า Brix ด้วย Refractometer และทำบันทึกข้อมูล

3.7.2 ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส (Sensory Test) (Luciane C, 2001)

โดยเลือกตัวอย่างมา 3 ตัวอย่าง เพื่อนำไปให้ผู้สูงอายุเป็นผู้ชิมและทำการประเมิน

เครื่องมือ

1. ใบประเมิน
2. ตัวอย่างผลิตภัณฑ์

โดยกำหนดตัวอย่างดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 น้ำนมถั่วเหลืองงอก 100 %

ตัวอย่างที่ 2 น้ำนมถั่วเหลืองงอกผสมงาดำ (ถั่วเหลืองงอก 95 % : งาดำงอก 5 %)

ตัวอย่างที่ 2 น้ำนมถั่วเหลืองงอกผสมงาดำ (ถั่วเหลืองงอก 90 % : งาดำงอก 10 %)

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างที่จะทดสอบ ตัวอย่างจะถูกนำเสนอพร้อมกัน โดยมีหมายเลขกำกับแต่ละตัวอย่างชัดเจน
2. เมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้นแล้ว จะนำผลที่ได้มาเปลี่ยนเป็นคะแนน โดย 5 คือ ชอบมากที่สุด 4 คือ ชอบมาก 3 คือ ชอบ 2 คือ ปานกลาง 1 คือ ควรปรับปรุง
3. วิเคราะห์คะแนนการยอมรับ เพื่อหาตัวอย่างที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ประกอบไปด้วยภาชนะทำแห้ง (Drying chamber) จะมีลักษณะเป็นกระบอกสูงและเป็นส่วนที่มีการถ่ายเทความร้อนกับละอองของสารละลาย หัวฉีด (Atomizer Nozzle) ทำหน้าที่ฉีดสารละลายให้เป็นละอองฝอย โดยการทดลองนี้จะใช้หัวฉีดแบบ Two fluid nozzle ที่อัตราการป้อน 40 มิลลิลิตรต่อนาที ความดันที่ป้อนวัตถุดิบ เท่ากับ 0.2 MPa เครื่องดูดลม (Blower) มีอัตราเร็วลม เท่ากับ 1.45 m^3/ min

1. เตรียมน้ำนมถั่วเหลืองงอกที่มีความเข้มข้น 9 17 และ 23 Brix (ตามปริมาณการเติมมอลโตเด็กซ์ตริน)
2. ติดตั้งส่วนประกอบต่างๆของเครื่องทำแห้งให้เรียบร้อย ก่อนเปิดเมนสวิทช์
3. ปรับอัตราการไหลและอุณหภูมิลมร้อน รอจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่
4. เริ่มทำการเปิดปั๊มป้อนอาหารเหลว เริ่มต้นให้ทำการป้อนน้ำเปล่าเข้าเครื่อง โดยค่อยๆ เพิ่มอัตราการไหลของน้ำจนกระทั่งได้ค่าอัตราการไหลตามต้องการ ใช้หัวฉัดที่ความดันลมที่ 0.2 MPa
5. เมื่ออุณหภูมิภายในห้องทำแห้งมีค่าคงที่ จากนั้นเริ่มป้อนน้ำนมถั่วเหลืองงอกที่เตรียมไว้เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
6. ในขณะที่ทำแห้ง สังเกตการณ์ทำงานของปั๊มลมที่ส่งไปกระแทกผนังของห้องทำแห้งเป็นระยะอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันการสะสมของผลิตภัณฑ์ผงที่บริเวณผนังห้องทำแห้ง

วิธีการทดลอง

ในการทำการทดลองมีตัวแปรต้นที่ทำการศึกษา คือ อัตราส่วนปริมาณการเติมมอลโตเด็กตรินซ์ และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง

1. เตรียมน้ำนมถั่วเหลืองงอก ที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
2. ผสมมอลโตเด็กตรินซ์ตามแผนการทดลอง
3. เปิดเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ปรับค่าอุณหภูมิตามแผนการทดลอง
4. เมื่ออุณหภูมิของน้ำนมถั่วเหลืองงอกและอุณหภูมิภายในห้องทำแห้งคงที่ จึงเริ่มป้อนน้ำนมถั่วเหลืองงอก
5. เก็บผลิตภัณฑ์แห้งทั้งหมดชั่งน้ำหนักและบรรจุใส่ถุงฟอยล์เพื่อนำไปวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำนมถั่วเหลืองงอก

3.9.1 ความชื้น (Moisture content) (AOAC, 1984)

การวิเคราะห์

นำผลิตภัณฑ์ผง 3 กรัม ไปชั่งน้ำหนักหลังจากนั้นนำไปอบใน Vacuum oven ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักหลังอบ จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสมการ

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100$$

3.9.2 ปริมาณผลผลิตที่ได้ (% Yield) (ดาริกา, 2545)

การวิเคราะห์

เป็นเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้งต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน หาโดยการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ และปริมาณของแข็งในวัตถุดิบเริ่มต้น โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผงมาหาความชื้นและนำมาคำนวณจากสมการ

$$\%yield = \frac{W_{CP}}{SS_{CF}} X100$$

เมื่อ W_{cp} = ปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้ (g dry matter)

SS_{cf} = ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบเริ่มต้น (g dry matter)

3.9.3 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water Activity,a_w)

ใช้เครื่องวัดค่า a_w โดยอัตโนมัติยี่ห้อ AQUA LAB MODEL SERIES 3 TE อ่านค่า a_w โดยทำการหาค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.9.4 ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) (Rahman, 1995)

การวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักถ้วยหรือภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน
2. ใส่ตัวอย่างให้เต็มภาชนะแล้วปาดออก
3. คำนวณค่าเพื่อหาความหนาแน่นจาก สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho = \frac{m}{V}$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่น (Density, kg/m^3)

m = น้ำหนักตัวอย่าง (kg)

V = ปริมาตรภาชนะ (m^3)

3.9.5 ดัชนีการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index, WAI) และดัชนีการละลายน้ำ (Water Solubility Index, WSI) (Anderson et al.,1969 and Cited in Jones ,2000)

การวิเคราะห์

ชั่งผลิตภัณฑ์ผง 2.5 กรัม ใส่ในน้ำปริมาณ 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส กวนผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง Magnetic stirrer ที่ความเร็วคงที่ เป็นเวลา 30 นาทีจากนั้นนำไปเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องเซ็นทริฟิวส์ ความเร็วรอบ 3000 rpm เป็นเวลา 30 นาที แยกส่วนที่ใสและเจลออกจากกัน โดยนำเจลที่ได้ไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่า WAI

$$\text{ดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI)} = \frac{\text{น้ำหนักเจล}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น}}$$

ส่วนใสที่แยกออกมา นำไประเหยบน Water bath และนำไปอบต่อในตู้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่า WSI

$$\text{WSI (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่ละลายในส่วนใส X 100}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น}}$$

3.9.6 ความสามารถในการจม (Sinkability) (ADPI, 1986)

การวิเคราะห์

เตรียมผลิตภัณฑ์ผง 2 กรัม ผสมกับน้ำตาลบด 6 กรัม จากนั้นเติมน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในกระบอกตวง 350 ml จากนั้นใส่ผลิตภัณฑ์ผงที่ผสมกับน้ำตาลไว้ แล้วจับเวลาจนกระทั่งตัวอย่างผงจมลงถึงก้นกระบอกตวง

Sinkability = เวลาที่ผลิตภัณฑ์ผงจมถึงก้นกระบอกตวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.7 ความสามารถในการกระจายตัว (Dispersibility) (A/S Niro Atomizer, 1978)

การวิเคราะห์

ใช้ผงตัวอย่าง 10 กรัม เทลงในน้ำ 50 กรัม ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส คนกลับไปกลับมา 15 วินาที เทผงลงใน sieve ขนาด 1180 ไมโคเมตร แล้วนำมาคำนวณจากสมการ

$$Dinpersibility = \frac{(w+a)S_p}{a \times S_j}$$

เมื่อ w = น้ำหนักของน้ำ (g)

a = ผงที่ใช้ทั้งหมด (g)

S_p = เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดในผงตัวอย่าง (%)

S_j = เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดที่ค้างบน sieve (%)

3.9.8 คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity) (Ilari, J-L, 2005)

การวิเคราะห์

นำผลิตภัณฑ์ผง 1 กรัม ใส่ขวดโหลที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัว (NaCl) ทิ้งไว้จนน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ผงออกมาชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณจากสมการ

$$hygroscopicity = \frac{(b/a)+W_i}{1+(b/a)}$$

เมื่อ b = น้ำหนักของผงที่เพิ่มขึ้น (g)

a = น้ำหนักของผงก่อนนำไปวัด (g)

W_i = ปริมาณน้ำอิสระก่อนวัด (% wb)

3.10 การวางแผนและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการศึกษาการผลิตเครื่องดื่มผงจากถั่วเหลืองที่ผ่านการเพาะงอก มีตัวแปรอิสระ 2 ตัวที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณการเติมมอลโตเด็กซ์ตริน ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ผล สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรมทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2007 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยสร้างพื้นที่ผิว (Response Surface) จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม Matlab 6.5 และวางแผนการออกแบบการทดลองแบบ Factorial Design ประกอบด้วยการทดลอง 6 การทดลอง ดังแผนการทดลองแสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงสภาวะการเตรียมตัวอย่าง

การทดลองที่	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ปริมาณเติมมอลโตเด็กซ์ตรินต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำนมถั่วเหลือง
1	180	0:1
2	180	1:1
3	180	2:1
4	200	0:1
5	200	1:1
6	200	2:1

หลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้นทั้ง 6 การทดลอง จะนำผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองงอกผงที่ได้ไปวิเคราะห์หาคุณลักษณะของน้ำนมถั่วเหลืองงอกผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการศึกษาการผลิตเครื่องดื่มผงที่ผลิตจากถั่วเหลืองผสมงาดำที่ผ่านการเพาะงอก แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้ การหาอัตราการเพาะงอกของเมล็ดถั่วเหลืองและงาดำ การหาปริมาณสารที่ระยะเวลาการเพาะงอกต่าง ๆ การหาอัตราส่วนของถั่วเหลืองต่องาดำในการสกัดน้ำนมถั่วเหลืองงอกผสมงาดำ และการทำแห้งผลิตภัณฑ์ให้เป็นผง

4.1 การหาความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ

ความชื้นของเมล็ดถั่วเหลือง คือ 7.4889 %

ความชื้นของเมล็ดงาดำ คือ 5.5972 %

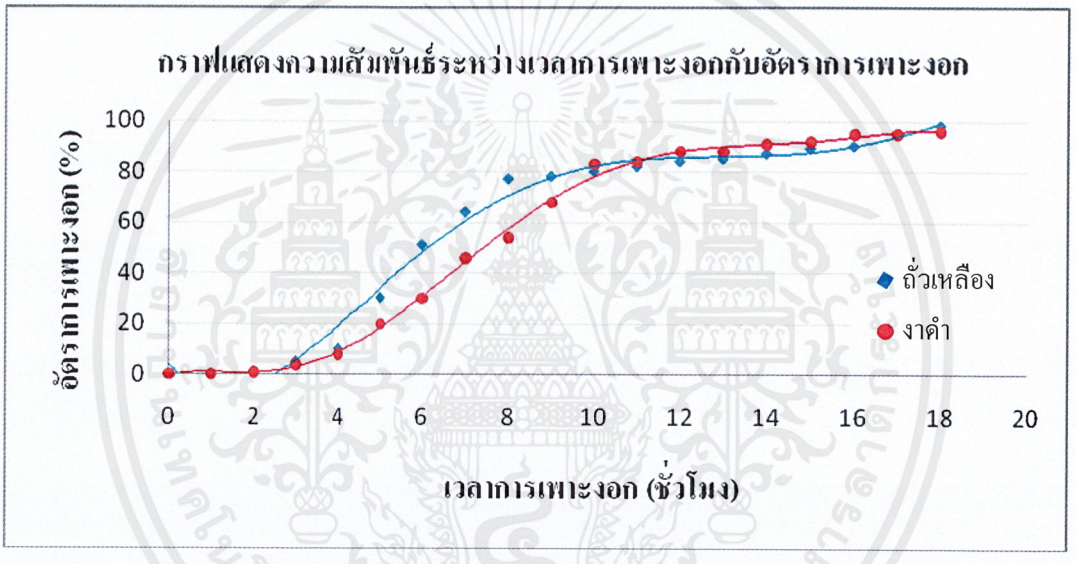
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การหาอัตราการเพาะงอกของเมล็ดถั่วเหลืองและงาดำ

4.2.1 การหาอัตราการเพาะงอกของเมล็ดถั่วเหลืองและงาดำ

ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราการงอกของเมล็ดพืชที่ระยะเวลาการเพาะงอกต่างๆ

เมล็ดพืช	อัตราการงอกของเมล็ดพืช(%)																		
	เวลาการเพาะงอก(ชั่วโมง)																		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ถั่วเหลือง	0	1	2	5	10	30	51	64	77	78	80	82	84	85	87	89	90	95	98
งาดำ	0	1	1	4	8	20	30	46	54	68	83	84	88	88	91	92	95	95	96



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่เพาะกับอัตราการงอกของถั่วเหลืองและงาดำ

จากภาพที่ 4.1 เมื่อนำเมล็ดถั่วเหลืองและงาดำมาทำการเพาะงอก พบว่าเมื่อเวลาที่ใช้ในการเพาะงอกเพิ่มขึ้นอัตราการงอกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามด้วย ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างระยะเวลาการเพาะงอก (t) กับอัตราการเพาะงอก (G) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์เป็นสมการคณิตศาสตร์ ดังนี้

อัตราการงอกของถั่วเหลือง

$$G = - 0.00165t^5 + 0.09088t^4 - 1.8218t^3 + 15.4828t^2 - 41.9935t + 31.8507$$

$$R^2 = 0.9934, S.E = 3.4044, p < 0.01$$

อัตราการงอกของงาดำ

$$G = - 0.00017t^6 + 0.0095t^5 - 0.2005t^4 + 1.8229t^3 - 6.1093t^2 + 9.0378t - 3.7699$$

$$R^2 = 0.9979, S.E = 2.120, p < 0.01$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารกาบาที่ระยะเวลาการเพาะงอกต่างๆ

โดยปริมาณสารกาบาของเมล็ดถั่วเหลืองดิบก่อนนำไปเพาะงอก เท่ากับ 32.38 mg/100 g dry weight เมื่อนำไปเพาะงอกพบว่ามีปริมาณสารกาบาเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารกาบาที่สภาวะการเพาะงอกด้วยการแช่ - บ่มและการแช่น้ำที่ระยะเวลาการเพาะงอกต่าง ๆ

เมล็ดพืช	การเพาะงอก	ปริมาณกาบา(mg/100 g dry weight)						
		เวลา (ชั่วโมง)						
		0	4	6	8	10	12	24
ถั่วเหลือง	แช่-บ่ม	N.A.	N.A.	42.79	N.A.	N.A.	38.62	57.41
	แช่น้ำ	55.06	53.97	54.09	47.89	60.87	67.38	40.57
งาดำ	แช่-บ่ม	N.A.	N.A.	8.91	N.A.	N.A.	9.04	9.71
	แช่น้ำ	8.28	N.A.	8.63	N.A.	N.A.	8.67	8.64

หมายเหตุ N.A. คือ ไม่มีการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารกาบา

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 พบว่าถั่วเหลืองที่สภาวะแช่น้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง มีปริมาณสารกาบามากที่สุด คือ 67.38 mg/100 g dry weight และงาดำที่สภาวะแช่-บ่ม เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีปริมาณสารกาบามากที่สุดคือ 9.71 mg/100 g dry weight (แต่น้อยมากเมื่อเทียบกับถั่วเหลือง) ดังนั้นจึงเลือกถั่วเหลืองที่สภาวะแช่น้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เป็นวัตถุดิบในการสกัดน้ำนมถั่วเหลืองงอก ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Khampang et al., 2009 ว่าอุณหภูมิและเวลาการแช่น้ำมีผลร่วมกันต่อปริมาณสารกาบา เมื่อนำเมล็ดพืชมาแช่น้ำทำให้มีปริมาณสารกาบาเพิ่มขึ้น เนื่องจากว่าน้ำเข้าไปกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การหาอัตราส่วนของถั่วเหลืองต่องาดำในการสกัดน้ำนมถั่วเหลืองงอกผสมงาดำ

ในการสกัดน้ำนมถั่วเหลืองผสมงาดำงอกได้คัดเลือกถั่วเหลืองงอกและงาดำงอกที่ให้ปริมาณสารกาบามากที่สุดมาเป็นวัตถุดิบเริ่มต้น

โดยทำการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส (Sensory Test) ทั้ง 3 ตัวอย่างดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 คือ ถั่วเหลือง: งาดำ เท่ากับ 100%: 0%

ตัวอย่างที่ 2 คือ ถั่วเหลือง: งาดำ เท่ากับ 95%: 5%

ตัวอย่างที่ 3 คือ ถั่วเหลือง: งาดำ เท่ากับ 90%: 10%

ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยผู้ที่มีอายุระหว่าง 52 - 78 ปี จำนวน 30 คน

ตัวอย่างที่ / คุณลักษณะ	ตัวอย่างที่ 1 (ถั่วเหลือง 100%: งาดำ 0%)	ตัวอย่างที่ 2 (ถั่วเหลือง 95%: งาดำ 5%)	ตัวอย่างที่ 3 (ถั่วเหลือง 90%: งาดำ 10%)
สี	4.38	4.03	4.07
กลิ่น	4.28	4.24	4.10
รสชาติ	4.28	4.03	4.07
เนื้อสัมผัส	4.38	4.10	4.21
ความชอบโดยรวม	4.34	4.07	4.21

จากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสแบบ hedonic โดยผู้ที่มีอายุระหว่าง 52 - 78 ปี จำนวน 30 คน พบว่า น้ำนมถั่วเหลืองงอก 100% มีคะแนนสูงสุด รองลงมาคือน้ำนมถั่วเหลืองงอก 90 % ผสมกับงาดำงอก 10 % และสุดท้ายคือน้ำนมถั่วเหลืองงอก 95 % ผสมกับงาดำงอก 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองทำแห้งแบบพ่นฝอย นำน้ำนมถั่วเหลืองงอกที่ได้จากการสกัด มาเป็นวัตถุดิบเริ่มต้น โดยมีสภาวะก่อนทำแห้งของน้ำนมถั่วเหลืองงอกเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงสภาวะก่อนทำแห้งของน้ำนมถั่วเหลืองงอก

MD : SS (เท่า)	Brix หลังใส่มอลโตเด็กซ์ตริน
0:1	9
1:1	17
2:1	23

เมื่อ MD คือ มอลโตเด็กตรินซ์

SS คือ ของแข็งที่ละลายได้ในน้ำนมถั่วเหลือง

ตารางที่ 4.5 สภาวะก่อนทำแห้งของน้ำนมจากงอกเป็นดังนี้

MD : SS (เท่า)	Brix หลังใส่มอลโตเด็กซ์ตริน
0:1	3
1:1	6
2:1	10

สำหรับสภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง

No.	อุปกรณ์		ตัวแปรปรับแต่ง	ตัวแปรควบคุม
1	อุณหภูมิลมร้อน	ทางเข้า	180 – 200 °C	-
		ทางออก	-	90 °C
2	เครื่องดูดลม(Blower)	ความเร็ว	-	1.45 m^3/min
3	ปั๊มป้อนวัตถุดิบ	การปรับค่าการป้อน	-	10 (สเกลที่ปรับค่า)
4	หัวฉีดวัตถุดิบ	ชนิด	-	Two – fluid nozzle
		ทิศทางการทำแห้ง	-	Parallel
5	เครื่องทำความร้อน	แผงความร้อน 4 ชุด	ใช้ 3 ชุด(1.5, 3 , 3 kW)	ควบคุมอัตโนมัติ 1 ตัว
6	ปั๊มลม	ความดันที่ป้อนวัตถุดิบ	-	0.2 MPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองผง

จากการดำเนินการทดลองการทำแห้งน้ำนมถั่วเหลืองด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยตามสภาวะดังตารางที่ 4.6 เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองการวิเคราะห์เครื่องดื่มผงจากถั่วเหลืองและงาดำที่ผ่านการเพาะงอก

ผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (^{o}C)	MD:SS	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%Yield)	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w)	ความหนาแน่นรวม (kg/m^3)	ดัชนีในการดูดซับน้ำ	ดัชนีในการละลายน้ำ (%)	ความสามารถในการจม (นาที)	ความสามารถในการกระจาย	คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (%)
ถั่วเหลืองผง	200	0:1	2. 7713	46.81	0.335	200.8265	1.5882	15.1040	18.46	19.8850	2.4012
	200	1:1	2.5427	51.60	0.236	227.9462	1.4826	11.3360	17.35	20.0665	2.1947
	200	2:1	2. 3143	74.34	0.170	254.6229	1.0439	8.4560	14.19	28.6073	2.0144
	180	0:1	2.9576	31.95	0.435	234.9063	3.0281	19.4440	12.59	20.4116	2.5448
	180	1:1	2.7321	42.71	0.288	266.9228	2.9888	17.7760	12.34	21.7176	2.3118
	180	2:1	2.5879	77.87	0.185	290.1284	1.7258	16.4488	11.55	31.3429	2.2233
งาดำผง	180	2:1	1.6797	75.98	0.3428	289.8791	0.7027	5.0820	10.43	13.7545	1.5464

MD: SS คือ อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อของแข็งที่ละลายได้ในน้ำนมถั่วเหลืองงอก/น้ำนมจากงาดำงอก

4.7 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองงอกผงที่สภาวะต่างๆ

เมื่อนำผลการทดลองที่สภาวะต่างๆมาวิเคราะห์ผล นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะต่างๆ ที่ศึกษากับตัวแปรที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณความชื้น (%) ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%Yield) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Aw) ความหนาแน่น (Kg/m^3) ดัชนีการดูดซับน้ำดัชนีการละลายน้ำ (%) ความสามารถในการจม (นาที) ความสามารถในการกระจาย และคุณสมบัติการดูดซับความชื้น โดยใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาตร์ในรูปแบบสมการ ดังนี้

$$Y = a_0 + a_1 T_i + a_2 MD + a_{12} T_i\, MD$$

โดยที่ Y คือ คุณลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์ผง

a_0 , a_1 , a_2 และ a_{12} คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย

T_i คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ($^{\circ}C$)

MD คือ ปริมาณการเติมมอลโตเด็กซ์ตริน (g)

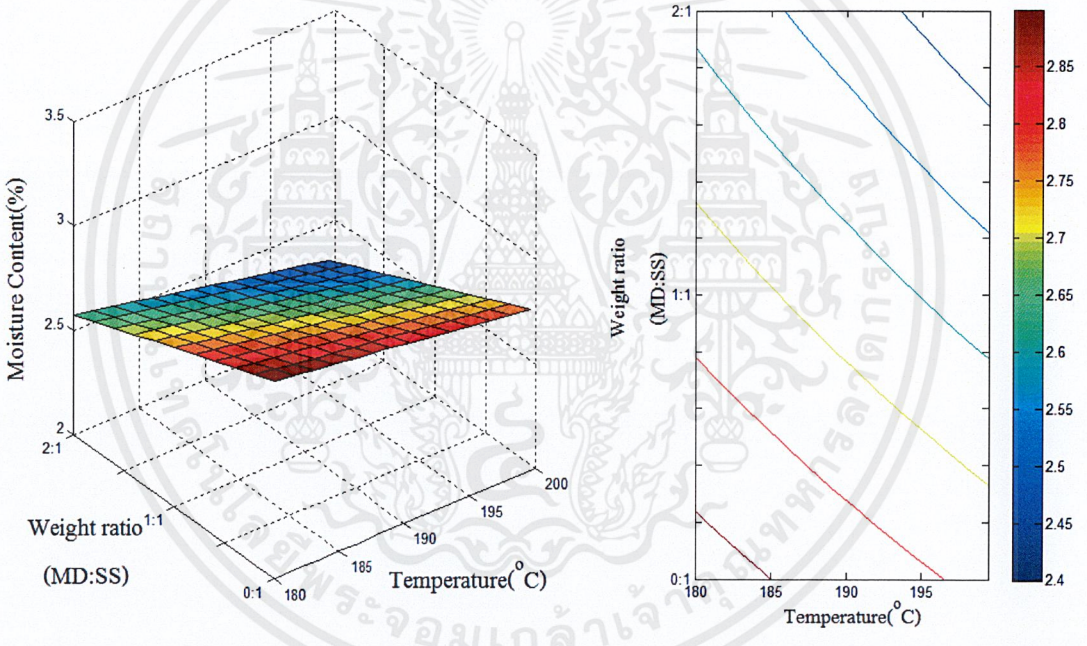
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.1 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้น (% Moisture content)

ค่าความชื้นที่ได้จากนมถั่วเหลืองงอกผงอยู่ในช่วง 2. 3143 - 2.9576 % wb พบว่าปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่เติมในน้ำนมถั่วเหลืองงอกเพิ่มขึ้นค่าความชื้นจะลดลง เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความชื้นกับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (T_i) และ ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (MD) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Moisture content (\%)} = 4.5099 - 0.0087T_i + 0.1937MD - 0.0021T_iMD$$

$$R^2 = 0.9951, \text{S.E.} = 0.0331, (p < 0.1)$$



ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้น (% Moisture content)

จากภาพที่ 4.2 พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นลดลงเนื่องจากอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามากทำให้อัตราการระเหยน้ำมากขึ้นทำให้ความชื้นต่ำลงและเนื่องจากมอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารช่วยในการทำแห้งดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินจะมีผลทำให้ค่าความชื้นลดลง (Mujumdar et al., 2010)

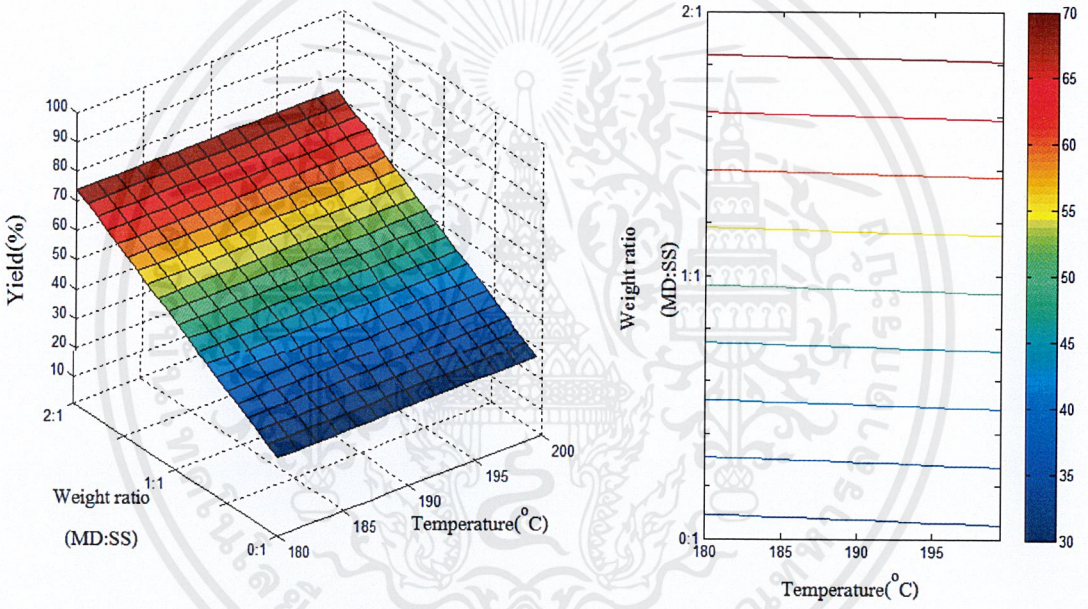
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%Yield)

ค่าปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการวิเคราะห์ผลอยู่ในช่วง 31.95 - 77.87 % พบว่าปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นค่าปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้กับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (T_i) และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (MD) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Yield (\%)} = 19.0933 + 0.04883T_i + 24.94MD - 0.011T_iMD$$

$$R^2 = 0.9375, \text{S.E.} = 9.9613, (p < 0.35)$$



ภาพที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%Yield)

จากภาพที่ 4.3 เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนจะมีค่าปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์จะทำให้ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายในน้ำนมถั่วเหลืองงอกเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีค่าสูงขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการระเหยน้ำได้ดีและไม่เกิดการเหนียวติด

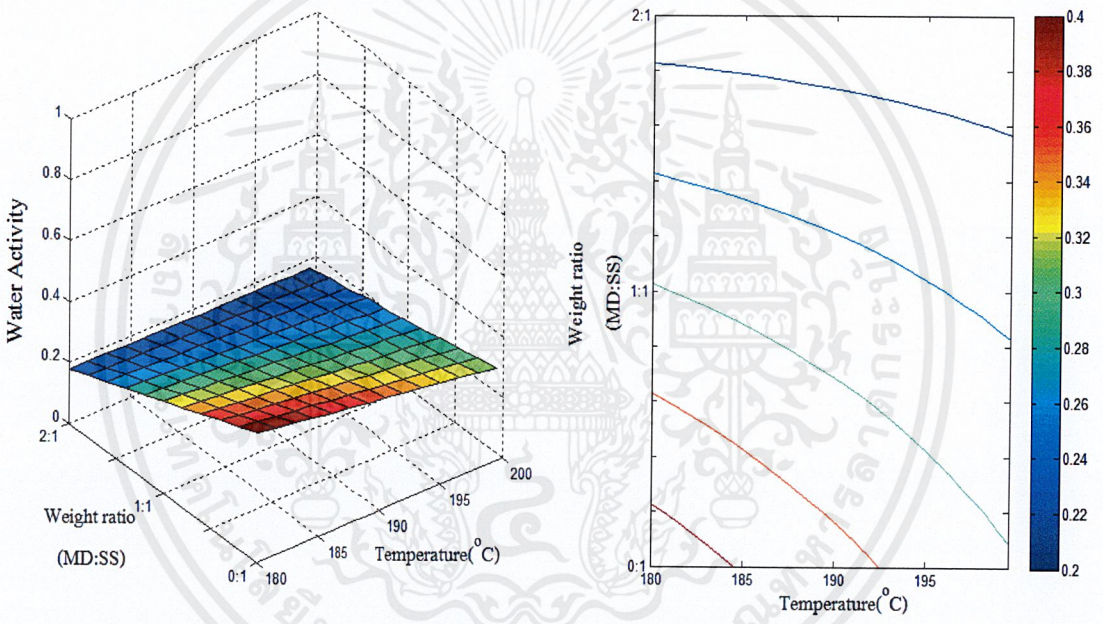
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3 ผลการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water Activity,a_w)

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ที่ได้จากนมถั่วเหลืองงอกผงอยู่ในช่วง 0.170 - 0.435% wb พบว่าปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่เติมในน้ำนมถั่วเหลืองงอกเพิ่มขึ้นค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ลดลง เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความชื้นกับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (T_i) และ ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (MD) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Water Activity (Aw)} = 1.5587 - 0.00628T_i - 0.656\ MD + 0.00295\ T_i\ MD$$

$$R^2 = 0.9717,\ S.E. = 0.0178,\ (p < 0.15)$$



ภาพที่4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water Activity, a_w)

จากภาพที่4.4 พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นทำให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ลดลง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลทำให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ลดลง เนื่องจากอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามากจะทำให้อัตราการระเหยน้ำมากขึ้น ทำให้ความชื้นต่ำลง เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารช่วยในการทำแห้ง ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินจะมีผลทำให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ลดลง

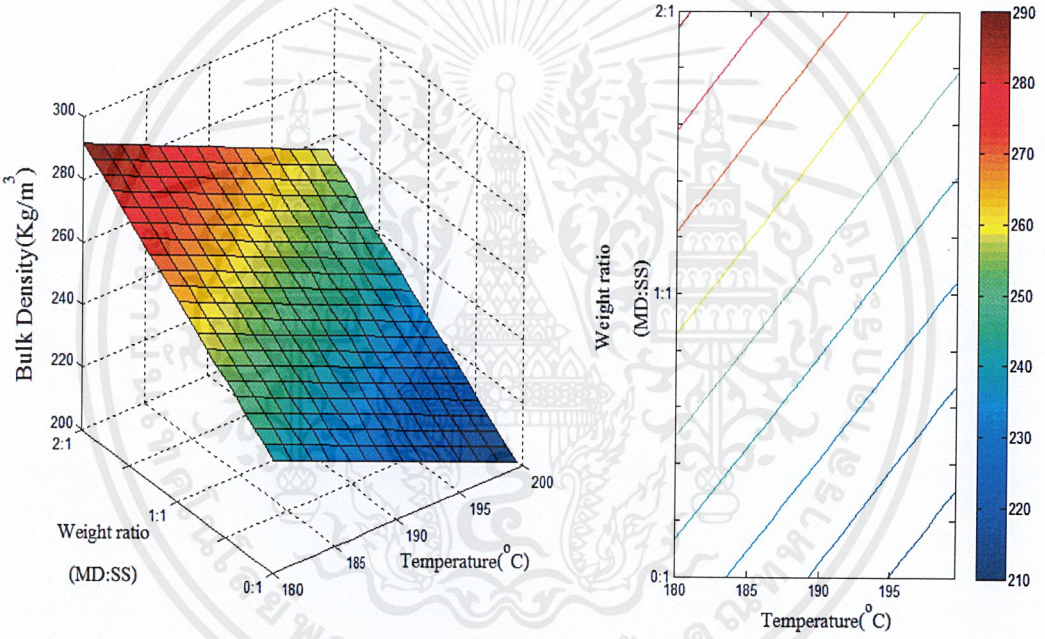
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.4 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม (Bulk Dendity)

ความหนาแน่นรวมที่ได้จากการวิเคราะห์ผลอยู่ในช่วง 0.2561 - 0.3700 g/cm^3 พบว่าปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความหนาแน่นรวมกับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (T_i) และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (MD) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Bulk Density (Kg/m}^3) = 554.8729 - 1.7694T_i + 33.4696MD - 0.0326T_iMD$$

$$R^2 = 0.9949,\ S.E = 3.5970,\ (p < 0.1)$$



ภาพที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นรวม (Bulk Dendity)

จากภาพที่ 4.5 พบว่าผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินมีแนวโน้มในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูง ทำให้อนุภาคของนมผงถั่วเหลืองมีรูพรุนมาก ค่าความหนาแน่นโดยรวมจึงมีค่าลดลง ในทางกลับกันเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นโดยรวมจะมีค่าเพิ่มขึ้น (Mujumdar et al., 2010)

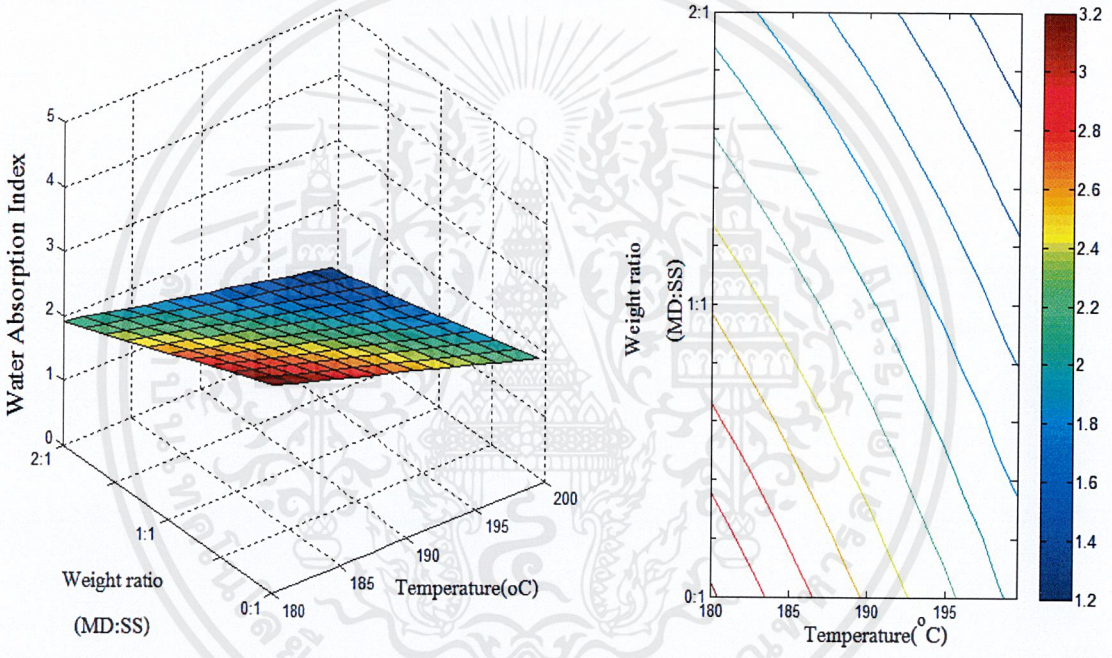
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.5 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index, WAI)

ค่าดัชนีการดูดซับน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์ผลอยู่ในช่วง 5.1364 - 9.3401 % พบว่าปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นค่าดัชนีการดูดซับน้ำจะลดลง เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ค่าดัชนีการดูดซับน้ำกับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (T_i) และ ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (MD) และสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Water Absorption Index (WAI)} = 15.0288 - 0.06554T_i - 2.5632MD + 0.0106T_i MD$$

$R^2 = 0.9238$, S.E. = 0.4996, ($p < 0.35$)



ภาพที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการดูดซับน้ำ (Water Absorption Index, WAI)

จากภาพที่ 4.6 พบว่า ค่าดัชนีการดูดซับน้ำจะลดลงเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นน้อยส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำต่ำ แต่ผลิตภัณฑ์ที่มีมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่ำจะดูดซับน้ำได้ดีกว่า (ADMI, 1971)

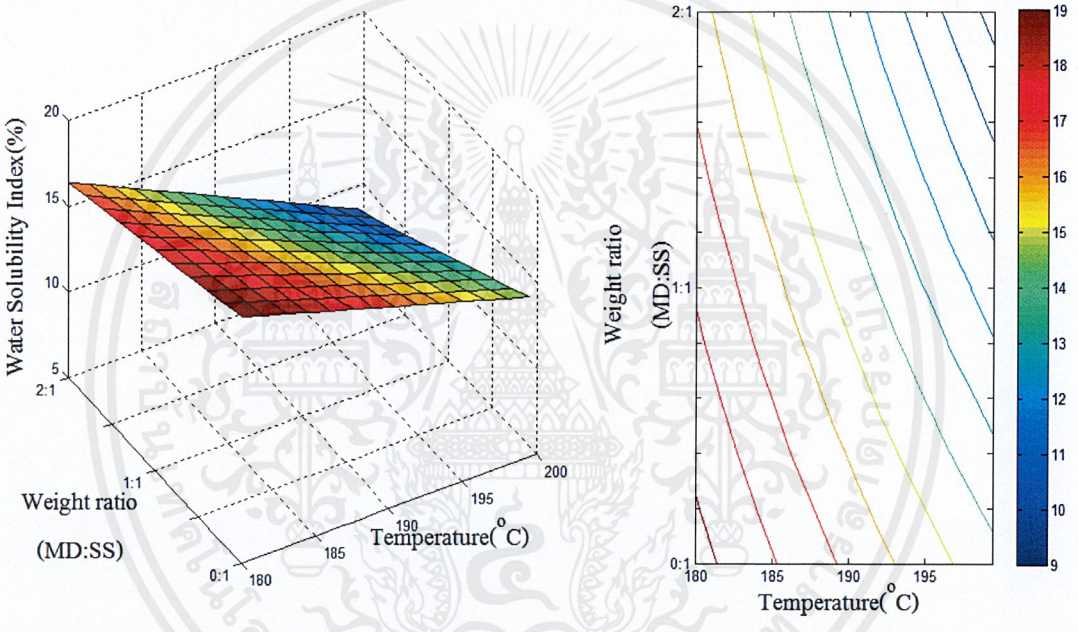
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.6 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการละลายน้ำ (Water Solubility Index, WSI)

ค่าดัชนีการละลายน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์ผลอยู่ในช่วง 2.1965 - 4.0107 % พบว่าปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นค่าดัชนีการละลายน้ำจะลดลง เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ค่าดัชนีการละลายน้ำกับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (T_i) และ ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (MD) และสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Water Solubility Index (WSI)} = 65.928 - 0.2586T_i + 10.9440MD - 0.06912T_iMD$$

$$R^2 = 0.9997, \text{S.E.} = 0.1391, (p < 0.05)$$



ภาพที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการละลายน้ำ (Water Solubility Index, WSI)

จากภาพที่ 4.7 พบว่า ค่าดัชนีการละลายน้ำจะลดลงเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นน้อยส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำต่ำจึงละลายได้น้อย แต่ผลิตภัณฑ์ที่มีมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่ำจะดูดซับน้ำได้ดีกว่าจึงละลายน้ำได้มากกว่า (ADMI, 1971)

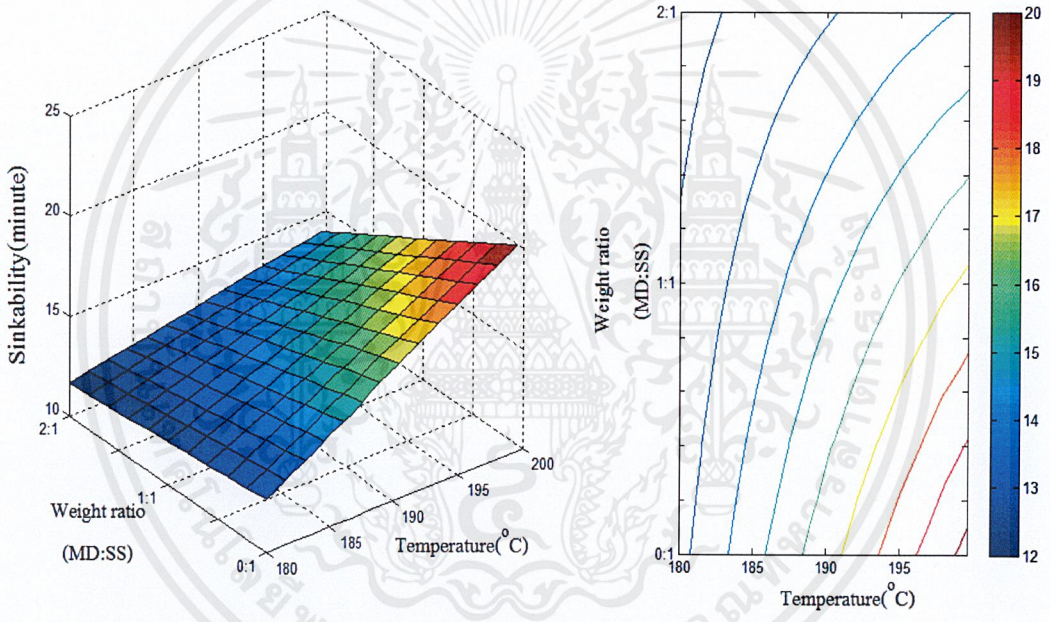
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.7 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการจม (Sinkability)

ความสามารถในการจมที่ได้จากการวิเคราะห์ผลอยู่ในช่วง 11.55 - 18.46 นาที พบว่าปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นสูงสุด เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความสามารถในการจมกับปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (MD) และ ค่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (T_i) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Sinkability} = -57.79 + 0.3915T_i + 23.34MD - 0.132\ T_iMD$$

$$R^2 = 0.9977,\ \text{S.E.} = 0.22045,\ (p < 0.1)$$



ภาพที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการจม (Sinkability)

จากภาพที่ 4.8 เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นจะใช้เวลาในการจมมากหมายถึงความสามารถในการจมลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงทำให้นมถั่วเหลืองผงที่ได้มีความชื้นและความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา ถ้าปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินต่ำผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงทำให้ผลิตภัณฑ์รวมตัวกัน ดูดซับน้ำได้ดีขึ้นมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น จึงใช้เวลาในการจมน้อยกว่า ผลการทดล้องนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Hogekamp, 2003 ว่าเมื่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ต่ำส่งผลให้ความสามารถในการจมลดลง (Mujumdar et al., 2010)

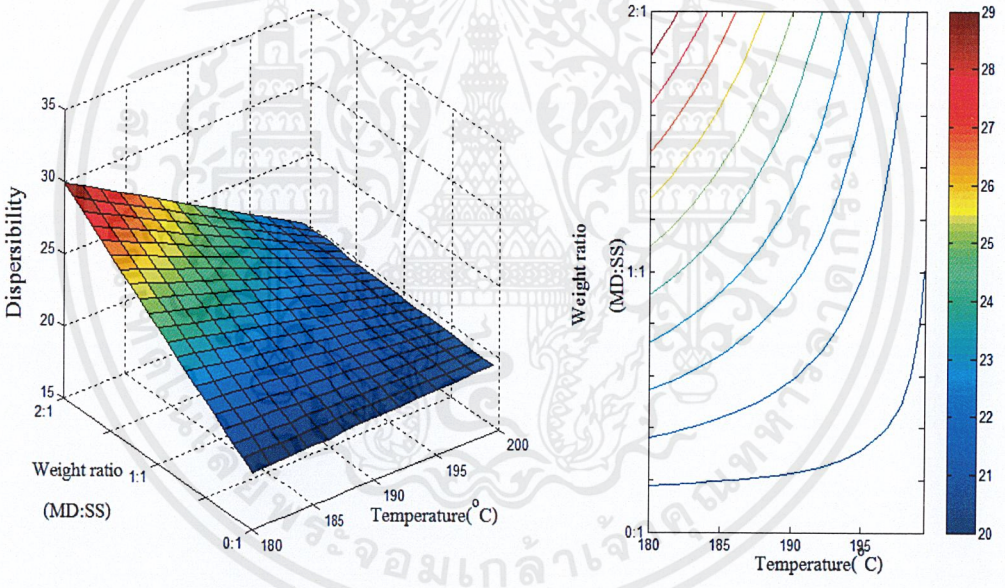
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.8 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการกระจาย (Dispersibility)

ความสามารถในการกระจายที่ได้จากการวิเคราะห์ผลอยู่ในช่วง 19.8850 - 31.3429 เท่า พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่เติมในน้ำนมถั่วเหลืองและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่ำความสามารถในการกระจายตัวจะเพิ่มขึ้น และที่ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นความสามารถในการกระจายเพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อนำผลที่มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความสามารถในการกระจายตัวกับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (T_i) และ ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (MD) และสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Dispersibility (เท่า)} = 12.919 + 0.0339T_i + 53.032MD - 0.2642T_iMD$$

$$R^2 = 0.8795, \text{S.E.} = 3.3963 \ (p < 0.45)$$



ภาพที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการกระจาย (Dispersibility)

จากภาพที่ 4.9 พบว่าค่าความสามารถในการกระจายจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินจะทำให้น้ำนมถั่วเหลืองงอกมีความหนืดมากเมื่อน้ำนมถั่วเหลืองงอกถูกพ่นเป็นละอองฝอยจะมีขนาดใหญ่จึงจมง่ายและกระจายตัวได้ดี และที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูง ทำให้อนุภาคของผงนมถั่วเหลืองมีรูพรุนมากส่งผลให้เกิดการกระจายคัวในน้ำได้ดี (Mujumdar et al., 2010)

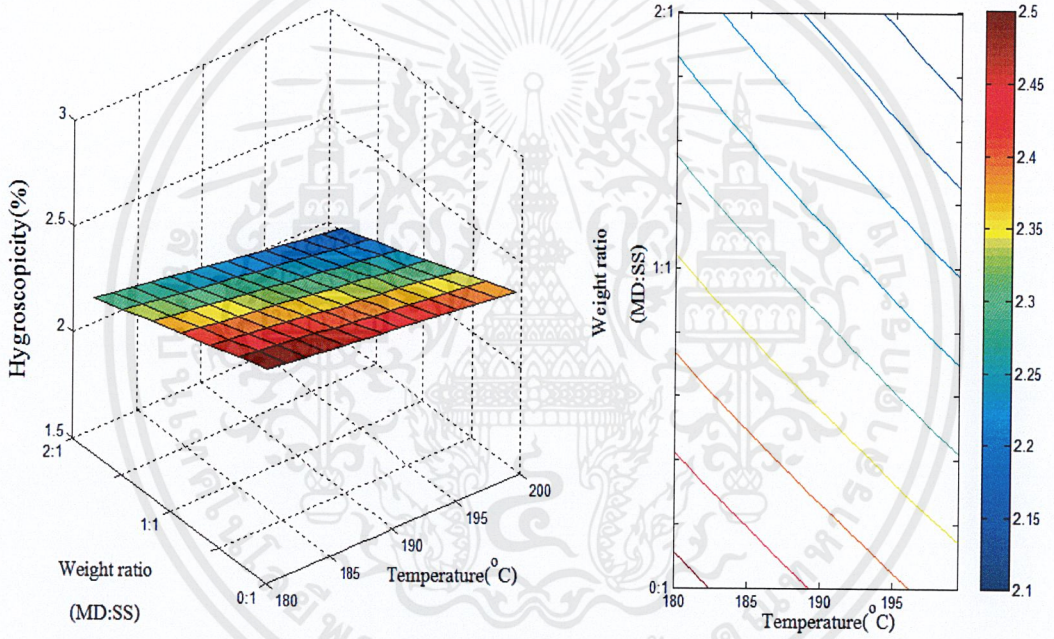
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.9 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity)

ความสามารถในการดูดซับความชื้นที่ได้จากการวิเคราะห์ผลอยู่ในช่วง 2.0144 - 2.5448 % พบว่าปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นค่าความสามารถในการดูดซึมความชื้นจะลดลง เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ค่าความสามารถในการดูซับความชื้นกับกับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (T_i) และ ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (MD) และสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Hygroscopicity (\%)} = 3.83216 - 0.0073T_i + 0.0152MD - 0.00098T_i MD$$

$$R^2 = 0.9767,\ \text{S.E.} = 0.0589,\ (p < 0.2)$$



ภาพที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity)

จากภาพที่ 4.10 พบว่าความสามารถในการดูดซับความชื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าลดลง เนื่องจากการลดปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าจะทำให้ความชื้นเพิ่มขึ้น หมายความว่าในนมถั่วเหลืองผงมีน้ำเป็นองค์ประกอบมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการดูดกลับความชื้นเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าและมีปริมาณสูงขึ้น (Mujumdar et al., 2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาผลของตัวแปรในการทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบฟ่นฝอยต่อคุณลักษณะของน้ำนมถั่วเหลืองงอกผง สามารถสรุปความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 เมื่อนำถั่วเหลืองและงาดำมาเพาะงอกพบว่าถั่วเหลืองที่สภาวะแช่น้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และงาดำที่สภาวะแช่-บ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีปริมาณสารกาบามากที่สุด (โดยถั่วเหลืองมีปริมาณสารกาบาเท่ากับ 67.38 mg/100 g Dry weight และงาดำมีปริมาณสารกาบา เท่ากับ 9.71 mg/100 g Dry weight)

5.1.2 เมื่อนำมาสกัดเป็นน้ำนมถั่วเหลืองผสมงาดำงอกแล้วทำการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่าสูตรที่เหมาะสมคือ น้ำนมถั่วเหลืองงอก 100 %

5.1.3 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองงอกผงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา คือ ปริมาณความชื้นลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น

5.1.4 ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา คือ ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้น

5.1.5 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองงอกผงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา คือ ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น

5.1.6 ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองงอกผงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา คือ ความหนาแน่นลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นแต่ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น

5.1.7 ดัชนีการดูดซับน้ำและดัชนีการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองงอกผงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา คือ ดัชนีการดูดซับน้ำลดลงเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น

5.1.8 ความสามารถในการจมของผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองงอกผงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา คือ ความสามารถในการจมมากเมื่ออุณหภูมลมร้อนขาเข้าลดลง

5.1.9 ความสามารถในการกระจายของผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองงอกผงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา คือ ความสามารถในการกระจายเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.10 คุณสมบัติการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองงอกผงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา คือ คุณสมบัติการดูดซับความชื้นลดลงเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ (ค่าความชื้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ความหนาแน่นรวมดัชนีการดูดซับน้ำ ดัชนีการละลายน้ำ ความสามารถในการจม ความสามารถในการกระจายและคุณสมบัติการดูดซับความชื้น) พบว่าข้อมูลที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำนมถั่วเหลืองงอกจึงเลือกพิจารณาปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ที่ให้ค่าสูงสุด คือ 77.87 % ที่อัตราส่วนการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินต่อของแข็งที่ละลายได้ในน้ำนมถั่วเหลืองงอก 2:1 และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 180 องศาเซลเซียส

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในขั้นตอนการอบแห้งแบบพ่นฝอยอุปกรณ์ในการป้อนวัตถุดิบไม่มีเครื่องมือในการควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นจึงอาจมีผลทำให้การทดลองมีการคลาดเคลื่อนได้ ควรจะมีเครื่องมือในการควบคุมอุณหภูมิ ระบบควบคุมเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบอัตโนมัติซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ด้วยการส่งสัญญาณควบคุมไฟปิด-เปิด จ่ายไฟให้กับแฝงทำความร้อนทำให้อุณหภูมิลมร้อนไม่ค่อยคงที่ และมีการควบคุมอุณหภูมิขาออกคงที่เพื่อให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม่สูงเกินด้วยการเก็บอัตราการป้อนของเหลวเข้าเครื่องอบแห้ง ทำให้อัตราการป้อนของเหลวไม่คงที่ตลอดช่วงการทดลอง จึงควรมีการปรับเปลี่ยนและหาทางแก้ไข เพื่อควบคุมอุณหภูมิลมร้อนและอัตราการป้อนของเหลวให้คงที่ เพื่อการศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นกับปัจจัยแต่ละปัจจัยอย่างชัดเจน หรืออาจมีการดัดแปลงเป็นการควบคุมแบบ manual ซึ่งสามารถควบคุมปัจจัยการอบแห้งได้อย่างคงที่เช่นอัตราการป้อนผลิตภัณฑ์เป็นต้น

5.2.2 จากการทดลองพบว่า ในการเก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้มีผงน้ำนมถั่วเหลืองงอกจำนวนมากที่ติดอยู่ในท่อลำเลียงและส่วนของกรวยแยกของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ไม่สามารถนำออกมาได้หมด ควรมีการทำเครื่องมือที่เหมาะสม เช่น ช้อนหรือทัพพีที่มีด้านยาวเพื่อให้เก็บผลิตภัณฑ์ได้ทั้งหมดจะเป็นการเพิ่มค่าปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ให้สูงมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ณัฐวุฒิ ซื่อเจริญกิจ , ลภัสญดา จิรเพียรทอง, ผัสพร ผ่องมาลัย และพัชรินทร์ ชูทองศรี. 2551. **ผลกระทบของตัวแปรในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย** [ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง]

ญาณิกา มณีศรี,ณัฏฐ์นิรินธน์ พันธุมจินดา , วิริยา ศนีบุตร.**ผลของสภาวะการผลิตน้ำลำไยผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย**.วิธีการเคราะห์พื้นที่ผิวตอบ.กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง: 2549

ดาริกา สิมาพัฒนพงศ์ และคณะ.**การศึกษาการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่.** กรุงเทพฯ.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2545

นิพนธ์ ไชยมงคล.**ถั่วงอก**.ระบบข้อมูลฝัก สาขาพืชผักภาควิชาพืชสวน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2548

พิพัฒน์ ปัทมราชวิเชียร,ศศิธร นามโคตร,ศิริรัตน์ อมรวิริยะกุล. **สภาวะการผลิตน้ำลำไยผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย**ตอบ.กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง: 2548

ศัลยา คงสมบูรณ์เวช.2546.**สารสำคัญในถั่วเหลือง.**[Online]http://www.elib – online.com

สืบสกุล จินดาพล และคณะ.**การออกแบบการทดลองในการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำนมข้าว**. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 14 ฉบับที่ 4 ต.ค. - ธ.ค. 2547

อภิพรรณ พุกภักดี. 2549.**ถั่วเหลือง:พืชทองของไทย**.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

อภิชาติ ผลเกิด.**ชนิดพันธุ์งาและแหล่งปลูก**.กองส่งเสริมพืชไร่นา.กรมส่งเสริมการเกษตร [Online]http://www.doae. go.th

AOAC.1984. **Official Method of Analysis**.14th ed. Washington, D.C: Association of Official Chemists

ADMI, **American Dry Milk Institute** (1971). Institute Bulletin 916.

ADPI, **American Dairy Products Institute** (1986).Standards for Ggades of Dry Milks, including Method of Analysis.Bulletin 916

Anderson, R.A. 1969 "Roll and extrusion cooking of grain sorghum grits. **"Cereal Science Today"**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A/S Niro Atomizer, Copenhagen, Denmark (1978). Determination of dispersibility. In I. H. Sorensen, J. Krag, J. Pisecky, & V. Westergaard (Eds.), **Analytical methods for dry milk products** (4th ed., pp. 32–33).Copenhagen: De Forenede Trykkerier A/S.

Cited in D. Jones et al., 2000. "Physicochemical Properties of Ready-to-eat Breakfast Cereals" **CFW Research**.

Hogekamp,S.;Schubert,H.**Rehydration of Food Powders**.Food Science and Techmogy International 2003,98(3),223-235

Ilari, J-L.; Mekkaoui, L. **Physical properties of constitutive size classes of spray-dried skim milk powder and their mixtures**. Lait. 2005, *85*, 279-294.

Khampang , E.,Kerdchoechuen,O.and Laohakunjit,N.**Chang of Chemical Composition of Rice and Cereals During** Germination 1 School of Bioresources and Technology , King Mongkut's University of Technology Thonburi,2009

Manyam, B. V., Katz, L., Hare, T. A., Kanifefski, K., &Tremblay, R. D.1981.**Isoniazid-induced elevation of cerebrospinal fluid (CSF) GABA levels and effects on chorea in Hunitington's disease**. Annals of Neurology, Volume 10, Page 35–37

Master, K .1991.**Spray Drying Handbook**. 5th ed. London: Longman Scientific & Technical

Mujumdar A.S., Woo M.W and Daud W.R.W. 2010. **Spray Dring Technology**. Volumn 1

Nakarin Jinapong, Manop Suphantharika, PimonJamnong.2008.**Production of instant soymilk powdersby ultrafiltration, spray drying and fluidized bedagglomeration**. Journal of Food Biotechnology, Volume 84, Page 194-205.

Porndarun Junlakun, Penkwan Chompreeda, WalairutChantarapanont. 2007**. Effects of powder fromhomali brown rice extract on the growth of *Aspergillus niger*.** Research of Science and Technology

Rahman,S.1995. **Food Properties Handbook**.CRC Press Inc. Boca Raton, Florida. 500 p.

Mayer,R., Cherry, J.,&Rhodes, D. (1990). **Effects of heat shock on amino acid metabolism of cowpea cells**. Plant Physiology, 94, 796–810.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

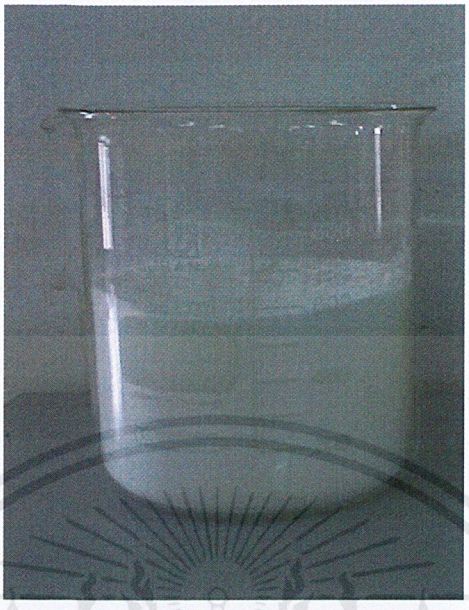
ภาคผนวก ก

ภาพอุปกรณ์ วัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ในการทดลอง

ภาพที่ ก. 1 แสดงเครื่องคอลลอยด์มิลล์

ภาพที่ ก.2 แสดงเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

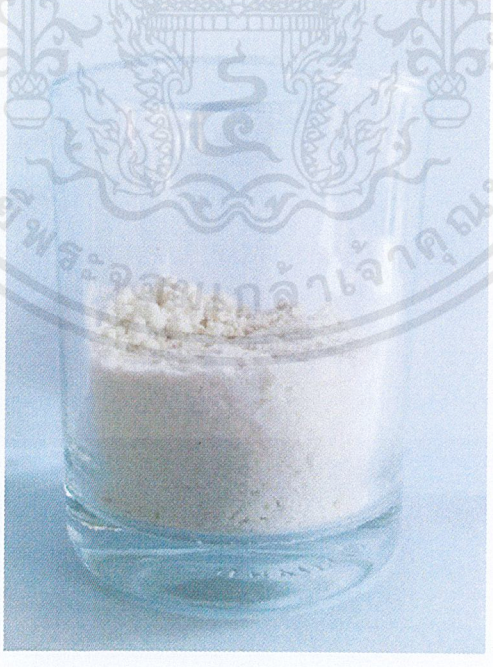


ภาพที่ ก.3 แสดงการเตรียมสารมอลโตเด็กซ์ตริน

ภาพที่ ก.4 แสดงน้ำนมถั่วเหลืองงอกก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

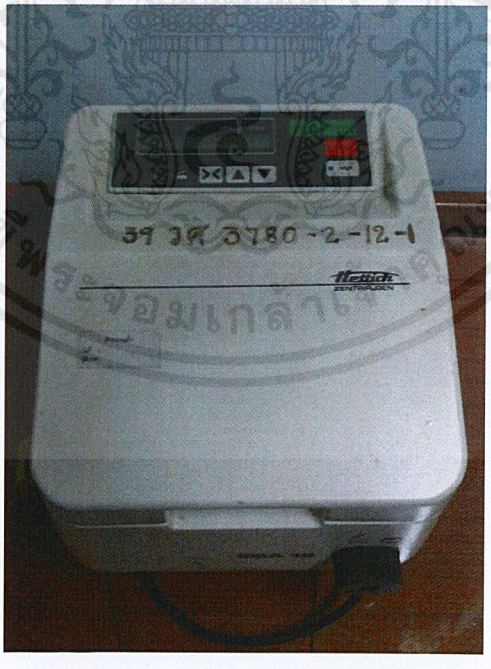
ภาพที่ ก.5 แสดงหัวฉีดแบบ Two Fluid Nozzle



ภาพที่ ก.6 แสดงผงน้ำนมถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

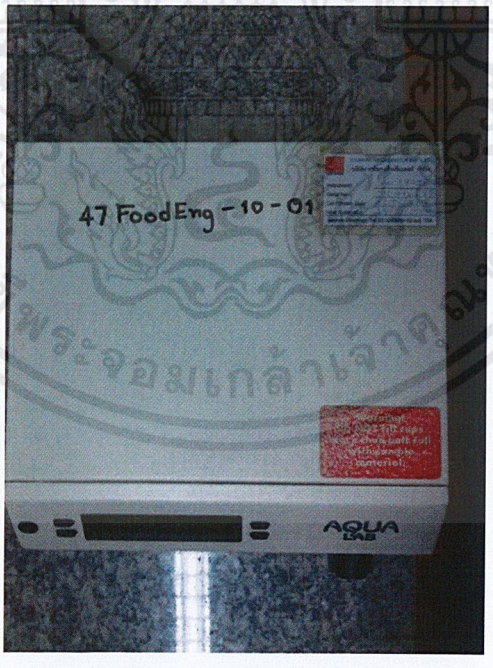
ภาพที่ ก.7 แสดงผงงาดำ



ภาพที่ ก.8 แสดงเครื่องเซ็นทริฟิวส์

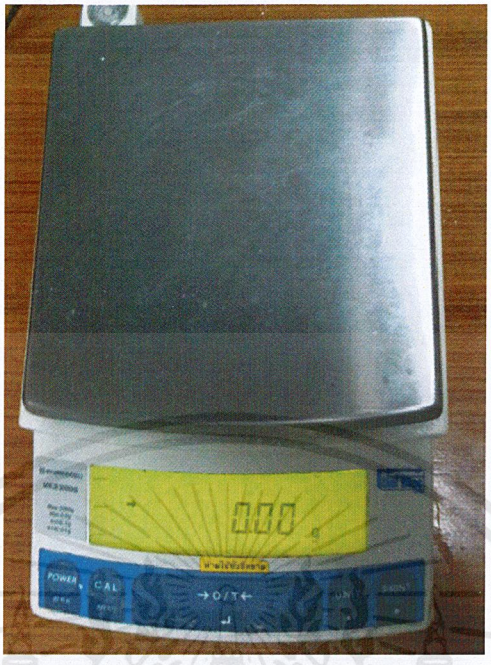
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.9 แสดงเครื่อง Magnetic stirrer



ภาพที่ ก.10 แสดงเครื่องวัดค่า a_w โดยอัตโนมัติ

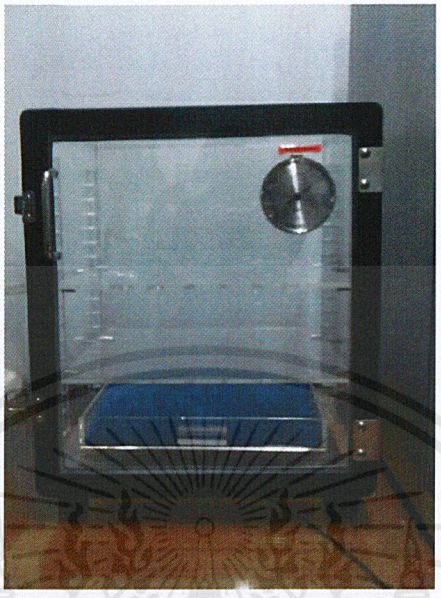
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



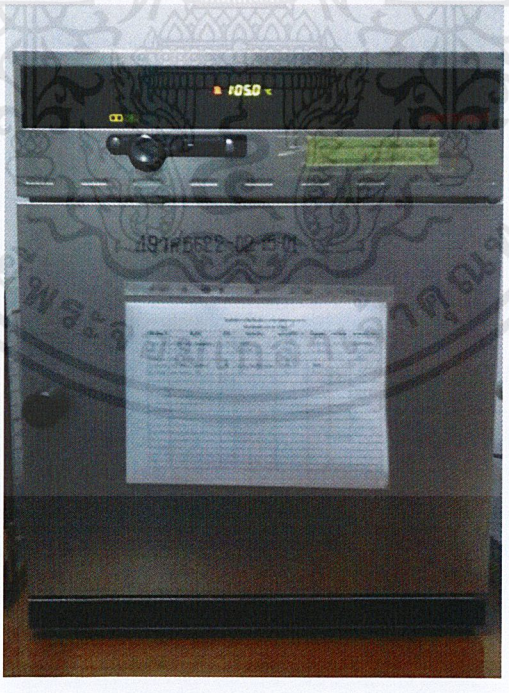
ภาพที่ ก.11 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักสองตำแหน่ง

ภาพที่ ก.12 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักสี่ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.13 แสดงที่ดูดความชื้น



ภาพที่ ก.14 แสดงเครื่องอบความร้อน (Hot Air Oven)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.15 แสดงเครื่องอบความชื้นแบบสุญญากาศ (Vacuum oven)

ภาพที่ ก.16 แสดงเครื่อง Water bath

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

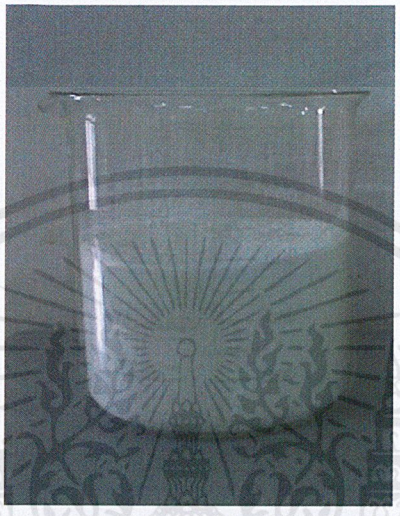
ภาพที่ ก.17

แสดงเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

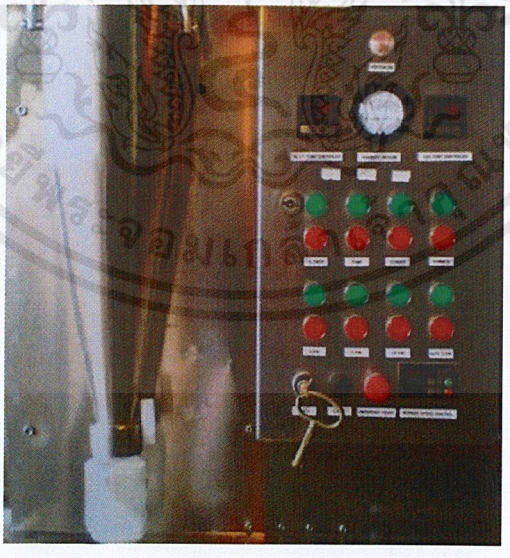
ภาคผนวก ข

การปรับแต่งตัวแปรในการทดลอง



ภาพที่ ข.1 แสดงการเตรียมมอลโตเด็กซ์ตริน

ปรับอัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินต่อของแข็งที่ละลายได้ในน้ำนมถั่วเหลือง 0:1, 1:1, 2:1



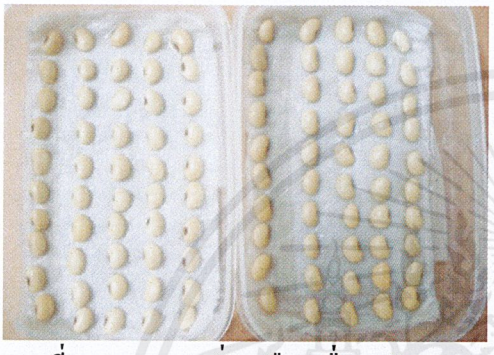
ภาพที่ ข.2 แสดงแผงควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

ปรับค่าอุณหภูมิลมร้อน 2 ระดับคือ 180 และ 200 °C

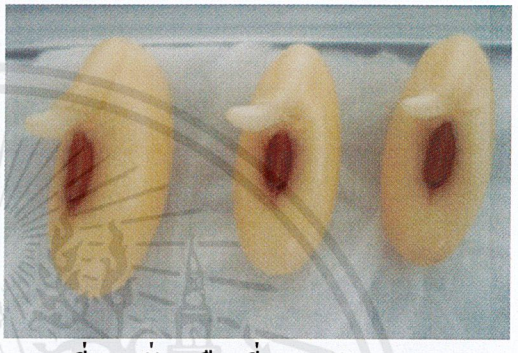
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

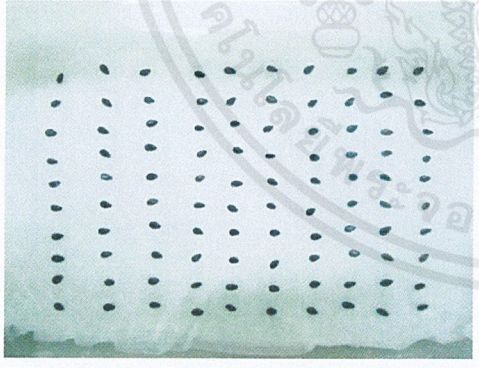
ภาพการเพาะถั่วเหลืองและงาดำ



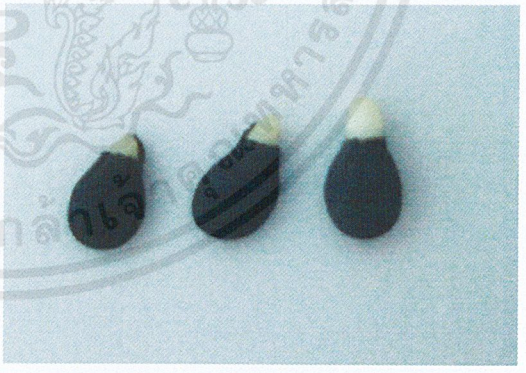
ภาพที่ ค.1 การเพาะถั่วเหลืองเพื่อหาอัตราการงอก



ภาพที่ ค.2 ถั่วเหลืองที่งอกหลังจากการเพาะเป็นเวลา 11 ชั่วโมง

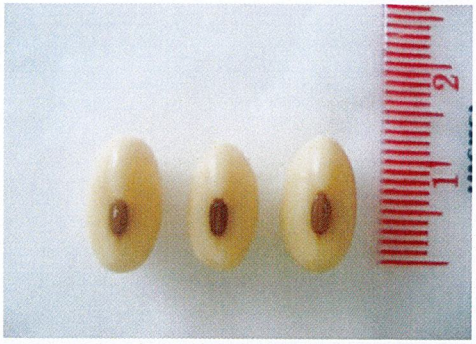


ภาพที่ ค.3 การเพาะงาเพื่อหาอัตราการงอก

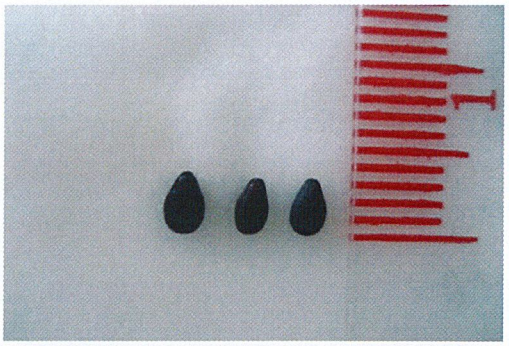


ภาพที่ ค.4 งาที่งอกหลังจากการเพาะเป็นเวลา 13 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

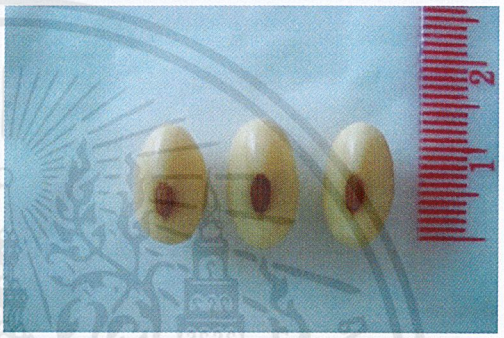


ภาพที่ ค.5 ถั่วเหลืองที่แช่น้ำเป็นเวลา 0 ชั่วโมง



ภาพที่ ค.6 งาดำที่แช่-น้ำเป็นเวลา 0 ชั่วโมง

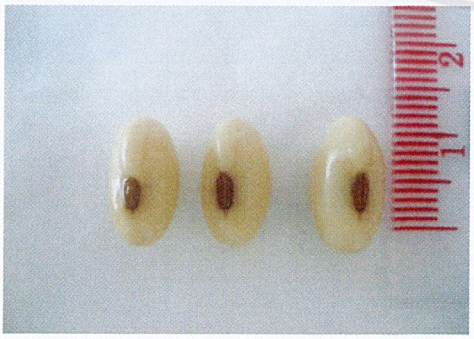
ภาพที่ ค.7 ถั่วเหลืองที่แช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง



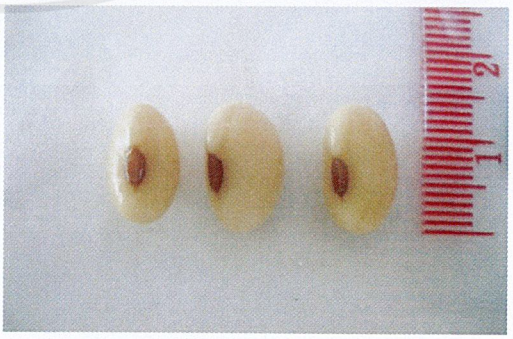
ภาพที่ ค.8 ถั่วเหลืองที่แช่-บ่มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ภาพที่ ค.9 งาที่เพาะแบบแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ภาพที่ ค.10 งาที่เพาะแบบแช่-บ่มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

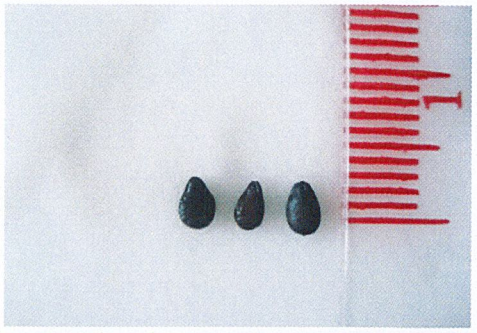


ภาพที่ ค.11 ถั่วเหลืองที่แช่น้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

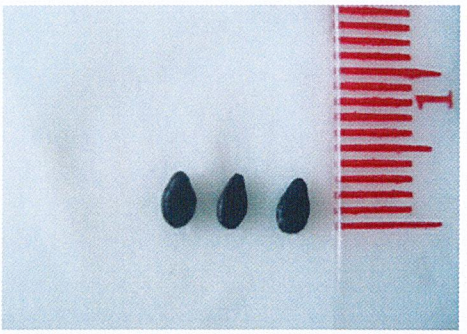


ภาพที่ ค.12 ถั่วเหลืองที่แช่-บ่มเป็น เวลา 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

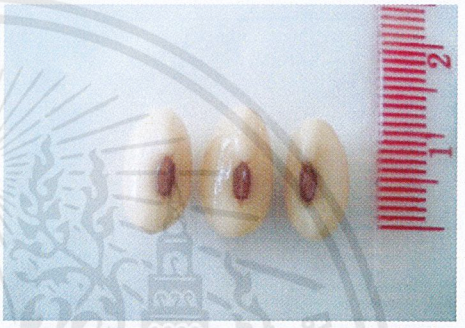


ภาพที่ ค.13 งาที่เพาะแบบแช่น้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

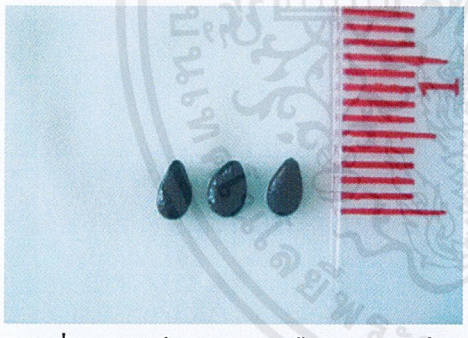


ภาพที่ ค.14 งาที่เพาะแบบแช่-บ่มเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

ภาพที่ ค.15 ถั่วเหลืองที่แช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

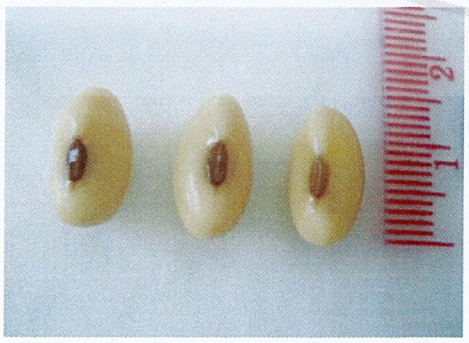


ภาพที่ ค.16 ถั่วเหลืองที่แช่-บ่มเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

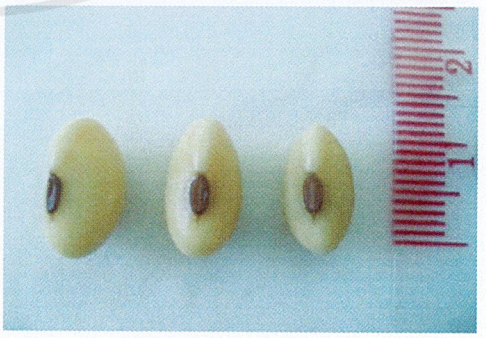


ภาพที่ ค.17 งาที่เพาะแบบแช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

ภาพที่ ค.18 งาที่เพาะแบบแช่-บ่มเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

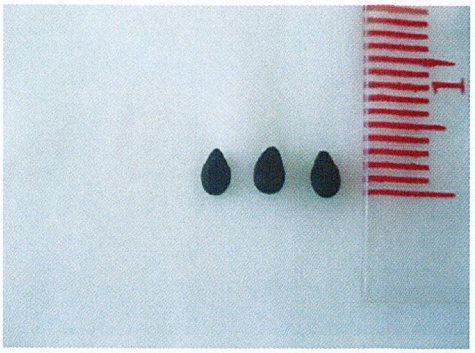


ภาพที่ ค.19 ถั่วเหลืองที่แช่น้ำเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

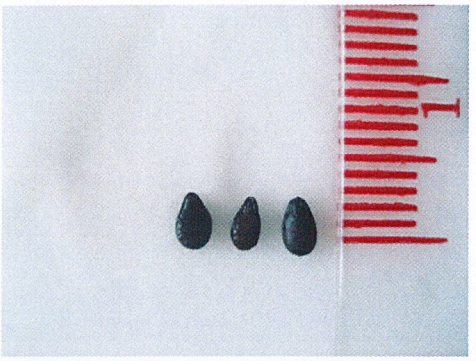


ภาพที่ ค.20 ถั่วเหลืองที่แช่-บ่มเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

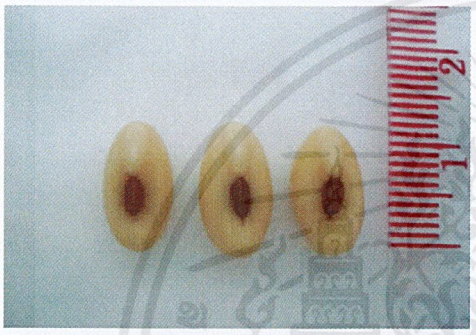
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



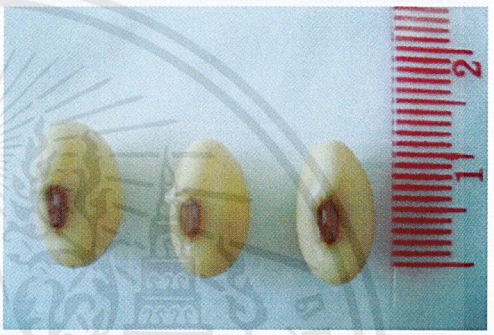
ภาพที่ ค.21 งาที่เพาะแบบแช่น้ำเป็นเวลา 8 ชั่วโมง



ภาพที่ ค.22 งาที่เพาะแบบแช่-บ่มเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

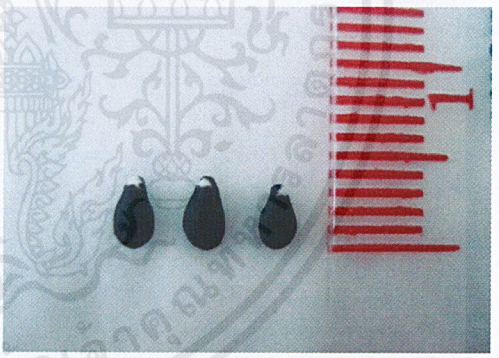


ภาพที่ ค.23 ถั่วเหลืองที่แช่น้ำ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง



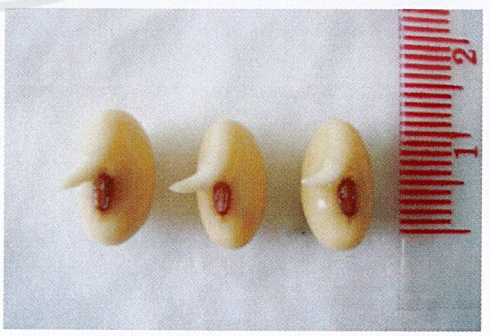
ภาพที่ ค.24 ถั่วเหลืองที่แช่-บ่มเป็นเวลา 10 ชั่วโมง

ภาพที่ ค.25 งาที่เพาะแบบแช่น้ำเป็นเวลา 10 ชั่วโมง



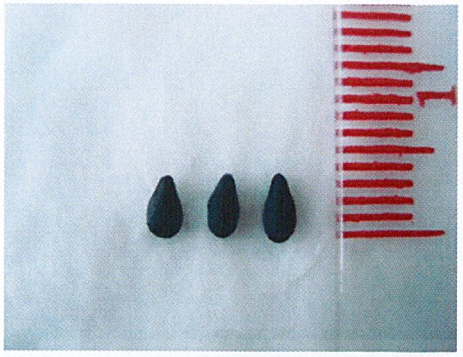
ภาพที่ ค.26 งาที่เพาะแบบแช่-บ่มเป็นเวลา 10 ชั่วโมง

ภาพที่ ค.27 ถั่วเหลืองที่แช่น้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

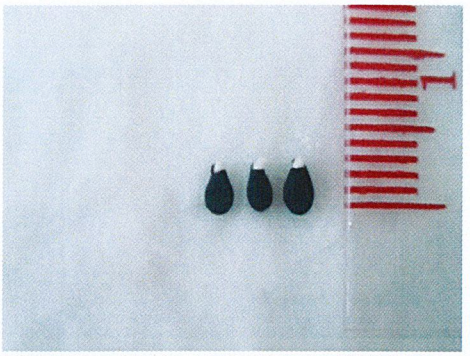


ภาพที่ ค.28 ถั่วเหลืองที่แช่-บ่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

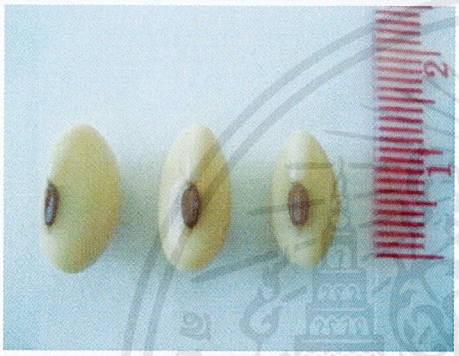
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



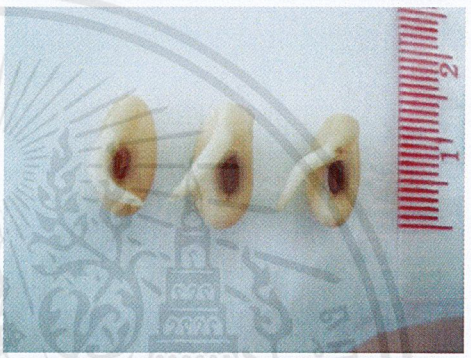
ภาพที่ ค.29 งาที่เพาะแบบแช่น้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง



ภาพที่ ค.23 งาที่เพาะแบบแช่-บ่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง



ภาพที่ ค.31 ถั่วเหลืองที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

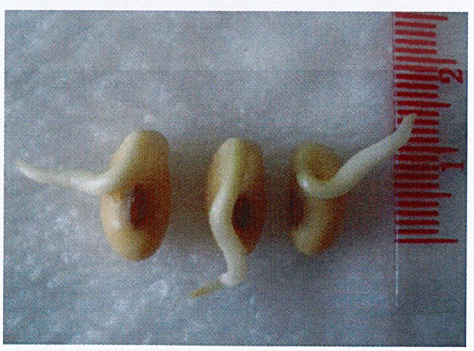


ภาพที่ ค.32 ถั่วเหลืองที่แช่-บ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ภาพที่ ค.33 งาที่เพาะแบบแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ภาพที่ ค.34 งาที่เพาะแบบแช่-บ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ภาพที่ ค.35 ถั่วเหลืองที่แช่น้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง



ภาพที่ ค.36ถั่วเหลืองที่แช่-บ่มเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ค.37 งาที่เพาะแบบแช่น้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

ภาพที่ ค.38 งาที่เพาะแบบแช่-บ่มปืนเวลา 48 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ผลทางสถิติของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Output: Moisture Content (%)

Regression Statistics	
Multiple R	0.997564
R Square	0.995135
Adjusted R Square	0.980539
Standard Error	0.033109
Observation	6

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	0.224216	0.074739	68.17962	0.088738
Residual	1	0.001096	0.001096		
Total	4	0.225312			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	4.509933	0.73165	6.164058	0.102387	-4.78656	13.80643	-4.78656	13.80643
X Variable 1	-0.0087	0.003998	-2.17573	0.27427	-0.0595	0.042104	-0.0595	0.042104
X Variable 2	0.1937	0.482073	0.401806	0.756772	-5.93162	6.319023	-5.93162	6.319023
X Variable 3	-0.0021	0.002617	-0.80325	0.569187	-0.03536	0.031156	-0.03536	0.031156

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Output: %Yield

Regression Statistics	
Multiple R	0.968265
R Square	0.937537
Adjusted R Square	0.750149
Standard Error	9.961258
Observation	6

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	1489.344	496.4481	5.003172	0.314871
Residual	1	99.22667	99.22667		
Total	4	1588.571			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	19.09333	220.1265	0.086738	0.944919	-2777.88	2816.066	-2777.88	2816.066
X Variable 1	0.048833	1.202936	0.040595	0.974171	-15.2359	15.33359	-15.2359	15.33359
X Variable 2	24.94	145.0381	0.171955	0.89159	-1817.94	1867.824	-1817.94	1867.824
X Variable 3	-0.011	0.787507	-0.01397	0.991108	-10.0172	9.99522	-10.0172	9.99522

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Output: Water Activity, a_w

Regression Statistics	
Multiple R	0.996461
R Square	0.992935
Adjusted R Square	0.97174
Standard Error	0.017963
Observation	6

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	0.045348	0.015116	46.84725	0.106895
Residual	1	0.000323	0.000323		
Total	4	0.045671			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	1.558667	0.396949	3.926612	0.158755	-3.48505	6.602388	-3.48505	6.602388
X Variable 1	-0.00628	0.002169	-2.89657	0.211628	-0.03385	0.021279	-0.03385	0.021279
X Variable 2	-0.656	0.261544	-2.50818	0.241522	-3.97923	2.667233	-3.97923	2.667233
X Variable 3	0.00295	0.00142	2.077327	0.285618	-0.01509	0.020994	-0.01509	0.020994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Output: Bulb Density (kg/m^3)

Regression Statistics	
Multiple R	0.997421
R Square	0.994849
Adjusted R Square	0.979396
Standard Error	3.597035
Observation	6

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	2498.885	832.9618	64.37775	0.091303
Residual	1	12.93866	12.93866		
Total	4	2511.824			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	554.8729	79.48823	6.980567	0.090583	-455.121	1564.867	-455.121	1564.867
X Variable 1	-1.76943	0.434383	-4.07344	0.153255	-7.2888	3.749928	-7.2888	3.749928
X Variable 2	33.4696	52.37362	0.639055	0.637991	-632	698.9395	-632	698.9395
X Variable 3	-0.03255	0.284371	-0.11445	0.927452	-3.64582	3.580723	-3.64582	3.580723

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Output: Water Absorption Index, WAI

Regression Statistics	
Multiple R	0.961169
R Square	0.923846
Adjusted R Square	0.695385
Standard Error	0.499573
Observation	6

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	3.027663	1.009221	4.043781	0.346851
Residual	1	0.249574	0.249574		
Total	4	3.277237			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	15.0288	11.03971	1.361341	0.403332	-125.244	155.3016	-125.244	155.3016
X Variable 1	-0.06554	0.060329	-1.08633	0.473672	-0.83209	0.701018	-0.83209	0.701018
X Variable 2	-2.5632	7.273899	-0.35238	0.784316	-94.9868	89.86045	-94.9868	89.86045
X Variable 3	0.010623	0.039495	0.26896	0.832733	-0.49121	0.512451	-0.49121	0.512451

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Output: Water Solubility Index, WSI (%)

Regression Statistics	
Multiple R	0.999887
R Square	0.999773
Adjusted R Square	0.999093
Standard Error	0.139131
Observation	6

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	85.30998	28.43666	1469.03	0.019176
Residual	1	0.019357	0.019357		
Total	4	85.32934			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	65.928	3.074554	21.44311	0.029667	26.86209	104.9939	26.86209	104.9939
X Variable 1	-0.25856	0.016802	-15.3889	0.041311	-0.47205	-0.04507	-0.47205	-0.04507
X Variable 2	10.944	2.025778	5.402368	0.116522	-14.796	36.68395	-14.796	36.68395
X Variable 3	-0.06912	0.010999	-6.28405	0.100465	-0.20888	0.070639	-0.20888	0.070639

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Output: Sinkability (minute)

Regression Statistics	
Multiple R	0.99885
R Square	0.99770
Adjusted R Square	0.99083
Standard Error	0.22045
Observation	6

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	21.17212	7.057373	145.2134	0.060909
Residual	1	0.0486	0.0486		
Total	4	21.22072			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	-57.79	4.871653	-11.8625	0.05354	-119.69	4.110217	-119.69	4.110217
X Variable 1	0.3915	0.026622	14.70568	0.043224	0.053231	0.729769	0.053231	0.729769
X Variable 2	23.24	3.20986	7.240192	0.087376	-17.5451	64.02514	-17.5451	64.02514
X Variable 3	-0.132	0.017428	-7.57383	0.083572	-0.35345	0.089449	-0.35345	0.089449

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Output: Dispersibility (%)

Regression Statistics	
Multiple R	0.937839
R Square	0.879541
Adjusted R Square	0.518165
Standard Error	3.396340
Observation	6

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	84.2248	28.0750	2.4339	0.4329
Residual	1	11.5351	11.5351		
Total	4	95.7600			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	12.9190	75.053222	0.172131	0.891481	-940.723	966.5606	-940.723	966.5606
X Variable 1	0.0339	0.410147	0.082708	0.947466	-5.1775	5.245335	-5.17749	5.245335
X Variable 2	53.0230	49.451457	1.072223	0.477828	-575.317	681.3633	-575.317	681.3633
X Variable 3	-0.2642	0.268504	-0.984	0.505135	-3.67588	3.147463	-3.67588	3.147463

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Output: Hygroscopicity

Regression Statistics	
Multiple R	0.988308
R Square	0.976753
Adjusted R Square	0.907013
Standard Error	0.058992
Observation	6

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	0.14622	0.04874	14.00562	0.193374
Residual	1	0.00348	0.00348		
Total	4	0.1497			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	3.832167	1.303618	2.93964	0.208764	-12.7319	20.39621	-12.7319	20.39621
X Variable 1	-0.00729	0.007124	-1.02272	0.492848	-0.0978	0.083232	-0.0978	0.083232
X Variable 2	0.0152	0.858935	0.01770	0.988735	-10.8986	10.929	-10.8986	10.929
X Variable 3	-0.00098	0.004664	-0.2096	0.868471	-0.06024	0.058281	-0.06024	0.058281

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้