การพัฒนากระบวนการผลิตเครื่องดื่มลูกเดือย *Coix lacryma-jobi* Linn. ผง

นางสาวภัทรี ทิพยรักษ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PROCESS DEVELOPMENT OF JOB'S TEARS *Coix lacryma-jobi* Linn. DRINK POWDER

Miss Pattaree Tiphyarug

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนากระบวนการผลิตเครื่องดื่มลูกเดือย *Coix lacryma-jobi* Linn. ผง
โดย	นางสาวภัทรี ทิพยรักษ์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลาหสงคราม

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลาหสงคราม)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภัทรี ทิพยรักษ์ : การพัฒนากระบวนการผลิตเครื่องดื่มลูกเดือย *Coxi lacryma-jobi* Linn. ผง (PROCESS DEVELOPMENT OF JOB'S TEARS *Coix lacryma-jobi* Linn. DRINK POWDER) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร., สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร. กัลยา เลาหสงคราม, 94 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตเครื่องดื่มลูกเดือยผง ด้วยการทำแห้งแบบพ่นกระจาย เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของลูกเดือย พบว่า มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เส้นใย และเถ้า เท่ากับ 9.26 12.93 9.15 62.99 0.41 และ 5.27% ตามลำดับ จากการศึกษาระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ลูกเดือยในน้ำที่อุณหภูมิห้อง (27$\pm$1^{o}C)/0-6 ชั่วโมง และ 40$\pm$1^{o}C/0-120 นาที พบว่า การแช่ลูกเดือยในน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ให้ลูกเดือยที่มีความชื้นสูงสุด เมื่อนำไปสกัดเป็นน้ำลูกเดือยและทำให้สุกบางส่วน โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65-75^{o}C 3 นาที พบว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70$\pm$1^{o}C นาน 3 นาที จะให้น้ำลูกเดือยผงที่มีความสามารถในการละลายดีที่สุด จากการแปรปริมาณสารช่วยทำแห้ง (มอลโตเดกซ์ทริน) 5 ระดับ ในช่วง 0-20%(w/v) พบว่า น้ำลูกเดือยผงที่ได้จากการเติมมอลโตเดกซ์ทริน 15%(w/v) มีปริมาณผลผลิตสูงสุดและความชื้นต่ำสุด ในการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง ด้วย Response Surface Methodology โดยแปรอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยในช่วง 1-2 ลิตรต่อชั่วโมง และอุณหภูมิลมเข้า 160-200^{o}C พบว่า อัตราการป้อนและอุณหภูมิลมเข้าเท่ากับ 1.6 ลิตรต่อชั่วโมง และ 190^{o}C ตามลำดับ ให้น้ำลูกเดือยผงที่มีปริมาณความชื้นและเวลาในการทำให้อนุภาคผงเปียก (wettability) ต่ำสุด และมีความสามารถในการละลายสูงสุด จากนั้นศึกษาการทำ Agglomeration โดยแปรอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด 10:1 15:1 และ 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร พบว่า อัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด เป็น 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร ให้น้ำลูกเดือยผงที่มีปริมาณความชื้น solubility bulk density wettability และ dispersibility เท่ากับ 2.36% 71.27% 0.63 กรัมต่อมิลลิลิตร 5.7 นาที และ 82.57% ตามลำดับ และเมื่อผสมกับน้ำตาลซูโครสบดละเอียด (6 8 และ 10%) และเกลือ (0.5 0.7 และ 0.9%) และประเมินความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวม พบว่า เครื่องดื่มลูกเดือยผงสำเร็จรูปที่เติมน้ำตาลซูโครส 8% และ เกลือ 0.7% ได้รับคะแนนสูงที่สุด ซึ่งเมื่อเก็บเครื่องดื่มที่ได้ที่อุณหภูมิห้อง, 35^{o}C, 45^{o}C และ 55^{o}C เป็นเวลา 9 สัปดาห์ และคำนวณอายุการเก็บ พบว่า เครื่องดื่มลูกเดือยผงสำเร็จรูปมีอายุการเก็บที่อุณหภูมิ 30^{o}C เท่ากับ 20 สัปดาห์

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่อนิสิต.....ภัทรี ทิพยรักษ์.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2549.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4672364023 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORDS : JOB'S TEARS/PROCESS DEVELOPMENT/SPRAY DRYING

PATTAREE TIPHYARUG : PROCESS DEVELOPMENT OF JOB'S TEARS *Coix lacryma- jobi* Linn. DRINK POWDER. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SAIWARUN CHAIWANICHSIRI, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. KALAYA LAOHASONGKRAM, Ph.D., 94 pp.

The objective of this research was to develop the process of production job's tears *Coix lacryma-jobi* Linn. drink powder by spray drying. The results from proximate analysis of job's tears showed that the moisture, protein, fat, carbohydrate, fiber and ash contents of job's tears were 9.26, 12.93, 9.15, 62.99, 0.41 and 5.27% respectively. Optimum soaking temperature and time (27^{o}C/0-6 h, 40^{o}C/0-120 min.) were studied. The result showed that the optimum condition was soaking the grain at room temperature (27$\pm$1^{o}C) for 2 hours. During heating the job's tears juice extract at 65-75^{o}C for 3 minutes it was found that heating at 70$\pm$1^{o}C for 3 minutes gave the best solubility job's tears powder. Maltodextrin (0-20%,w/v) was added to the juice extract as drying aid and it was found that addition of maltodextrin 15%(w/v) in the pregelatinized extract gave the job's tears powder with the highest yield and lowest moisture content. The optimum feed rate and inlet air temperature were investigated using the Response Surface Methodology and were found to be at 1.6 l/h feed rate and 190^{o}C inlet air temperature. This condition produced the powder with the lowest moisture content and wetting time, but the highest solubility. Agglomeration of the spray dried powder with fresh job's tears juice at the ratio of 20 g-to-1 ml resulted in the powder having moisture content, solubility, bulk density, wettability and dispersibility of 2.36%, 71.27%, 0.63g/ml, 5.7mins, and 82.57%, respectively. Sugar (6-10%) and salt (0.5-0.9%) were added to the agglomerated powder to obtain the job's tears powder mix. Sensory evaluation of the powder mix showed that the panelists preferred the sample with 8% sugar and 0.7% salt. After keeping the samples at room temperature, 35^{o}C, 45^{o}C, and 55^{o}C for 9 weeks, the shelf-life of the sample was estimated to be 20 weeks at 30^{o}C

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Food Technology.....Student's signature...Pattaree T.....

Field of study.....Food Technology.....Advisor's signature.....Saiwarun C

Academic year.....2006.....Co-advisor's signature.....Kalaya L.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อ รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และรองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลาหสงคราม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมเป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ และเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาการทำวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งได้อบรมสั่งสอนให้มีความรอบคอบ รับผิดชอบต่อหน้าที่ และตั้งใจปฏิบัติงาน ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล และอาจารย์ ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กราบขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ประสิทธ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า ทั้งในด้านวิชาการ และจริยธรรม

ขอบคุณพี่ปริญญาเอก และเพื่อนๆ ปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ทุกคน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจกันมาตลอดการวิจัย

ขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและกำลังใจในการทำวิจัยนี้

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ญาติ พี่ น้อง ที่ได้สนับสนุนด้านการศึกษาและให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน ตลอดจนให้กำลังใจอันมีค่ายิ่งเสมอมาจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญรูป.....ฎ
บทที่
1. บทนำ.....1
2. วารสารปริทัศน์.....3
2.1 ลูกเดือย.....3
2.2 การให้ความร้อนแก่แป้งเพื่อทำให้สุกบางส่วน.....6
2.3 การทำแห้งแบบพ่นกระจาย (Spray drying).....7
2.4 การหาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร.....15
2.5 การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาของอาหารแห้ง.....16
3. วิธีการทดลอง.....18
3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ.....18
3.2 ศึกษาระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ลูกเดือย.....18
3.3 ศึกษาการทำให้น้ำลูกเดือยสุกบางส่วนก่อนเข้าเครื่องทำแห้ง
แบบพ่นกระจาย.....18
3.4 ศึกษาปริมาณสารช่วยทำแห้งที่เหมาะสม.....19
3.5 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งน้ำลูกเดือย.....19
3.6 ศึกษาการทำ Agglomeration เพื่อเพิ่มความสามารถในการละลาย
ของน้ำลูกเดือยผง.....20
3.7 พัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผง.....20
3.8 ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผง.....21

หน้า

4. ผลการทดลองและวิจารณ์.....22
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของลูกเดือย.....22
4.2 การศึกษาระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ลูกเดือย.....22
4.3 การทำให้น้ำลูกเดือยสุกบางส่วนก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย.....25
4.4 การศึกษาผลของปริมาณสารช่วยทำแห้งต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำลูกเดือยผง.....26
4.5 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งน้ำลูกเดือย.....28
4.6 การศึกษาการทำ Agglomeration เพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำลูกเดือยผง.....35
4.7 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผง.....37
4.8 การศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผง.....39
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....48
รายการอ้างอิง.....49
ภาคผนวก.....56
ภาคผนวก ก.....57
ภาคผนวก ข.....62
ภาคผนวก ค.....76
ภาคผนวก ง.....79
ภาคผนวก จ.....81
ภาคผนวก ฉ.....93
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....94

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของลูกเดือย……22

4.2 ปริมาณความชื้นของลูกเดือยและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของน้ำแช่ที่อุณหภูมิห้อง (27±1°C)……23

4.3 ปริมาณความชื้นของลูกเดือยและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของน้ำแช่ที่อุณหภูมิ 40±1°C……24

4.4 ผลของการทำให้น้ำลูกเดือยสุกบางส่วนต่อสมบัติทางกายภาพของ น้ำลูกเดือยผง……26

4.5 ผลของปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำลูกเดือยผง……27

4.6 ผลของอุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยต่อสมบัติทางกายภาพ ของน้ำลูกเดือยผง……29

4.7 ภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งน้ำลูกเดือย……35

4.8 สมบัติทางกายภาพของน้ำลูกเดือยผงที่ผ่านการทำ Agglomeration……36

4.9 คะแนนการทดสอบความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมของ เครื่องดื่มลูกเดือยผง……38

ข.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติของน้ำลูกเดือยผง เมื่อใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่างกัน……62

ข.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณผลผลิตของน้ำลูกเดือยผง เมื่อใช้อุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยที่ระดับต่างกัน……63

ข.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นของน้ำลูกเดือยผง เมื่อใช้อุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยที่ระดับต่างกัน……63

ข.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของ Bulk density ของน้ำลูกเดือยผง เมื่อใช้อุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยที่ระดับต่างกัน……64

ข.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของ Solubility ของน้ำลูกเดือยผง เมื่อใช้อุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยที่ระดับต่างกัน……64

ข.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของ Dispersibility ของน้ำลูกเดือยผง เมื่อใช้อุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยที่ระดับต่างกัน……65

ตารางที่ หน้า

ข.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของ Wettability ของน้ำลูกเดือยผง เมื่อใช้อุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยที่ระดับต่างกัน.....65
ข.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติของน้ำลูกเดือยผงที่ผ่านการทำ Agglomeration ที่อัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสดต่างกัน.....66
ข.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนการทดสอบด้านรสชาติ เมื่อเติมน้ำตาลซูโครสและเกลือที่ระดับต่างกัน.....67
ข.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนการทดสอบด้านความชอบโดยรวมเมื่อเติมน้ำตาลซูโครสและเกลือที่ระดับต่างกัน.....67
ข.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($28\pm2^{\circ}C$) เป็นเวลา 9 สัปดาห์.....68
ข.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ $35^{\circ}C$ เป็นเวลา 9 สัปดาห์.....69
ข.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ $45^{\circ}C$ เป็นเวลา 63 วัน.....70
ข.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ $55^{\circ}C$ เป็นเวลา 63 วัน.....71
ข.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนการทดสอบด้านสีและกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($28\pm2^{\circ}C$) เป็นเวลา 9 สัปดาห์.....72
ข.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนการทดสอบด้านสีและกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ $35^{\circ}C$ เป็นเวลา 9 สัปดาห์.....72
ข.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนการทดสอบด้านสีและกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ $45^{\circ}C$ เป็นเวลา 63 วัน.....73
ข.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนการทดสอบด้านสีและกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ $55^{\circ}C$ เป็นเวลา 63 วัน.....73
ข.19 regression analysis ของปริมาณความชื้น.....74
ข.20 regression analysis ของ solubility.....75
ข.21 regression analysis ของ wettability.....75

ตารางที่ หน้า

จ.1 สมบัติต่างๆ ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) เป็นเวลา 9 สัปดาห์.....81

จ.2 สมบัติต่างๆ ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 9 สัปดาห์.....82

จ.3 สมบัติต่างๆ ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 63 วัน.....83

จ.4 สมบัติต่างๆ ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 63 วัน.....85

จ.5 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผง ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28+2°C) เป็นเวลา 9 สัปดาห์.....87

จ.6 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผง ที่เก็บไว้ที่ 35°C เป็นเวลา 9 สัปดาห์.....88

จ.7 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผง ที่เก็บไว้ที่ 45°C เป็นเวลา 63 วัน.....89

จ.8 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผง ที่เก็บไว้ที่ 55°C เป็นเวลา 63 วัน.....90

จ.9 จำนวนผู้ทดสอบที่ยอมรับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องและ 35°C เป็นเวลา 9 สัปดาห์.....91

จ.10 จำนวนผู้ทดสอบที่ยอมรับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บที่อุณหภูมิ 45°C และ 55°C เป็นเวลา 63 วัน.....92

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ต้นเดือย 3

2.2 ลูกเดือย (a) พันธุ์ Typica (b) พันธุ์ Stenocarpa (c) พันธุ์ Monilifer (d) พันธุ์ Ma-yuen 4

2.3 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม 7

2.4 โครงสร้างของมอลโตเดกซ์ทริน 12

2.5 การเกิดการกระบวนการรวมกลุ่มของผลิตภัณฑ์ผง 15

4.1 Response Surface Plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับอุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือย 32

4.2 Response Surface Plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง solubility กับอุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือย 33

4.3 Response Surface Plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง wettability กับอุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือย 34

4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ 40

4.5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ 40

4.6 การเปลี่ยนแปลงค่า L ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ 41

4.7 การเปลี่ยนแปลงค่า a ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ 42

4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า b ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ 43

4.9 การเปลี่ยนแปลง solubility ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ 44

4.10 คะแนนการประเมินด้านสีของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ 46

4.11 คะแนนการประเมินด้านกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ 46

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ลูกเดือยเป็นพืชที่ปลูกกันมากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ร้อยละ 90 ของผลผลิตเป็นสินค้าส่งออกไปยังต่างประเทศ เช่น เกาหลี ญี่ปุ่น (กระทรวงพาณิชย์, 2544) ซึ่งราคาของลูกเดือยไม่แน่นอนขึ้นกับสภาวะการส่งออก และความต้องการของตลาด หากความต้องการของตลาดน้อยหรือผลผลิตลูกเดือยมากเกินความต้องการของตลาด ราคาลูกเดือยจะตกต่ำ นอกจากนี้ลูกเดือยที่มีขนาดไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดหรือแตกหักเสียหายจะไม่สามารถส่งออกไปยังต่างประเทศได้ การส่งเสริมให้มีการใช้ประโยชน์จากลูกเดือยมากขึ้นโดยเฉพาะการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร น่าจะเป็นการแก้ปัญหาราคาตกต่ำ นอกจากนี้ยังควรสนับสนุนให้มีการบริโภคลูกเดือยภายในประเทศเพิ่มขึ้น เนื่องจากลูกเดือยเป็นธัญพืชที่มีคุณค่าโปรตีนและไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว เช่น กรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิก สูงกว่าธัญชาติทั่วไป มีฟอสฟอรัสสูง และวิตามินบีหนึ่งสูงกว่าข้าวกล้อง (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2543) และยังมีรายงานว่าในลูกเดือยมีสารที่มีฤทธิ์เป็นยาหลายชนิดได้แก่ โคอิกโซล (Coixol) มีฤทธิ์ช่วยลดความดันโลหิตและน้ำตาลในเลือด โคอิกซิโนไลด์ (Coixenolide) ช่วยต้านการเจริญเติบโตของเนื้องอก ยับยั้งการเกิดมะเร็ง น้ำมันจากลูกเดือยช่วยกระตุ้นการหายใจ และสารสกัดจากลูกเดือยช่วยให้การหมุนเวียนของเลือดดีขึ้น (Lugli *et al*., 2002; AllergyResearchGroup, 2004) ซึ่งชาวจีนและญี่ปุ่นนิยมบริโภคลูกเดือยมาเป็นเวลานานแล้ว โดยเชื่อว่าลูกเดือยมีคุณสมบัติเป็นยา ช่วยบำรุงกำลัง แก้โรคต่างๆ เช่น ไขข้ออักเสบ ยับยั้งการเกิดมะเร็ง และช่วยลดคอเลสเตอรอล เป็นต้น (โอภาส บุญเส็ง, 2547) จากกระแสชีวจิตได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน เพราะเป็นแนวคิดที่อาศัยธรรมชาติเป็นตัวปรับวิถีการบริโภคเพื่อสร้างภูมิต้านทานโรค ทำให้เกิดความตื่นตัวในการรักษาสุขภาพของคนไทย และกระตุ้นยอดจำหน่ายสินค้าประเภทอาหารธรรมชาติอย่างมาก ลูกเดือยซึ่งจัดเป็นสมุนไพรชนิดหนึ่งได้รับความนิยมมากขึ้นและมีผลิตภัณฑ์จากลูกเดือยออกมาหลายชนิด เครื่องดื่มลูกเดือยเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีผู้นิยมบริโภคเช่นกัน ซึ่งเห็นได้จากในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยบรรจุขวดวางขายอยู่ทั่วไป แต่เนื่องจากเครื่องดื่มลูกเดือยบรรจุขวดมีอายุการเก็บค่อนข้างสั้นเพียง 7-10 วัน และต้องเก็บไว้ในที่เย็น ไม่สะดวกในการขนส่ง ทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยกระจายไปยังผู้บริโภคได้ไม่ทั่วถึงเท่าที่ควร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะพัฒนากระบวนการผลิตเครื่องดื่มลูกเดือยผงโดยการทำแห้งแบบพ่นกระจาย ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการทำแห้งผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยที่มีอายุการเก็บนานขึ้น โดยไม่ต้องแช่เย็น รับประทานได้สะดวก ขนส่ง และสามารถกระจายไปยังผู้บริโภคได้สะดวกขึ้น ซึ่งน่าจะทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยได้รับความนิยมมากขึ้น และเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับลูกเดือยที่มีขนาดไม่ได้ตามเกณฑ์สำหรับส่งออกไปยังต่างประเทศ รวมทั้งลูกเดือยแตกหักเสียหาย และถ้าสามารถผลิตเป็น

ผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณภาพจนสามารถส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้ จะเป็นการเพิ่มมูลค่ามากกว่าการส่งออกวัตถุดิบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ลูกเดือย

ลูกเดือย (Job's tears) เป็นพืชตระกูลหญ้าและข้าว อยู่ในวงศ์ (family) Gramineae สกุล (genus) Coix มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Coix lacryma-jobi* Linn. ชื่อสามัญ คือ Job's Tears จัดเป็นธัญพืชที่เป็นพรรณไม้ล้มลุก (วิทย์ เที่ยงบูรณธรรม, 2539) มีชื่อเรียกอื่น คือ Chinese Pearl Barley และ Adlay ถิ่นกำเนิดของลูกเดือยอยู่ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เชื่อว่าปลูกกันมาเป็นเวลานาน โดยชาวอารยันแถบยอดภูเขาหิมาลัย จากนั้นนักเดินทางชาวอาหรับได้นำไปเผยแพร่ทางตะวันออก ในประเทศไทยมีการเพาะปลูกลูกเดือยครั้งแรกในปี พ.ศ. 2503 บริเวณเขตนิคมสร้างตนเองพระพุทธบาท จ.สระบุรี เขตนิคมสร้างตนเองลพบุรี จ.ลพบุรี เขตนิคมสร้างตนเองปากช่องและมวกเหล็ก จ.นครราชสีมา ต่อมาได้มีการขยายการปลูกไปยัง จ.ชัยภูมิและเลย ในปี พ.ศ. 2513 และขยายไปยังภาคเหนือในปี พ.ศ. 2523 (Vacharotayan *et al*., 1982)

รูปที่ 2.1 ต้นเดือย

ที่มา: http://www.doa.go.th

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.1 การจำแนกชนิดของลูกเดือย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2531)

โดยทั่วไปลูกเดือยจำแนกเป็น 4 พันธุ์ คือ

1. Typica เป็นพันธุ์ป่า เมล็ดมีรูปร่างกลมรีคล้ายรูปไข่ เปลือกเรียบและแข็ง มีสีฟ้าอมขาว ผิวเมล็ดเรียบและแข็ง รับประทานไม่ได้ นิยมใช้ทำเป็นเครื่องประดับ (รูปที่ 2.2 (a))

2. Stenocarpa เมล็ดมีรูปร่างกลมยาว ปลายทั้งสองข้างแป้นเข้า เปลือกมีสีฟ้าอมขาว รับประทานไม่ได้ นิยมนำมาทำเป็นเครื่องประดับ (รูปที่ 2.2 (b))

3. Monilifer เมล็ดมีรูปร่างกลมแบน มีส่วนกว้างมากกว่าส่วนยาว เปลือกแข็ง สีของเปลือกมีตั้งแต่ขาวคล้ายชอล์ค ขุ่นเหมือนน้ำนม สีชมพู สีน้ำตาลและสีดำ ขนาดเมล็ดมีตั้งแต่ใหญ่สุดจนถึงเล็กสุด เมล็ดชนิดนี้ไม่นิยมรับประทาน มักใช้ทำเครื่องประดับห้อยคอ (รูปที่ 2.2 (c))

4. Ma-yuen เมล็ดมีลักษณะเป็นร่องตามแนวยาว เปลือกบางมาก มีสีขาวขุ่นเหมือนชอล์คจนถึงสีเหลืองอ่อนหรือสีน้ำตาล เมล็ดชนิดนี้นิยมเพาะปลูกเพื่อนำมาบริโภค (รูปที่ 2.2 (d))

ซึ่งในประเทศไทยมีการเพาะปลูกลูกเดือยพันธุ์ Ma-yuen เป็นลูกเดือยทางค้า

(a)

(b)

(c)

(d)

รูปที่ 2.2 ลูกเดือย (a) พันธุ์ Typica (b) พันธุ์ Stenocarpa
(c) พันธุ์ Monilifer (d) พันธุ์ Ma-yuen

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของลูกเดือย

Yang และคณะ (1978) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของลูกเดือยพันธุ์ Ma-yuen ที่สีเปลือกออกขัดมัน พบว่า มีปริมาณไขมัน 7.90% เถ้า 1.71% สตาร์ช 53.60% โปรตีน 14.60%และเยื่อใย 0.50%

ยุพดี สิทธิบุศย์ (2526) วิเคราะห์องค์ประกอบของเคมีของลูกเดือยที่ปลูกในจังหวัดพะเยา พบว่า การสีเปลือกออกและการขัดมันมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของลูกเดือย โดยการสีเปลือกออกทำให้ปริมาณโปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณเถ้า และเยื่อใยลดลง ส่วนการขัดมันมีผลทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และเยื่อใยลดลง ลูกเดือยทั้งเปลือกมีปริมาณโปรตีน 10.23%, ไขมัน 5.30%, คาร์โบไฮเดรต 56.46%, เถ้า 7.95% และเยื่อใย 14.10% ในขณะที่ลูกเดือยที่สีเปลือกออกแต่ไม่ขัดมันมีปริมาณโปรตีน 14.46%, ไขมัน 7.90%, คาร์โบไฮเดรต 67.88%, เถ้า 2.30% และเยื่อใย 0.95% ส่วนลูกเดือยที่สีเปลือกออกขัดมันมีปริมาณโปรตีน 13.80%, ไขมัน 4.60%, คาร์โบไฮเดรต 71.39%, เถ้า 2.00% และเยื่อใย 0.40% ส่วน ศิริพร จันทนา (2529) พบว่า ลูกเดือยพันธุ์ Ma-yuen มีปริมาณความชื้น 10.83% โปรตีน 13.05% ไขมัน 5.45% คาร์โบไฮเดรต 68.60% เยื่อใย 0.36% และเถ้า 1.30%

ทัศนีย์ พรกิจประสาน (2530) ศึกษาสมบัติบางประการของลูกเดือยที่ผ่านการสีเปลือกออกขัดมัน พบว่า แป้งลูกเดือยมีโปรตีน 15.18% ไขมัน 5.51% คาร์โบไฮเดรต 69.22% เยื่อใย 0.25% เถ้า 1.53% สตาร์ช 56.58% อะมิโลส 10.85% และอะมิโลเพคติน 89.15% มีปริมาณกรดอะมิโน ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายหลายชนิด ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าปริมาณความต้องการมาตรฐานของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายที่องค์การอาหารและอนามัยโลกกำหนดไว้ ยกเว้นไลซีนและเมไทโอนีน นอกจากนี้ในลูกเดือยมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว คือ กรดโอเลอิก 57.08% และกรดลิโนเลอิก 26.70% และมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัว คือ พัลมิติก 14.24% และสเตียริก 1.98% ซึ่งอาจทำให้เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากเกิดการออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษาขึ้นได้ มีวิตามินบีหนึ่งและวิตามินบีสอง 754.7 และ 28.8 ไมโครกรัม/100 กรัม ตามลำดับ

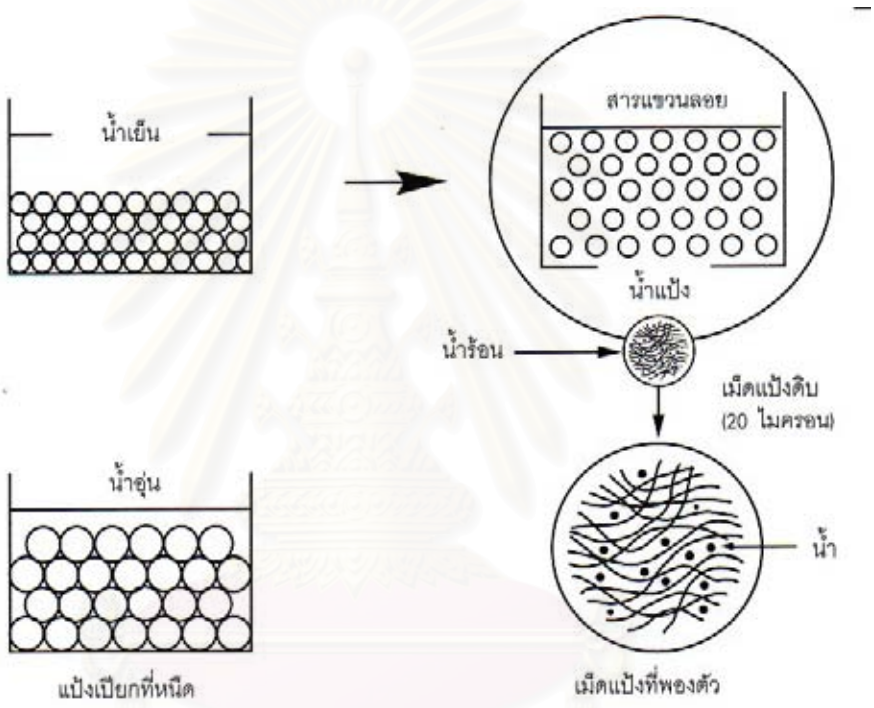
โอภาส บุญเส็ง (2547) รายงานไว้ในฐานความรู้ด้านพืชว่า ลูกเดือย 100 กรัม ให้พลังงาน 372 Kcal ประกอบด้วยน้ำ 10.8% โปรตีน 13.6% ไขมัน 6.1% คาร์โบไฮเดรต 58.5% เยื่อใย 8.4% เถ้า 2.6% แคลเซียม 19 mg ฟอสฟอรัส 364 mg เหล็ก 8 mg ไทอะมีน 0.83 mg ไรโบฟลาวิน 0.1 mg ไนอะซิน 3.1 มิลลิกรัม ซึ่งนับว่าลูกเดือยมีโปรตีนและไขมันสูงกว่าธัญชาติทั่วไป มีฟอสฟอรัสในปริมาณสูง และมีวิตามินบีหนึ่งสูงกว่าข้าวกล้อง

นอกจากนี้ลูกเดือยยังมีสารที่มีฤทธิ์เป็นยาหลายชนิด ได้แก่ โคอิกโซล (Coixol) ช่วยคลายอาการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ ลดความดันโลหิต และลดน้ำตาลในเลือด โคอิกซิโนไลด์ (Coixenolide) ช่วยยับยั้งการเกิดมะเร็ง น้ำมันจากลูกเดือยช่วยกระตุ้นศูนย์การหายใจ ลดความดันโลหิตและขับปัสสาวะ และสารสกัดจากลูกเดือยมีฤทธิ์ทำให้การหมุนเวียนของเลือดที่ผิวหนังดีขึ้น (Lugli *et al.*, 2002; AllergyResearchGroup, 2004) ในประเทศจีนและญี่ปุ่นเชื่อว่าลูกเดือยมีคุณสมบัติเป็นยา ใช้เป็นยาลดไข้ แก้ร้อนใน ขับปัสสาวะ ขับเสมหะ แก้อักเสบ บำรุงกำลัง ปวดข้อเรื้อรัง เหน็บชา ทำให้ร่างกายกระปรี้กระเปร่าและช่วยลดคอเลสเตอรอล (โอภาส บุญเส็ง, 2547) โดยนิยมนำลูกเดือยไปรับประทานโดยบดผสมข้าว ต้มเป็นข้าวต้ม ทำเป็นซุปลูกเดือย ใส่ในน้ำเต้าหู้ และทำเป็นขนมหวาน

2.2 การให้ความร้อนแก่แป้งเพื่อทำให้สุกบางส่วน

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl groups) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห (micelles) ซึ่งการจัดเรียงตัวในลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แป้งดิบจึงไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนและทำให้เกิดการตกตะกอนของน้ำแป้ง แต่เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะเกิดการคลายตัว เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและเกิดการพองตัวดังรูปที่ 2.3 น้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเกิดการเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน โดยการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ คือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ยืดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของน้ำแป้งจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้น้ำแป้งจนถึงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชัน เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวอย่างรวดเร็ว พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย ทำให้ร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดแป้งอ่อนแอลง เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำได้มากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน ความหนืดของน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งจะกระจายตัว ละลายได้ดีขึ้นและไม่เกิดการตกตะกอน แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 เม็ดแป้งจะมีรูปร่างไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล ซึ่งอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป Masters (1991) พบว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 66-72°C ต่อสารละลายสตาร์ชข้าวโพดก่อนป้อนเข้าสู่เครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย สตาร์ชข้าวโพดจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย และสตาร์ชข้าวโพดที่

ได้จากการทำแห้งจะมีสามารถละลายได้ในน้ำเย็น และมีความคงตัวมากขึ้นกว่าสตาร์ชข้าวโพดที่ไม่มีการให้ความร้อนก่อนป้อนเข้าเครื่องทำแห้ง ส่วน Jha, Patel และ Singh (2002) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของผง Kheer mix ที่มีการผสมข้าว โดยให้ความร้อน 75°C ต่อเมล็ดข้าวเพื่อทำให้เกิดการสุกบางส่วน ก่อนนำมาผสมกับผง Kheer mix ในขั้นตอนสุดท้ายก่อนบรรจุ พบว่า การให้ความร้อนต่อเมล็ดข้าวเพื่อทำให้เกิดการสุกบางส่วน ทำให้เม็ดแป้งเกิดการละลายได้มากขึ้น และสามารถกระจายตัว ละลายและแขวนลอยใน Kheer mix ได้ดี



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม
ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 **การทำแห้งแบบพ่นกระจาย** (Spray drying)

การทำแห้งแบบพ่นกระจาย เป็นวิธีการทำแห้งที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์หลายชนิด ตั้งแต่ผลิตภัณฑ์ยา ผลิตภัณฑ์อาหาร จนถึงผลิตภัณฑ์ผงซักฟอก การทำแห้งแบบพ่นกระจาย เป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง แต่ใช้ระยะเวลาสั้นในการแปลงของเหลว ให้เป็นผงในขั้นตอนเดียว โดยอาศัยหลักการพื้นฐาน คือ ของเหลว ซึ่งอาจเป็นสารละลาย suspension หรือ paste ซึ่งสามารถพ่นกระจายเป็นละอองของของเหลวได้

(Sharma, Steven, and Syed, 2000) จะถูกฉีดพ่นให้เป็นละอองหรือกระจายเป็นหยดเล็กๆ และให้สัมผัสกับตัวกลางซึ่งเป็นกระแสลมร้อน ทำให้เกิดการระเหยน้ำอย่างรวดเร็ว เนื่องจากละอองเหล่านี้มีพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนมาก หลังจากนั้นจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงแห้งตกลงมา และจะถูกแยกออกจากลมร้อนเพื่อนำไปบรรจุต่อไป (Karel, Fennema, and Lund, 1975)

2.3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นกระจาย

ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นกระจายมีปัจจัยที่มีผลต่อการดำเนินงานหลายอย่าง ได้แก่

1. <u>การเลือกชนิด การออกแบบ และการดำเนินงานเกี่ยวกับเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย</u> เครื่องทำให้ของเหลวเป็นละอองทั้งแบบ rotary disc atomizer และแบบหัวฉีด (nozzle) จะให้ลักษณะละอองฝอยแตกต่างกัน ซึ่งการเลือกชนิดของเครื่องทำของเหลวให้เป็นละอองจะขึ้นกับขนาดอนุภาคและลักษณะการกระจายของขนาดอาหารผง (particle size distribution) ที่ต้องการ โดยทั่วไปการเพิ่มพลังงานในการพ่นละอองฝอยในขณะที่ภาวะในการป้อนของเหลวคงที่ มีผลให้ขนาดของหยดหรือละอองของเหลวที่พ่นออกจากเครื่องทำละอองฝอยมีขนาดเล็กลง (Nath and Satpathy, 1998) ดังนั้นการเพิ่มความดันใน pressure nozzle การเพิ่มรอบในการหมุน rotary disc atomizer หรือการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศและของเหลวในหัวฉีดแบบ two-fluid nozzle มีผลทำให้ขนาดของผงที่ได้มีขนาดเล็กลง และ bulk density สูงขึ้น Abadio และคณะ (2004) พบว่า การเพิ่มความเร็วรอบการหมุนของ atomizer จะทำให้น้ำสับปะรดผงมีความหนาแน่นสูงขึ้น ส่วน Goula, Konstantinos และ Adamopoulos (2005) พบว่า เมื่อเพิ่มความดันของ pressure nozzle ในขณะที่อุณหภูมิลมเข้าคงที่ ทำให้น้ำมะเขือเทศผงที่ได้มีปริมาณผลผลิตและ bulk density สูงขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นและ solubility ลดลง และสุพจน์ พินิตเกียรติสกุล (2537) พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของ atomizer จาก 10,000 รอบต่อนาที เป็น 15,000 รอบต่อนาที นมถั่วเหลืองผงที่ได้มีความหนาแน่นปรากฏสูงขึ้นจาก 0.50 เป็น 0.53 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วน ศิริยศ ทิมอรุณ (2537) พบว่าเมื่อความดันของ atomizer เท่ากับ 1.0 bar สตาร์ชข้าวที่ได้จะมีขนาดอนุภาคใหญ่ ทำให้สตาร์ชข้าวตกลงมาที่ส่วนล่างของเครื่องทำแห้งเร็วเกินไป ส่งผลให้สตาร์ชข้าวที่ได้มีความชื้นสูง แต่การใช้ความดันของ atomizer สูงถึง 2.0 bar จะได้สตาร์ชข้าวที่มีขนาดอนุภาคเล็ก แต่มีปริมาณผลผลิตต่ำ เพราะสตาร์ชข้าวติดผนังของเครื่องทำแห้ง เนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็ก และมีน้ำหนักเบา จึงลอยอยู่ในเครื่องทำแห้งและติดที่ผนังเครื่องทำแห้ง และพบว่าการใช้ความดันของ atomizer เท่ากับ 1.5 bar เหมาะสมกับการผลิตสตาร์ชข้าวมากที่สุด

2. <u>สมบัติของของเหลวที่ป้อนเข้าเครื่องทำแห้ง</u> การเพิ่มความหนืดของของเหลวหรือลดอุณหภูมิของของเหลวก่อนเข้าเครื่องทำแห้งจะทำให้ละอองฝอยมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนการเพิ่มความเข้มข้นของของเหลว ทำให้มีปริมาณน้ำที่จะระเหยออกไปในระหว่างการทำแห้งลดลง ซึ่งโดยทั่วไปจะมีผลทำให้ขนาดของอนุภาคผงที่ได้ใหญ่ขึ้น และความหนาแน่นปรากฏต่ำลง พิมพรรณ รัตนพฤกษานนท์ (2526) พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของนมถั่วเหลืองจาก 10 เป็น 25°Brix ความหนืดของนมถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ bulk density ของนมถั่วเหลืองผงที่ได้ต่ำลงจาก 0.50 เป็น 0.45 กรัมต่อมิลลิลิตร และนมถั่วเหลืองผงที่ได้มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น และปริมาณความชื้นต่ำลงเช่นเดียวกับ สุพจน์ พินิตเกียรติสกุล (2537) ที่พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดในนมถั่วเหลืองจาก 19.56 เป็น 22.20% ความหนาแน่นปรากฏของนมถั่วเหลืองผงต่ำลงจาก 0.53 เป็น 0.51 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3. <u>อัตราการป้อนของเหลว (feed rate)</u> เมื่ออัตราการป้อนของเหลวเพิ่มขึ้นในขณะที่ภาวะอื่นๆ คงที่ อนุภาคของอาหารผงที่ได้จะมีขนาดใหญ่ขึ้น มีความชื้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ bulk density เพิ่มขึ้น Perez และคณะ (2004) พบว่า การเพิ่มอัตราการป้อนน้ำซุป มีผลทำให้ซุปผงที่ได้มีปริมาณผลผลิตลดลง และมีความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอัตราการป้อนของเหลวจะทำให้เกิดการระเหยน้ำได้น้อยลง ส่งผลให้อนุภาคของซุปผงที่ได้มีน้ำเหลืออยู่ในอนุภาค และติดอยู่ที่ผนังของเครื่องทำแห้ง ปริมาณผลผลิตซุปผงจึงลดลง ส่วน ศิริยศ ทิมอรุณ (2537) พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนของเหลวขึ้น สตาร์ชข้าวที่ได้จะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น แต่มี bulk density ใกล้เคียงกัน

4. <u>การออกแบบเครื่องอบแห้ง</u> (drying chamber design) สำหรับอาหารที่มีคุณลักษณะพิเศษ เช่น มีลักษณะเป็น thermoplastic หรือ hygroscopic เป็นต้น การออกแบบภาชนะทำแห้งต้องออกแบบอย่างละเอียดและรอบคอบ ผนังของภาชนะทำแห้งจะต้องมีอุณหภูมิต่ำอยู่เสมอ (Masters, 1991)

5. <u>อัตราการไหลของอากาศ</u> (air flow rate) อัตราการไหลของอากาศเป็นตัวควบคุมเวลาที่อาหารจะอยู่ในเครื่องทำแห้ง การเพิ่มเวลาให้อาหารอยู่ในเครื่องทำแห้งนานขึ้นมีผลให้เกิดการระเหยน้ำได้มากขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Goula และคณะ (2005) ที่พบว่าการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศเข้า จะทำให้น้ำมะเขือเทศผงที่ได้มีปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้น, bulk density และ solubility ลดลง เช่นเดียวกับรายงานของ Perez และคณะ (2004) ที่พบว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ปริมาณผลผลิตของซุปผงที่ได้จะเพิ่มขึ้น และมีความชื้นลดลง

6. <u>อุณหภูมิในการทำแห้ง</u> (drying temperature) การเพิ่มอุณหภูมิลมเข้า โดยที่อัตราการป้อนของอาหารเหลวคงที่ ทำให้เกิดการระเหยของน้ำในอนุภาคได้มากขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิลมเข้ามักมีผลทำให้ปริมาณความชื้น และ bulk density ของผลิตภัณฑ์อาหารผงลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารผงที่ได้มีความโปร่งมากขึ้น (Nath and Satpathy, 1998) ซึ่งอุณหภูมิลมเข้าจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์อาหารผงแตกต่างกันไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์ ควรเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ จากรายงานของ พิมพรรณ รัตนพฤกษานานนท์ (2526) และ สุพจน์ พินิตเกียรติสกุล (2537) พบว่า เมื่ออุณหภูมิลมเข้าเพิ่มขึ้น นมถั่วเหลืองผงที่ได้จะมีปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นและ bulk density ลดลง แต่การเพิ่มอุณหภูมิลมเข้าสูงเกินไป อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีความสามารถในการละลายไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากการใช้อุณหภูมิลมเข้าสูงเกินไป อาจส่งผลให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ผงแห้งเกินไป จึงต้องเลือกใช้อุณหภูมิลมเข้าให้เหมาะสม ดังรายงานของ นราวัลลภ์ เปล่งจินดาเรือง และคณะ (2543) ที่พบว่า การใช้อุณหภูมิลมเข้าสูงถึง 200°C จะให้นมข้าวโพดผงที่มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด แต่มีความสามารถในการละลายต่ำ และการใช้อุณหภูมิลมเข้า 160°C ให้นมข้าวโพดผงที่มีปริมาณความชื้นต่ำ และมีความสามารถในการละลายสูง ซึ่งใกล้เคียงกับ เปาว์ คงสุนทรกิจกุล, ฉัตรดาว จางวางกร และ ปริญ โชคสวัสดิ์ไพศาล (2546) ที่ควบคุมอุณหภูมิลมเข้า 150°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการผลิตน้ำมะเขือเทศผงสำเร็จรูป ให้น้ำมะเขือเทศผงที่มีปริมาณความชื้นลดลงจาก 6.02 เป็น 5.71%, bulk density ลดลงจาก 1.68 เป็น 1.46 g/ml และมีความสามารถในการละลายดีขึ้น ส่วน Goula และคณะ (2005) พบว่า เมื่ออุณหภูมิลมเข้าสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศผงมีปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้น, bulk density และ solubility ลดลง

2.3.2 **สารช่วยทำแห้ง** (Drying aid)

สารช่วยในการทำแห้งเป็นสารที่ช่วยให้เกิดการทำแห้งอย่างสมบูรณ์ ช่วยรักษาสารให้กลิ่นรสในกระบวนการทำแห้ง ช่วยลดการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์แห้ง และช่วยลดการจับตัวเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บ นอกจากนี้ยังรักษาสารให้กลิ่นรสในกระบวนการทำแห้งและช่วยห่อหุ้มส่วนประกอบของอาหารอีกด้วย

พิมพรรณ รัตนพฤกษานนท์ (2526) ได้ศึกษาการใช้น้ำตาลทราย เดกซ์ทริน และแบะแซในการผลิตนมถั่วเหลืองผงโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นกระจาย พบว่า เดกซ์ทรินเป็นสารช่วยทำแห้งที่เหมาะสมในการผลิตนมถั่วเหลืองผง โดยการเติมเดกซ์ทรินร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนักลงในนมถั่วเหลืองเข้มข้นก่อนทำให้แห้งแบบพ่นกระจาย ทำให้นมถั่วเหลืองคืนรูปมีความคงตัว ไม่มีการแยกชั้น ส่วนการใช้น้ำตาลทรายและแบะแซเป็นสารช่วยทำแห้งจะให้ปริมาณผลผลิตต่ำ เพราะมีนมถั่วเหลืองผงจับติดอยู่ที่ผนังด้านในของเครื่องทำแห้ง

Tanafranca, Loberiano, และ Reyes (2004) ได้ศึกษาการเติมอัลจิเนต กัมอารบิก สตาร์ชมันสำปะหลัง และมอลโตเดกซ์ทรินในการผลิตผง kalamansi พบว่า การเติมอัลจิเนตจะช่วยปรับปรุงการทำแห้งให้ดีขึ้น ส่วนการใช้กัมอารบิกและสตาร์ชมันสำปะหลังจะทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติในผลิตภัณฑ์ ส่วนการเติมมอลโตเดกซ์ทรินจะช่วยให้เกิดทำแห้งดีที่สุด และช่วยป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์

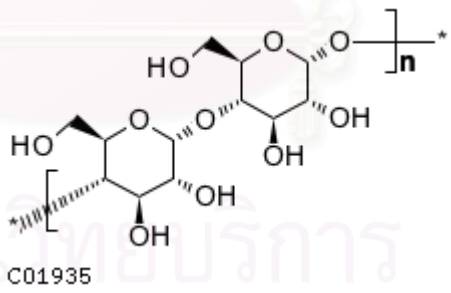
ส่วน Jaya และ Das (2004) ศึกษาผลของการใช้มอลโตเดกซ์ทริน glycerol monostearate และ tricalcium phosphate ต่อสมบัติของมะม่วงผง พบว่า การใช้มอลโตเดกซ์ทริน 0.25-0.65 kg/kg ของแข็งในมะม่วงจะทำให้มะม่วงผงที่ได้ไม่จับตัวกันเป็นก้อน มี flowability และ dispersibility สูงกว่าการใช้ glycerol monosterate และ tricalcium phosphate

Cano-Chouca และคณะ (2005) ศึกษาการทำมะม่วงผงโดยใช้มอลโตเดกซ์ทริน กัมอารบิกและเซลลูโลส พบว่า การใช้มอลโตเดกซ์ทริน 12% มีผลทำให้มะม่วงผงที่ได้มีความสามารถในการละลายดีที่สุด ส่วนการใช้เซลลูโลสจะชักนำให้เกิดผลึกของน้ำตาล ทำให้มะม่วงผงมีลักษณะเหนียวติดกันและการละลายไม่ดี ส่วนการใช้กัมอารบิกจะช่วยปรับปรุงการละลายของมะม่วงผง แต่การละลายยังไม่ดีเท่ากับการใช้มอลโตเดกซ์ทริน

บังอร ศรีพานิชกุลชัย และคณะ (2550) ศึกษาการเตรียมผงวุ้นว่านหางจระเข้โดยใช้แลคโตส แมนนิทอล และมอลโตเดกซ์ทรินเป็น carrier พบว่า การใช้แลคโตส 10% จะให้ผงวุ้นว่านหางจระเข้ที่มีลักษณะเป็นผงละเอียด ไม่จับตัวเป็นก้อน มีปริมาณความชื้นต่ำ และมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี และเมื่อนำมาละลายน้ำกลับจะมีความหนืดสูงกว่าการใช้แมนนิทอลและมอลโตเดกซ์ทริน

ตัวอย่างสารช่วยในการทำแห้ง ได้แก่ มอลโตเดกซ์ทริน $[(C_2H_{16}O_6)_n\text{-}H_2O]$ เป็นสารช่วยในการทำแห้งชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นกระจาย Food and Drug Administration (1998) ได้ให้คำนิยามของมอลโตเดกซ์ทรินว่า เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต ประเภท nutritive saccharide polymer ซึ่งประกอบด้วย D-glucose ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4 (รูปที่ 2.4) และมีค่า Dextrose Equivalent (DE) น้อยกว่า 20 ลักษณะเป็นผงสีขาวหรืออยู่ในรูปของสารละลาย ได้จากการย่อยสตาร์ชข้าวโพดด้วยกรดหรือเอนไซม์ หรือทั้งสองชนิด มีคุณสมบัติเป็น non-hygroscopic เมื่ออยู่ในรูปผงจะมีการดูดความชื้นต่ำ และเมื่อนำมาละลายน้ำสารละลายที่ได้มีความหนืดต่ำ การใช้มอลโตเดกซ์ทรินในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นกระจาย นอกจากจะสามารถป้องกันการระเหยของสารประกอบประเภท volatile แล้ว ยังช่วยเพิ่มเนื้อ (body) ของอาหาร ช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายให้มีความคงตัวมากขึ้น มี free flow property และมีความสามารถในการละลายดีขึ้น ช่วยลดปัญหาการติดกัน และ

การรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนในระหว่างการเก็บรักษา (Gabas *et al*., 2007) นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่มีสาเหตุมาจากความร้อน แสง ความชื้น ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บสั้นลง ประกอบกับมอลโตเดกซ์ทริน มีราคาไม่แพงนัก จึงทำให้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย (Sara and Gary, 1988) โดยมักใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ทำให้แห้งได้ยาก เช่น น้ำผลไม้ สารให้กลิ่นรส สารให้ความหวาน เป็นต้น สมบัติด้านการดูดความชื้นของมอลโตเดกซ์ทรินจะขึ้นกับค่า DE โดยมอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำจะดูดความชื้นได้น้อย ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้มอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า DE ไม่เกิน 20 ในปริมาณ 5-15% (w/v) (Abadio *et al*., 2004) ดังนั้นจึงควรเลือกใช้สารช่วยในการทำแห้งในปริมาณที่เหมาะสม เพราะการใช้สารช่วยทำแห้งมากเกินไปอาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสามารถในการละลายไม่ดีเท่าที่ควร นราวัลลภ์ เปล่งจินดาเรืองและคณะ (2543) พบว่า การเติมมอลโตเดกซ์ทริน15% (w/v) ในนมข้าวโพดผง จะทำให้นมข้าวโพดผงมีปริมาณความชื้น 1-3% ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแห้งประเภทเครื่องดื่มผงสำเร็จรูป Abadio และคณะ (2004) พบว่า การใช้มอลโตเดกซ์ทริน 10%(w/v) ร่วมกับความเร็วของ atomizer ต่ำ จะช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำสับปะรดผงได้ ส่วน Chopda และ Barrett (2005) พบว่า การใช้มอลโตเดกซ์ทริน 20% จะช่วยปรับปรุงความสามารถในการละลายของน้ำฝรั่งผงได้ดีขึ้น ส่วน Borges และคณะ (2002) และ Bhandari และคณะ (1993) พบว่าการเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน มีผลทำให้ความหนาแน่นปรากฏของน้ำแพชชั่นฟรุตผง น้ำสับปะรดผงและน้ำผลไม้ผงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของมอลโตเดกซ์ทริน

ที่มา: http://www.genome.jp

ไซโคลเดกซ์ทริน (cyclodextrin) เป็นเดกซ์ทรินที่ได้จากการใช้เอนไซม์ cyclodextrin glucanotransferase ในการเปลี่ยนแป้งสายตรงให้มีลักษณะเป็นวงกลม ซึ่งถือเป็น cyclic oligosaccharide ที่เกิดจากการต่อกันของกลูโคสเป็นวง ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ แอลฟา-ไซโคลเดกซ์ทริน, บีต้า-ไซโคลเดกซ์ทริน และแกมมา-ไซโคลเดกซ์ทริน ซึ่งเกิดจากกลูโคส

จำนวน 6, 7 และ 8 หน่วยมาจับกันเป็นวง ตามลำดับ (Samant and Pai, 1991) โดยด้านวงในของไซโคลเดกซ์ทรินจะมีลักษณะเป็น hydrophobic ส่วนวงนอกเป็น hydrophilic จากสมบัตินี้ทำให้ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นสารที่นำมาใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ เช่น เป็นสารในการทำให้เกิดความคงตัวของอาหารและผลิตภัณฑ์ที่มีความไวต่อแสง ความร้อน และออกซิเจน ใช้ในการกักเก็บกลิ่นรสของอาหารและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ใช้เป็นอีมัลซีไฟเออร์ในผลิตภัณฑ์ที่มีการละลายในน้ำไม่ดี ใช้เป็นตัวเพิ่มเนื้อของอาหารหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ นอกจากนี้ Hicks, Sapers และ Seib (1990) พบว่า การใช้ไซโคลเดกซ์ทรินในน้ำผักและผลไม้จะช่วยยืดอายุการเก็บ เนื่องจากไซโคลเดกซ์ทรินจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ส่วน ศุกฤตย์ ไทยอุดม (2538) พบว่า การเติมไซโคลเดกซ์ทริน 0.665 กรัมต่อน้ำบัวบกสด 100 มิลลิลิตร เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตน้ำบัวบกผงสำเร็จรูป ซึ่งจะให้น้ำบัวบกผงสำเร็จรูปที่มีปริมาณความชื้นต่ำและมีความสามารถในการละลายสูง

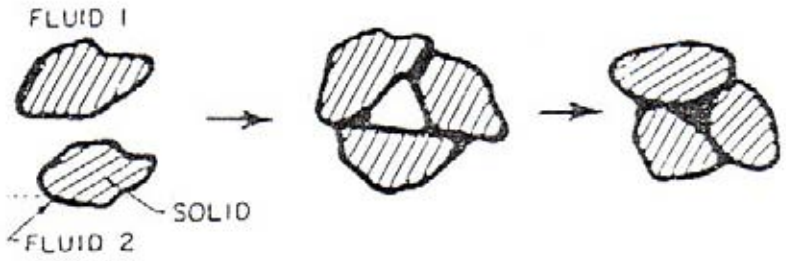
2.3.3 การเพิ่มความสามารถในการละลายโดยกระบวนการรวมกลุ่ม (Agglomeration)

ในผลิตภัณฑ์อาหารผงควรมีสมบัติต่างๆ คือ ความสามารถในการจม (sinkability) ความสามารถในการกระจายตัว (dispersibility) ความสามารถในการเปียก (wettability) ความสามารถในการละลาย (solubility) ที่ดี แต่ในผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นกระจายมักมีสมบัติเหล่านี้ไม่ดีเท่าที่ควร การทำให้เกิดกระบวนการรวมกลุ่มจะช่วยปรับปรุงสมบัติเหล่านี้ให้ดีขึ้น รวมถึงช่วยลดการฟุ้งกระจายของผลิตภัณฑ์ผงอีกด้วย (Canovas and Mercado, 1996)

การทำให้เกิดกระบวนการรวมกลุ่มทำได้หลายวิธี แต่จะอยู่บนขั้นตอนพื้นฐาน 4 ขั้นตอน (Masters, 1991) ได้แก่

1. การทำให้ผิวนอกของอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงเปียก โดยใช้ไอน้ำ ละอองน้ำหรือทั้ง 2 อย่าง
2. การทำให้อนุภาคผลิตภัณฑ์ผงจับหรือรวมกลุ่มกันเป็นก้อน
3. การทำให้อนุภาคผลิตภัณฑ์ที่รวมกลุ่มกันเป็นก้อนแล้วทำให้แห้งอีกครั้งด้วยลมร้อน
4. การทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้เย็นลงพร้อมที่จะบรรจุต่อไป

Capes (1987) อธิบายว่า เมื่อผิวของผลิตภัณฑ์อนุภาคผงถูกของเหลวหุ้มโดยรอบจะเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคผลิตภัณฑ์ผง ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคผลิตภัณฑ์ผงลดลง ดังรูปที่ 2.5 ดังนั้นเมื่ออนุภาคผลิตภัณฑ์ผงถูกของเหลวหุ้มบริเวณผิวมาก การรวมกลุ่มของผลิตภัณฑ์ผงจะเกิดมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากเกิดกระบวนการรวมกลุ่มจะมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ทำให้การกักเก็บของเหลวระหว่างอนุภาคของผลิตภัณฑ์ผงมากขึ้น ปริมาณความชื้นสูงขึ้น ซึ่งความชื้นที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์จะขึ้นกับอัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ผงต่อน้ำของเหลวหรือไอน้ำที่ใช้ทำให้เกิดกระบวนการรวมกลุ่ม ในการทำน้ำบัวบกผงสำเร็จรูปจะใช้อัตราส่วนน้ำบัวบกผงต่อน้ำบัวบกสดเท่ากับ 25:1 กรัมต่อมิลลิลิตร (ศุกฤตย์ ไทยอุดม, 2538) และการทำนมข้าวโพดผงจะใช้อัตราส่วนนมข้าวโพดผงต่อนมข้าวโพดเท่ากับ 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 10 นาที ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงที่ได้มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 1-3% ซึ่งถือว่าเป็นช่วงของปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งประเภทเครื่องดื่มผงสำเร็จรูป และมีความสามารถในการละลายดีที่สุด (นราวัลลภ์ เปล่งจินดาเรือง และคณะ, 2543) นมผง (Nijdam and Langrish, 2006) เครื่องดื่มโกโก้ผง (Shittu and Lawal, 2007) ที่ผ่านกระบวนการรวมกลุ่ม มีขนาดของอนุภาคเฉลี่ยใหญ่ขึ้น ส่วน Kowalska และ Lenart (2005) ศึกษาการทำ agglomeration เครื่องดื่มโกโก้ผงด้วยสารละลายน้ำตาล 10%, 20% และ 30% พบว่า เครื่องดื่มโกโก้ผงที่ใช้ปริมาณสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น จะมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ส่วน bulk density ลดลง แต่ต้องใช้เวลาในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับน้ำลดลง ส่วน Omobuwajo, Busari และ Osemwegie (2000) พบว่าการทำให้เกิดกระบวนการรวมกลุ่มของเครื่องดื่มช็อกโกแลตผงจะช่วยปรับปรุงความสามารถในการละลาย ทำให้สามารถละลายกลับได้ง่าย ปรับปรุงคุณภาพด้านประสาทสัมผัส และเพิ่มความสามารถในการเพิ่มอัตราการเปียก การจม และการแพร่กระจายได้เร็วขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามการทำให้เกิดกระบวนการรวมกลุ่มสำหรับผลิตภัณฑ์ผงสำเร็จรูป อาจทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ไปได้ระหว่างกระบวนการผลิต ถ้าการควบคุมปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ภาวะความชื้นในการทำให้อนุภาคผลิตภัณฑ์ผงเปียก การทำให้อนุภาคผลิตภัณฑ์ผงเกิดการจับตัวเป็นก้อน และกระแสลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้งอีกครั้งไม่เหมาะสม นอกจากนี้กลิ่นรสอาจสูญเสียไปเนื่องจากการบรรจุและเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสมได้เช่นกัน (Hall and Hedrick, 1971)



รูปที่ 2.5 การเกิดการกระบวนการรวมกลุ่มของผลิตภัณฑ์ผง

ที่มา: Capes (1987)

2.4 การหาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร

อายุการเก็บของอาหาร คือ เวลาที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเสื่อมคุณภาพลงจนถึงระดับที่ยอมรับไม่ได้ ผลิตภัณฑ์อาหารสามารถเก็บได้เป็นระยะเวลาหนึ่งโดยไม่เสื่อมคุณภาพถือเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ปัจจัยที่ควบคุมอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ ลักษณะของผลิตภัณฑ์ คุณสมบัติของภาชนะบรรจุ และสภาพแวดล้อมที่ผลิตภัณฑ์อาหารสัมผัสในระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ออกซิเจนและแสง ซึ่งมีผลต่อการเร่งกลไกปฏิกิริยาหลายๆ อย่างที่อาจทำให้อาหารเสื่อมเสียได้ ดังนั้นต้องเข้าใจถึงปฏิกิริยาต่างๆ ที่เป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย ก่อนที่จะกำหนดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารนั้น (Man and Jones, 2000)

การศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารทำได้ 4 วิธี คือ การทดลองเก็บจริง การคำนวณโดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ การสร้างสถานการณ์จริง และการเร่งอายุการเก็บ (Steele, 2004)

วิธีการเร่งอายุการเก็บคล้ายกับการเก็บจริงแต่เร่งการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ให้เร็วขึ้น เป็นวิธีที่นิยมใช้ เนื่องจากประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลา วิธีการเร่งอายุการเก็บจะทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการในสภาวะเร่ง โดยใช้การเพิ่มอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์หรือบรรยากาศที่มีออกซิเจนสูง ในการเร่งอัตราการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร อาจใช้ Q_{10} ทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารที่อุณหภูมิต่างๆ

พิมพรรณ รัตนพฤกษานนท์ (2526) ศึกษาอายุการเก็บของนมถั่วเหลืองผง พบว่า นมถั่วเหลืองผงมีอายุการเก็บนาน 4 เดือนเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยที่ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดกลิ่นหืนและค่า solubility index ไม่เกิน 1.0 มิลลิลิตร ส่วนสรรชัย เทียมทวีสิน (2530) ศึกษาอายุการเก็บของนมผงที่บรรจุในกระป๋องและถุงโพลีเอทธีลีนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่า นมผงมีอายุ

การเก็บรักษาเกิน 6 เดือน โดยที่คุณภาพของนมผงเปลี่ยนแปลงไม่มาก และไม่มีกลิ่นผิดปกติ ส่วน Tanafranca และคณะ (2004) ศึกษาอายุการเก็บของผง kalamansi ที่บรรจุในถุง HDPE และ PE/Al/PE เก็บที่อุณหภูมิ 28-30°C พบว่า ผง kalamansi มีอายุการเก็บรักษา 1 ปี โดยไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อน ส่วน วันเพ็ญ ศิลาวานิชยกุล และ อุตรานุช เปรมสมาน (2533) ศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผสมชนิดผงที่บรรจุในถุง HDPE และ PE/Al/PE ที่อุณหภูมิห้อง (30-33°C) และอุณหภูมิ 35°C พบว่า ผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผสมชนิดผงที่บรรจุในถุง HDPE มีอายุการเก็บ 3 และ 1 สัปดาห์ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผสมชนิดผงที่บรรจุในถุง PE/Al/PE มีอายุการเก็บ 5 และ 3 สัปดาห์ตามลำดับ ซึ่งน้ำผลไม้ผสมชนิดผงจะชื้น และจับตัวแข็งเป็นก้อน ฉันทรา พูนศิริ (2537) ศึกษาอายุการเก็บของยาอมสมุนไพรไทยที่มีกระเจี๊ยบผงเป็นส่วนผสม โดยใช้การเก็บที่อุณหภูมิ 35°C และ 45°C พบว่า ยาอมสมุนไพรมีอายุการเก็บอย่างน้อย 2 เดือน โดยที่คุณสมบัติทางกายภาพและทางจุลินทรีย์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35°C แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 45°C ส่วน ศุกฤตย์ ไทยอุดม (2538) ศึกษาอายุการเก็บของน้ำบัวบกผงสำเร็จรูปชนิดละลายทันที โดยใช้การเก็บที่อุณหภูมิ 35°C และ 45°C พบว่าอายุการเก็บของน้ำบัวบกผงสำเร็จรูปชนิดละลายทันทีที่อุณหภูมิเฉลี่ยในห้างสรรพสินค้า (20°C) มีค่าประมาณ 39 สัปดาห์ แต่เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30°C มีอายุการเก็บประมาณ 15 สัปดาห์

2.5 การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาของอาหารแห้ง

ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นต่ำพอที่จะยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิดได้ แต่ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวเคมีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาได้

พิมพรรณ รัตนพฤกษานนท์ (2526) พบว่า ชนิดของภาชนะบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษานมถั่วเหลืองผงมีผลต่อการเกิดกลิ่นหืน ภาชนะพลาสติก PE ไม่เหมาะสำหรับใช้บรรจุนมถั่วเหลืองผง เนื่องจากจะเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน และเกิดกลิ่นหืนตั้งแต่เดือนแรกของการเก็บรักษาทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 5°C ส่วน วันเพ็ญ ศิลาวานิชยกุล และ อุตรานุช เปรมสมาน (2533) พบว่า ผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผสมชนิดผงจะมีความชื้นเพิ่มขึ้น และจับตัวแข็งเป็นก้อนในระหว่างการเก็บรักษา ส่วน Hymavathi และ Khader (2005) พบว่า เมื่อเก็บมะม่วงผงเป็นเวลา 6 เดือน ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การเกิด non-enzymatic browning ไม่มีความแตกต่างกัน ส่วน Davoodi และคณะ (2006) พบว่า เมื่อเก็บมะเขือเทศผงที่บรรจุในถุง LDPE ที่อุณหภูมิห้อง (22 ± 2°C) เป็นเวลา 6 เดือน น้ำมะเขือเทศผงเกิดการเสื่อมเสีย โดยมี

ปริมาณความชื้นและเกิด non-enzymatic browning สูงขึ้น และการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำ แสง ออกซิเจนและความชื้นสัมพัทธ์ อาจช่วยยืดอายุการเก็บของน้ำมะเขือเทศผงได้ ส่วน Tanafranca และคณะ (2004) พบว่า ผง kalamansi ที่บรรจุในถุง HDPE เก็บรักษาที่ 28-30°C เป็นเวลา 6 เดือนจะเกิดการสูญเสียกลิ่นรสไป แต่ผง kalamansi ที่บรรจุในถุง PE/Al/PE จะเกิดการสูญเสียกลิ่นรสเมื่อเวลาผ่านไป 10 เดือน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

วัตถุดิบ

ลูกเดือยที่ใช้ในการทดลอง คือ ลูกเดือยพันธุ์ *Coix lacryma-jobi* Linn. var. ma-yuen โดยนำลูกเดือยมาคัดแยกสิ่งปนเปื้อน เช่น เศษหิน เศษไม้ จากนั้นบรรจุลงถุงพลาสติกและปิดผนึกแบบสุญญากาศ ใส่กล่องพลาสติก เพื่อนำไปใช้ต่อไป

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของลูกเดือย ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต (ภาคผนวก ก.1-ก.6) วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

3.2 ศึกษาระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ลูกเดือย

นำลูกเดือยมาล้างน้ำ อัตราส่วนลูกเดือยต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 โดยน้ำหนัก (ชีวจิต, 2003) ล้าง 3 รอบ สะเด็ดน้ำหลังล้างทุกครั้ง แช่ลูกเดือยในน้ำในอัตราส่วนลูกเดือยต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 โดยน้ำหนัก ที่ 2 ภาวะ คือ อุณหภูมิห้อง ($27\pm1^{\circ}C$) เป็นเวลา 0-6 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง และอุณหภูมิ $40\pm1^{\circ}C$ เป็นเวลา 0-120 นาที ควบคุมอุณหภูมิตลอดเวลาการทดลองโดยใช้ Water Bath เก็บตัวอย่างทุก 15 นาที วัดความชื้นด้วย Moisture Analyzer (Sartorious, MA30, Germany) และวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำที่ใช้แช่ลูกเดือย โดยใช้ Hand Refractometer (ATAGO, N-1α, JAPAN) เลือกระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ลูกเดือยที่ให้ปริมาณความชื้นของลูกเดือยเพิ่มขึ้นมากที่สุด เพื่อใช้ในการเตรียมน้ำลูกเดือยต่อไป

3.3 ศึกษาการทำให้น้ำลูกเดือยสุกบางส่วนก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย

นำลูกเดือยที่แช่ในน้ำตามภาวะที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.2 ไปบดลดขนาดด้วย Stone Mill 3 รอบ ใส่ในหม้อแสตนเลสเบอร์ 18 ปริมาตร 2 ลิตร และให้ความร้อนแก่น้ำลูกเดือย ควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ Water Bath ที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ $65\pm1^{\circ}C$, $70\pm1^{\circ}C$ และ $75\pm1^{\circ}C$ นาน

3 นาที จับเวลาเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิที่ต้องการ วัดความหนืดของน้ำลูกเดือยที่ได้ด้วย Brookfield Viscometer (BROOKFIELD model DVI+) ใช้หัวเข็มเบอร์ 2 ความเร็วรอบ 50 rpm

ป้อนน้ำลูกเดือยที่ทำให้สุกบางส่วนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย (GEA NIRO A/S, Mobile Miner, Denmark) โดยควบคุมอุณหภูมิลมเข้า 160°C และอัตราการป้อนน้ำลูกเดือย 1 ลิตรต่อชั่วโมง คำนวณปริมาณผลผลิต (%yield) และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของน้ำลูกเดือยผง คือ ปริมาณความชื้น (ภาคผนวก ก.1), bulk density (ภาคผนวก ก.7), solubility (ภาคผนวก ก.8), dispersibility (ภาคผนวก ก.9) และ wettability (ภาคผนวก ก.10)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.0 และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วย Duncan's New Multiple Range Test เลือกอุณหภูมิที่ให้น้ำลูกเดือยผงที่มี solubility สูงที่สุด เพื่อใช้ในการเตรียมน้ำลูกเดือยต่อไป

3.4 ศึกษาปริมาณสารช่วยทำแห้งที่เหมาะสม

เตรียมน้ำลูกเดือยตามวิธีที่ได้จากข้อ 3.2 บดด้วย Stone Mill 3 รอบ จากนั้นเติมมอลโตเดกซ์ทริน DE10 (WONDER MIN FOOD & CHEMICAL CO., LTD.) ปริมาณ 0 5 10 15 และ 20 %(w/v) ก่อนทำให้น้ำลูกเดือยสุกบางส่วนโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่เลือกได้จากข้อ 3.3 และป้อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย โดยควบคุมอุณหภูมิลมเข้าเป็น 160°C และอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยเป็น 1 ลิตรต่อชั่วโมง คำนวณปริมาณผลผลิต และวัดปริมาณความชื้น, bulk density, solubility, dispersibility และ wettability ของน้ำลูกเดือยผงที่ได้

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.0 และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วย Duncan's New Multiple Range Test เลือกปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินที่ทำให้ได้น้ำลูกเดือยผงที่มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุดและปริมาณความชื้นต่ำที่สุด เพื่อใช้ในการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำลูกเดือยผงต่อไป

3.5 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งน้ำลูกเดือย

เตรียมน้ำลูกเดือยผงตามวิธีและปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.4 ทำแห้งในเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย โดยแปรอุณหภูมิลมเข้า 3 ระดับ คือ 160 180 และ 200°C และอัตราการป้อนน้ำลูกเดือย 3 ระดับ คือ 1 1.5 และ 2 ลิตรต่อชั่วโมง คำนวณปริมาณผลผลิต และวัดความชื้น bulk density solubility wettability และ dispersibility ของน้ำลูกเดือยผงที่ได้

วางแผนการทดลองแบบ Factorial 3^2 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ หาภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งน้ำลูกเดือย โดยใช้ Response Surface Methodology (โปรแกรมสำเร็จรูป STATISTICA version 5.0)

3.6 ศึกษาการทำ Agglomeration เพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำลูกเดือยผง

นำน้ำลูกเดือยผงที่เตรียมจากภาวะการผลิตที่คัดเลือกได้ในข้อ 3.5 มาผ่านการทำ Agglomeration ด้วยการฉีดพ่นละอองน้ำลูกเดือยสด ลงบนน้ำลูกเดือยผงในอัตราส่วนระหว่างน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด 10:1, 15:1 และ 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร คลุกให้น้ำลูกเดือยผงรวมกลุ่มกันเป็นก้อน เกลี่ยบนตะแกรงร่อน และนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 10 นาที วัดปริมาณความชื้น bulk density solubility dispersibility และ wettability ของน้ำลูกเดือยผงที่ได้

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 2 ซ้ำ เพื่อเลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสดที่ทำน้ำลูกเดือยผงที่มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด solubility dispersibility และ wettability ดีที่สุด เพื่อใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผงต่อไป

3.7 พัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผง

นำน้ำลูกเดือยผงที่ผ่านการทำ Agglomeration ตามภาวะที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.6 มาผสมน้ำตาลซูโครสบดละเอียด (น้ำตาลทรายบริสุทธิ์มิตรผล, ประเทศไทย) และเกลือ (ปรุงทิพย์, ประเทศไทย) โดยแปรปริมาณน้ำตาลซูโครสบดละเอียด 3 ระดับ คือ 6 8 และ 10% และเกลือ 3 ระดับ คือ 0.5 0.7 และ 0.9% ของน้ำหนักน้ำลูกเดือยผง

นำน้ำลูกเดือยผงสูตรต่างๆ มาละลายน้ำอุณหภูมิ 50°C โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 ประเมินผลความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวม โดยวิธี Hedonic Test 9 point-scale (ภาคผนวก ง.1) โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 25 คน วางแผนการทดลองแบบ Factorial 3^2 ทดลอง 2 ซ้ำ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test เลือกสูตรที่ได้คะแนนการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสสูงที่สุด เพื่อใช้เป็นสูตรสำหรับทำการศึกษาอายุการเก็บต่อไป

3.8 ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผง

นำเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เตรียมตามสูตรที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.7 บรรจุถุงลามิเนต PE/Al/PE ที่ภาวะสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิห้อง ($28\pm2^{\circ}C$) $35^{\circ}C$ $45^{\circ}C$ และ $55^{\circ}C$ วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

สุ่มตัวอย่างทุกสัปดาห์สำหรับตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง ($28\pm2^{\circ}C$) และ $35^{\circ}C$ และทุก 3 วันสำหรับตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิ $45^{\circ}C$ และ $55^{\circ}C$ เพื่อวิเคราะห์

3.8.1 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w) โดยเครื่อง a_w Analyzer (Aqua lab, Model Series 3 TE, USA)

3.8.2 ปริมาณความชื้น (ภาคผนวก ก.1)

3.8.3 ค่าสี โดย Chroma Meter (Minolta, CR 300 Series, JAPAN)

3.8.4 Solubility (ภาคผนวก ก.8)

3.8.5 ประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผง ใช้การทดสอบแบบ Scoring Test 5 point-scale (ภาคผนวก ง.2) โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 25 คน วางแผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan' s New Multiple Range Test

3.8.6 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) เตรียมระดับความเข้มข้นของน้ำลูกเดือยผง 3 ระดับ คือ 10^{-3}, 10^{-4} และ 10^{-5} จำนวน 2 ซ้ำ แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.0 และคำนวณอายุการเก็บโดยคำนวณหาค่า Q_{10}

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของลูกเดือย

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของลูกเดือย *Coix lacryma-jobi* Linn. (ตารางที่ 4.1) พบว่า ลูกเดือยมีปริมาณความชื้น 9.26% โปรตีน 12.93% ไขมัน 9.15% คาร์โบไฮเดรต 62.99% เส้นใย 0.41% และเถ้า 5.27% ซึ่งมีปริมาณไขมัน เส้นใย และเถ้าสูงกว่า โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่ารายงานของศิริพร จันทนา (2529) และ ทัศนีย์ พรกิจประสาน (2530) ความแตกต่างนี้อาจเกิดจากแตกต่างกันขึ้นกับสภาพแวดล้อมของสถานที่เพาะปลูก และการดูแลรักษา

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของลูกเดือย

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)
ความชื้น	9.26±0.06
โปรตีน	12.93±0.17
ไขมัน	9.15±0.03
คาร์โบไฮเดรต	62.99±0.25
เส้นใย	0.41±0.02
เถ้า	5.27±0.02

4.2 การศึกษาระยะเวลาและอุณหภูมิในการแช่ลูกเดือย

การแช่ลูกเดือยในน้ำเป็นการทำให้ลูกเดือยนิ่มและง่ายต่อการนำไปบดทำน้ำลูกเดือยต่อไป ส่วนอุณหภูมิในการแช่ลูกเดือยที่สูงขึ้นอาจช่วยลดระยะเวลาในการแช่ลูกเดือย ซึ่งมีผลทางอ้อมในการลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และลดการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร เช่น วิตามิน โปรตีน ที่ละลายได้ในน้ำ จากการทดลองแช่ลูกเดือยในน้ำที่อุณหภูมิห้อง (27±1°C) เป็นเวลา 1–6 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.2) พบว่า ลูกเดือยมีปริมาณความชื้นสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้น และเมื่อแช่ลูกเดือยเป็นเวลา 2 ชั่วโมง การเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นของลูกเดือยจะลดลง จนกระทั่งปริมาณความชื้นเริ่มคงที่ แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกลูกเดือยซึ่งมีปริมาณความชื้น

ภายในต่ำจะสามารถดูดซับน้ำเข้าไปได้ดี และเมื่อความชื้นภายในลูกเดือยสูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำจะเริ่มลดลงจนในที่สุดจะไม่สามารถดูดซับน้ำได้อีก ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Pan และ Tangratanavalee (2003) ที่พบว่า อัตราการดูดซับน้ำของถั่วเหลืองจะสูงในช่วง 30 นาทีแรก หลังจากนั้นจะลดลง และอัตราการดูดซับน้ำของถั่วเหลืองจะลดลงหลังจากแช่ถั่วเหลืองเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ Muramatsu และคณะ (2006) ที่พบว่า ในช่วงแรกของการแช่ข้าว ปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และอัตราการเพิ่มขึ้นของความชื้นจะค่อยๆ ลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเริ่มอิ่มตัว และเมื่อวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำที่ใช้แช่ลูกเดือย พบว่า ในช่วงแรกของการแช่ลูกเดือยจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งเข้าสู่ชั่วโมงที่ 3 อัตราการละลายของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งคงที่ โดยของแข็งที่ละลายในน้ำที่ใช้แช่ลูกเดือยส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต (Pan and Tangratanavalee, 2003)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณความชื้นของลูกเดือยและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำแช่ที่อุณหภูมิห้อง ($27\pm1^{\circ}C$)

ระยะเวลาแช่ลูกเดือย (ชม.)	ความชื้น (%db)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$Brix)
0	$46.38^{c}\pm1.76$	$0.00^{d}\pm0.00$
1	$66.86^{b}\pm0.76$	$0.35^{c}\pm0.71$
2	$71.29^{a}\pm0.90$	$0.75^{b}\pm0.71$
3	$71.62^{a}\pm0.80$	$0.80^{ab}\pm0.00$
4	$72.16^{a}\pm0.17$	$0.85^{ab}\pm0.71$
5	$72.39^{a}\pm0.97$	$0.95^{a}\pm0.71$
6	$72.54^{a}\pm0.60$	$0.95^{a}\pm0.71$

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เช่นเดียวกับการแช่ลูกเดือยในน้ำอุณหภูมิ $40\pm1^{\circ}C$ เป็นเวลา 15–120 นาที ซึ่งพบว่าปริมาณความชื้นของลูกเดือยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก และอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นจะลดลงจนเริ่มคงที่ (ตารางที่ 4.3) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของลูกเดือยแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 และ 2 ชั่วโมง กับปริมาณความชื้นของลูกเดือยแช่น้ำที่อุณหภูมิ

40±1°C เป็นเวลา 60 และ 120 นาทีตามลำดับ พบว่า ปริมาณความชื้นของลูกเดือยไม่มีความแตกต่างกัน ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดได้ในน้ำที่ใช้แช่ลูกเดือยที่อุณหภูมิห้องต่ำกว่าตัวอย่างที่แช่ที่อุณหภูมิ 40±1°C ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Pan และ Tangratanavalee (2003) ที่พบว่า น้ำที่แช่ถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 40°C มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ละลายออกมาสูงกว่าน้ำที่แช่ถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 10 20 และ 30°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ผนังเซลล์อ่อนตัว ส่งผลให้น้ำสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในถั่วเหลืองมากขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้จึงสามารถละลายออกมากับน้ำที่ใช้แช่ได้มากขึ้น ซึ่งการที่ของแข็งที่ละลายได้ละลายออกมาในระหว่างการแช่มากขึ้น อาจมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตสุดท้ายลดลง และอาจมีผลกระทบต่อคุณค่าทางอาหารของลูกเดือย เช่น เกิดการสูญเสียวิตามินหรือโปรตีนที่ละลายน้ำได้ นอกจากนี้การแช่ลูกเดือยในน้ำอุณหภูมิ 40±1°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิด อาจมีผลให้จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ (Pan and Tangratanavalee, 2003) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกแช่ลูกเดือยในน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 ปริมาณความชื้นของลูกเดือยและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำแช่ที่อุณหภูมิ 40±1°C

ระยะเวลาแช่ลูกเดือย (นาที)	ความชื้น (%db)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)
0	44.83^{e}±2.93	0.00^{e}±0.00
15	55.89^{d}± 1.61	0.25^{d}±0.81
30	60.62^{cd}±2.82	0.30^{cd}±0.00
45	63.27^{bc}±1.91	0.35^{cd}±0.21
60	66.79^{abc}±2.21	0.45^{cd}±0.21
75	67.84^{ab}±2.98	0.65^{bc}±0.21
90	69.83^{ab}±3.03	0.70^{ab}±0.14
105	70.23^{a}±2.98	0.85^{a}±0.07
120	70.88^{a}±3.61	0.90^{a}±0.14

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3 การทำให้น้ำลูกเดือยสุกบางส่วนก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย

จากการทำให้น้ำลูกเดือยสุกบางส่วนก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย (ตารางที่ 4.4) พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนต่อน้ำลูกเดือยเพิ่มขึ้น น้ำลูกเดือยจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 75$\pm$1°C น้ำลูกเดือยจะมีความหนืดสูงมากจนไม่สามารถป้อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจายได้ เนื่องจากอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ของลูกเดือยอยู่ในช่วง 64-73°C (ทัศนีย์ พรกิจประสาน, 2530) การให้ความร้อนต่อน้ำลูกเดือยที่อุณหภูมิ 75$\pm$1°C จึงทำให้เม็ดแป้งในน้ำลูกเดือยเกิดการเจลาติไนซ์อย่างสมบูรณ์ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณ 17-22°Brix มีลักษณะเป็นเจล จับตัวกันเป็นก้อน และมีความหนืดสูงมากจนไม่สามารถป้อนเข้าเครื่องทำแห้งได้ เช่นเดียวกับรายงานของ พิมพรรณ รัตนพฤกษานนท์ (2526) ที่พบว่านมถั่วเหลืองที่ระเหยน้ำออกภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 65°C จนมีปริมาณของแข็งรวมทั้งหมดเป็นร้อยละ 25 ความหนืดของนมถั่วเหลืองจะสูงขึ้น มีลักษณะเป็นเจลจนไม่สามารถป้อนเข้าสู่เครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจายได้ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตของน้ำลูกเดือยผงที่ได้ พบว่าการให้ความร้อนต่อน้ำลูกเดือยเพิ่มขึ้นจาก 65$\pm$1°C เป็น 70$\pm$1°C น้ำลูกเดือยผงที่ได้มีปริมาณผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เนื่องจากมีน้ำลูกเดือยบางส่วนติดที่ผนังของเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจายในระหว่างการทำแห้ง สำหรับสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนค่า dispersibility ลดลง โดยเมื่อนำน้ำลูกเดือยผงมาละลายน้ำ จะเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้การกระจายตัวของน้ำลูกเดือยลดลง ค่า bulk density เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากปริมาณของแข็งทั้งหมดและความหนืดของของเหลวที่เพิ่มขึ้น เมื่อป้อนเข้าสู่เครื่องทำแห้งจะทำให้ละอองฝอยมีขนาดใหญ่ขึ้น ขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจมีความชื้นเหลืออยู่ภายในอนุภาค ทำให้อนุภาคผงที่ได้จึงมีน้ำหนักมากขึ้น ส่งผลให้ค่า bulk density เพิ่มขึ้น ส่วน solubility และเวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการให้ความร้อนต่อน้ำลูกเดือยที่อุณหภูมิ 65$\pm$1°C เป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนซ์ของลูกเดือย เม็ดแป้งในน้ำลูกเดือยอาจเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ยืดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของน้ำลูกเดือยจึงยังไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัดเจน (กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ทำให้น้ำลูกเดือยผงที่ได้มีลักษณะไม่คงตัวและตกตะกอนอย่างรวดเร็ว การให้ความร้อนต่อน้ำลูกเดือยที่อุณหภูมิ 70$\pm$1°C จะให้น้ำลูกเดือยผงที่มี solubility สูงที่สุด เนื่องจากเม็ดแป้งในน้ำลูกเดือยเกิดการเจลาติไนซ์ได้บางส่วน ร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดแป้งอ่อนแอลง ความร้อนจึงสามารถทำลายพันธะไฮโดรเจนได้ง่ายขึ้น ทำให้กระจายตัวและแขวนลอยอยู่ในน้ำลูกเดือยได้มากขึ้น เช่นเดียวกับรายงานของ Jha, Patel และ Singh (2002)

ที่พบว่า การให้ความร้อนแก่เมล็ดข้าวเพื่อให้เกิดการสุกบางส่วนก่อนนำไปผสมเป็น Kheer mix ทำให้ข้าวเกิดการกระจายตัวและแขวนลอยอยู่ใน Kheer mix ได้ดีขึ้น ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกภาวะในการทำให้น้ำลูกเดือยสุกบางส่วนที่อุณหภูมิ 70±1°C ก่อนป้อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย

ตารางที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิในการทำให้น้ำลูกเดือยสุกบางส่วนต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำลูกเดือยผง

สมบัติ	65±1°C	70±1°C	75±1°C *
ความหนืดของน้ำลูกเดือย (cP)	58.99^{c}±0.69	1506.00^{b}±51.86	3117.34^{a}±241.36
ปริมาณผลผลิต (%)	48.77^{a}±1.94	39.04^{b}±0.98	-
ความชื้น (%)^{ns}	3.09±0.16	3.00±0.98	-
Bulk density (g/ml)	0.50^{b}±0.01	0.59^{a}±0.04	-
Solubility (%)	41.00^{b}±1.05	52.53^{a}±0.24	-
Wettability (min)	14.3^{b}±0.27	23.3^{a}±0.42	-
Dispersibility (%)	76.68^{a}±0.86	60.25^{b}±0.71	-

a, b, c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ไม่มีผลการทดลอง เพราะน้ำลูกเดือยมีลักษณะเป็นเจลจับตัวกันเป็นก้อน จนไม่สามารถป้อนเข้าสู่เครื่องทำแห้งได้

4.4 การศึกษาผลของปริมาณสารช่วยทำแห้งต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำลูกเดือยผง

จากการเติมมอลโตเดกซ์ทรินในน้ำลูกเดือย (ตารางที่ 4.5) พบว่า เมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น ปริมาณผลผลิตของน้ำลูกเดือยผงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นจาก 5%(w/v) เป็น 10%(w/v) ปริมาณผลผลิตของน้ำลูกเดือยผงที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ ข.1) และการใช้มอลโตเดกซ์ทริน 15%(w/v) จะได้ปริมาณผลผลิตของน้ำลูกเดือยผงสูงที่สุด คือ 61.15% ซึ่งการเติมมอลโตเดกซ์ทรินลงในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำแห้ง จะส่งผลให้มีปริมาณของแข็งโดยรวมเพิ่มขึ้น เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารที่ช่วยเพิ่มเนื้อให้แก่ผลิตภัณฑ์ ปริมาณผลผลิตจึงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.5 ผลของปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำลูกเดือยผง

สมบัติทางกายภาพ	ปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน (%w/v)				
	0	5	10	15	20
ปริมาณผลผลิต (%)	$40.84^{d}\pm1.26$	$44.34^{c}\pm1.35$	$44.49^{c}\pm1.77$	$61.15^{a}\pm1.24$	$56.72^{b}\pm1.16$
ความชื้น (%)	$3.16^{a}\pm0.35$	$3.14^{a}\pm0.25$	$2.32^{b}\pm0.35$	$2.21^{b}\pm0.10$	$2.24^{b}\pm0.35$
Bulk density (g/ml)	$0.59^{d}\pm0.01$	$0.58^{d}\pm0.01$	$0.61^{c}\pm0.01$	$0.63^{b}\pm0.01$	$0.66^{a}\pm0.01$
Solubility (%)	$49.29^{d}\pm0.12$	$51.95^{d}\pm0.34$	$54.68^{c}\pm0.40$	$56.12^{b}\pm0.74$	$60.53^{a}\pm0.28$
Wettability (min)	$25.9^{a}\pm0.55$	$23.5^{b}\pm0.59$	$18.6^{c}\pm1.28$	$5.5^{d}\pm0.21$	$5.6^{d}\pm0.22$
Dispersibility (%)	$64.60^{e}\pm2.83$	$76.39^{d}\pm0.40$	$80.10^{c}\pm0.21$	$83.62^{b}\pm0.59$	$87.97^{a}\pm1.07$

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อปริมาณความชื้นของน้ำลูกเดือยผง พบว่า เมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นของน้ำลูกเดือยผงมีแนวโน้มลดลง โดยการใช้มอลโตเดกซ์ทริน 5%(w/v) น้ำลูกเดือยผงที่ได้มีความชื้นไม่แตกต่างจากน้ำลูกเดือยผงที่ไม่เติมมอลโตเดกซ์ทรินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่การเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินจาก 5%(w/v) เป็น 10%(w/v) และ 15%(w/v) ปริมาณความชื้นของน้ำลูกเดือยผงจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และเมื่อใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน 15%(w/v) น้ำลูกเดือยผงที่ได้จะมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด คือ 2.21% โดยความชื้นของน้ำลูกเดือยผงที่ได้เมื่อใช้มอลโตเดกซ์ทริน 10-20%(w/v) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเติมมอลโตเดกซ์ทรินลงในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำแห้ง อาจเกิดการปรับด้าน hydrophilic และ hydrophobic ให้สมดุลกัน ช่วยให้เกิดการดูดซับน้ำได้ลดลง (Gabas *et al*., 2007) มอลโตเดกซ์ทรินจะช่วยลดสมบัติในการดูดความชื้นเข้าหาตัว ทำให้น้ำลูกเดือยผงที่ได้มีปริมาณความชื้นลดลง ซึ่งสมบัติด้านการดูดความชื้นของมอลโตเดกซ์ทรินจะขึ้นกับค่า Dextrose Equivalent (DE) โดยมอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำจะมีความสามารถในการดูดความชื้นได้น้อย ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้มอลโตเดกซ์ทรินที่มี DE ไม่เกิน 20 ในปริมาณ 5-15%(w/v) (Abadio *et al*., 2004) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ นราวัลลภ์ เปล่งจินดาเรือง และคณะ (2543) ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน มีผลทำให้นมข้าวโพดผงที่ได้มีปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น และปริมาณความชื้นลดลง

เมื่อพิจารณาค่า bulk density ของน้ำลูกเดือยผงที่ได้ พบว่า เมื่อใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น ค่า bulk density ของน้ำลูกเดือยผงที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารเพิ่มเนื้อให้แก่ผลิตภัณฑ์ ทำให้อนุภาคของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า bulk density เพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับ ผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผง (Bhandari *et al*., 1993) ผลิตภัณฑ์น้ำแพชชั่นฟรุตผง และน้ำสับปะรดผง (Borges *et al*., 2002) ที่พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ทริน จะทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

ส่วนค่า solubility และ dispersibility ของน้ำลูกเดือยผงจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์อาหารผง โดยเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น จะทำให้การทำแห้งเกิดได้ดีขึ้น ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีปริมาณความชื้นต่ำ อนุภาคของผลิตภัณฑ์ผงสามารถดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็ว จึงสามารถละลายและกระจายตัวได้ดีขึ้น (Sara and Gary, 1988) นราวัลลภ์ เปล่งจินดาเรือง และคณะ (2543) พบว่าการใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น จะทำให้นมข้าวโพดผงที่ได้มีความสามารถในการละลายดีขึ้น ส่วน Abadio และคณะ (2004) พบว่า การใช้มอลโตเดกซ์ทริน 10%(w/v) ร่วมกับความเร็วของ Atomizer ต่ำ จะช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำสับปะรดผงได้ ส่วน Chopda และ Barrett (2005) พบว่า การใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน 20% จะช่วยปรับปรุงความสามารถในการละลายของน้ำฝรั่งได้ดีขึ้น เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมด (wettability) พบว่า การใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น น้ำลูกเดือยผงที่ได้จะใช้เวลาในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดลดลง ซึ่งเป็นผลจากปริมาณความชื้นของน้ำลูกเดือยผงต่ำ ทำให้สามารถดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดลดลง ซึ่งในการทดลองนี้ได้เลือกใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน 15%(w/v) เนื่องจากให้น้ำลูกเดือยผงที่มีความชื้นต่ำที่สุด และปริมาณผลผลิตสูงที่สุด สำหรับใช้ในการทดลองต่อไป

4.5 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งน้ำลูกเดือย

จากการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต, ความชื้น, bulk density, solubility, dispersibility และ wettability ของน้ำลูกเดือยผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนต่างๆ (ตารางที่ 4.6) พบว่า ปริมาณผลผลิตของน้ำลูกเดือยผงอยู่ในช่วง 49.65-59.08% ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 1.65-2.63% bulk density อยู่ในช่วง 0.61-0.66 กรัมต่อมิลลิลิตร ส่วน solubility ของน้ำลูกเดือยผงอยู่ในช่วง 59.43-72.11% dispersibility อยู่ในช่วง 74.4-83.07% และ ค่า wettability อยู่ในช่วง 2.4-24.2 นาที เมื่ออุณหภูมิลมเข้าเพิ่มขึ้น ปริมาณผลผลิตจะเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณความชื้น, bulk density, solubility, dispersibility และเวลาที่ใช้ใน

การทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิลมเข้าเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ได้เร็วและมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีความโปร่งมากขึ้นและอนุภาคมีน้ำหนักน้อย (Masters, 1991) เมื่อนำไปละลายน้ำจึงเกิดการจับตัวเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ ทำให้ความสามารถในการละลายและการกระจายตัวลดลง (Nath and Satpathy, 1998) ส่วนเวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดลดลง อาจเกิดจากอนุภาคของน้ำลูกเดือยผงมีปริมาณความชื้นต่ำ เมื่อนำไปละลายน้ำ จึงเกิดการดูดซับน้ำเข้าสู่อนุภาคของน้ำลูกเดือยผงได้ดี ทำให้ใช้เวลาในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดลดลง สอดคล้องกับภาวะในการผลิตนมถั่วเหลืองผง (พิมพรรณ รัตนพฤกษานนท์, 2526; สุพจน์ พินิตเกียรติสกุล, 2537) นมถั่วเหลืองผงเสริมแคลเซียม (ก้อง ไพฑูรย์เศกสิทธิ์, พรชัย กิตติภูมิวงศ์ และ พายศ อภิญญานุวัฒน์, 2542) และผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดผง (นราวัลลภ์ เปล่งจินดาเรือง และคณะ, 2543) คือ เมื่ออุณหภูมิลมเข้าเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีปริมาณความชื้น, bulk density และความสามารถในการละลายลดลง ส่วน Goula, Konstantino และ Adamopoulos (2005) พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมเข้าสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศผงที่ได้มีปริมาณความชื้นและ bulk density ลดลง แต่มีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.6 ผลของอุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำลูกเดือยผง

อุณหภูมิลมเข้า (^{o}C)	อัตราการป้อน (l/h)	ปริมาณผลผลิต (%)	ความชื้น (%)	Bulk density (g/ml)	Solubility (%)	Wettability (min)	Dispersibility (%)
160	1.0	$55.46^{abc}\pm0.68$	$1.94^{e}\pm0.01$	$0.66^{a}\pm0.01$	$72.11^{a}\pm1.14$	$24.2^{a}\pm0.78$	$83.07^{a}\pm1.04$
160	1.5	$53.39^{c}\pm3.06$	$2.33^{c}\pm0.02$	$0.64^{bc}\pm0.00$	$67.33^{b}\pm0.53$	$17.8^{b}\pm0.23$	$82.27^{a}\pm1.03$
160	2.0	$49.65^{d}\pm0.99$	$2.63^{a}\pm0.01$	$0.64^{bc}\pm0.01$	$67.47^{b}\pm0.13$	$5.4^{d}\pm0.01$	$80.63^{b}\pm0.01$
180	1.0	$56.50^{abc}\pm0.36$	$1.82^{f}\pm0.02$	$0.65^{ab}\pm0.01$	$63.03^{c}\pm0.51$	$6.3^{c}\pm0.04$	$75.21^{cd}\pm0.56$
180	1.5	$58.01^{ab}\pm2.67$	$2.32^{c}\pm0.01$	$0.63^{cd}\pm0.00$	$60.78^{d}\pm0.15$	$2.4^{f}\pm0.06$	$75.83^{cd}\pm0.06$
180	2.0	$52.67^{cd}\pm0.84$	$2.60^{a}\pm0.03$	$0.62^{ef}\pm0.01$	$59.52^{d}\pm0.53$	$2.7^{f}\pm0.06$	$75.33^{cd}\pm0.40$
200	1.0	$59.08^{a}\pm1.07$	$1.65^{g}\pm0.04$	$0.63^{cd}\pm0.00$	$60.52^{d}\pm1.36$	$5.9^{cd}\pm0.08$	$76.61^{c}\pm0.76$
200	1.5	$56.74^{abc}\pm3.20$	$2.10^{d}\pm0.01$	$0.62^{ef}\pm0.00$	$60.15^{d}\pm1.07$	$5.7^{cd}\pm0.01$	$76.44^{c}\pm0.78$
200	2.0	$57.55^{ab}\pm2.16$	$2.41^{b}\pm0.01$	$0.61^{f}\pm0.01$	$59.43^{d}\pm0.51$	$4.5^{e}\pm0.24$	$74.48^{d}\pm0.37$

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เมื่ออัตราการป้อนน้ำลูกเดือยเข้าเครื่องทำแห้งเพิ่มขึ้น น้ำลูกเดือยผงที่ได้มีปริมาณผลผลิต, bulk density, solubility, dispersibility และเวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดลดลง ส่วนปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากน้ำลูกเดือยจะสัมผัสกับความร้อนได้น้อยลง ทำให้น้ำลูกเดือยผงที่ได้ยังมีความชื้นเหลืออยู่มากและเกิดการติดที่ผนังของเครื่องทำแห้ง ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตลดลง และความชื้นของน้ำลูกเดือยผงสูงขึ้น เมื่อนำไปละลายจะเกิดการจับตัวเป็นก้อน ทำให้ละลายได้ยาก ส่วน bulk density มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากขนาดอนุภาคผงที่ใหญ่ขึ้น ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคของน้ำลูกเดือยผงมากขึ้น ความหนาแน่นจึงลดลง และขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น ทำให้น้ำหนักอนุภาคมากขึ้น ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคผงเปียกทั้งหมดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ สรรชัย เทียมทวีสิน (2530) ซึ่งพบว่า เมื่ออัตราการป้อนน้ำนมเพิ่มขึ้น นมผงที่ได้จะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการละลายจะลดลง

เมื่อพิจารณาผลร่วมของอุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือย จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ (ตารางที่ ข.2-ข.7) พบว่า อุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยไม่มีผลร่วมต่อปริมาณผลผลิต, bulk density และ dispersibility ของน้ำลูกเดือยผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่ออุณหภูมิลมเข้าเพิ่มขึ้นและอัตราการป้อนลดลง น้ำลูกเดือยผงมีปริมาณความชื้นลดลง และเมื่ออุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนลดลง น้ำลูกเดือยผงมี solubility เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ สรรชัย เทียมทวีสิน (2530) ที่พบว่า เมื่ออุณหภูมิลมเข้าเพิ่มขึ้นและอัตราการป้อนน้ำนมลดลง นมผงที่ได้จะมีปริมาณความชื้นลดลง เมื่ออุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำนมลดลง นมผงที่ได้จะมีค่าการละลายดีขึ้น เช่นเดียวกับรายงานของ Goula และคณะ (2005) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมเข้าและลดอัตราการป้อนน้ำมะเขือเทศเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย น้ำมะเขือเทศผงที่ได้จะมีปริมาณความชื้นลดลง เมื่ออุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำมะเขือเทศลดลง จะได้น้ำมะเขือเทศผงที่มีความสามารถในการละลายดีขึ้น แต่พบว่าอุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อน น้ำลูกเดือยไม่มีผลร่วมต่อปริมาณผลผลิต, bulk density และ dispersibility ของน้ำลูกเดือยผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงหาภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง โดยวิธี Response Surface Methodology จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น solubility และ wettability กับอุณหภูมิลมเข้า (x_1) และอัตราการป้อนน้ำลูกเดือย (x_2) (สมการที่ 1-3) (ตารางที่ ข.19-ข.21) ซึ่งได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1-4.3

ความชื้น(%) $= 2.32 - 0.113X_1 + 0.393X_2 + 0.01875X_1X_2 - 0.108X_1^2 - 0.113X_2^2$
$- 0.02875X_1^2X_2 - 0.01375X_1X_2^2 + 0.05375X_12X_2^2$.....(1)
(R^2=0.996)

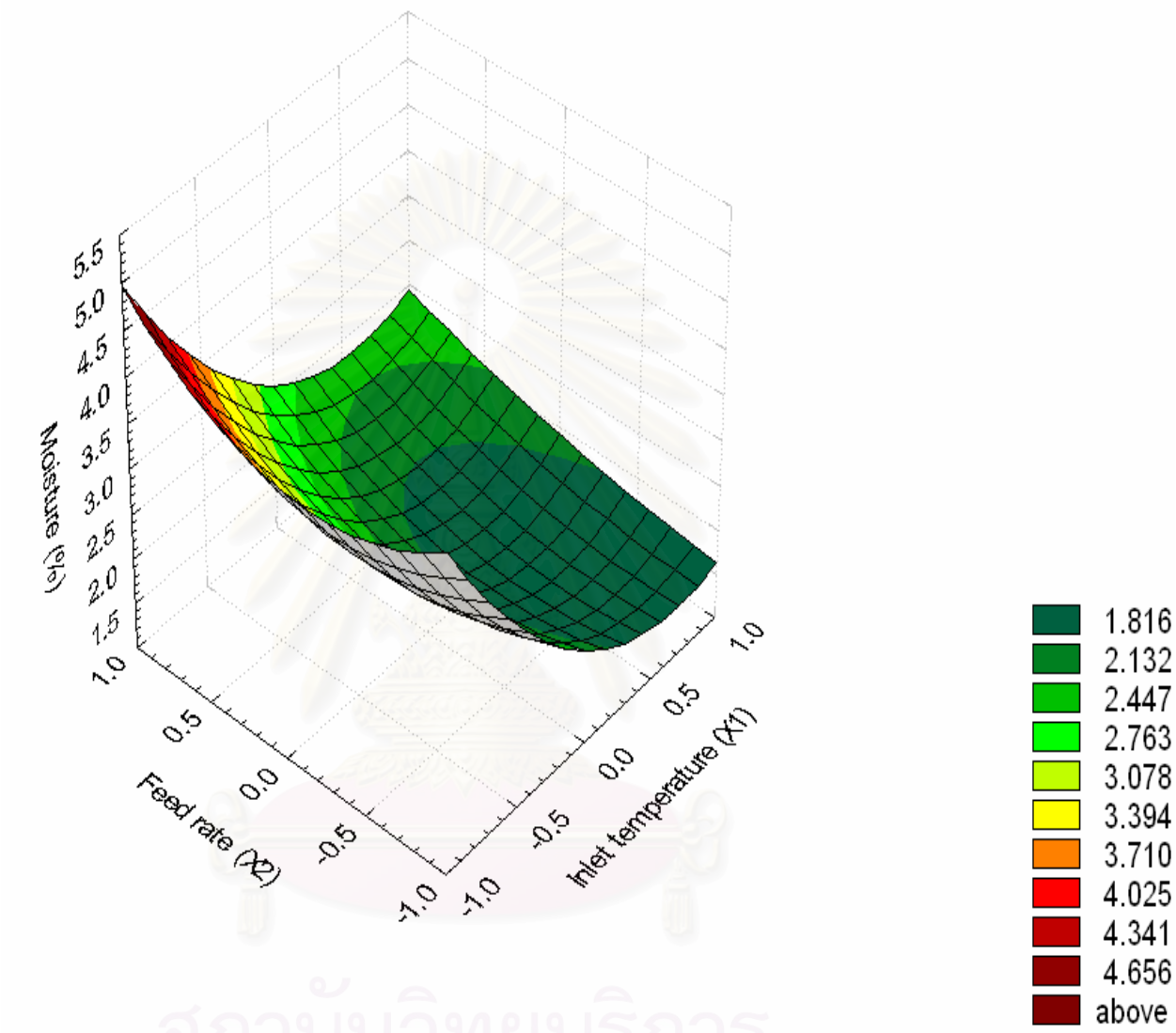
Solubility (%) $= 60.775 - 3.59X_1 - 1.758X_2 + 0.887X_1X_2 + 2.96X_1^2 + 0.498X_2^2$
$+ 0.325X_1^2X_2 - 1.315X_1X_2^2 + 0.647X_1^2X_2^2$.....(2)
(R^2=0.969)

Wettability (min) $= 2.38 - 6.06X_1 - 1.83X_2 + 4.375X_1X_2 + 9.375X_1^2 + 2.12X_2^2$
$- 3.227X_1^2X_2 + 1.25X_1X_2^2 - 3.883X_1^2X_2^2$.....(3)
(R^2=0.998)

โดยให้ $X_1 = (x_1 - 180)/20$
$X_2 = (x_2 - 1.5)/0.5$

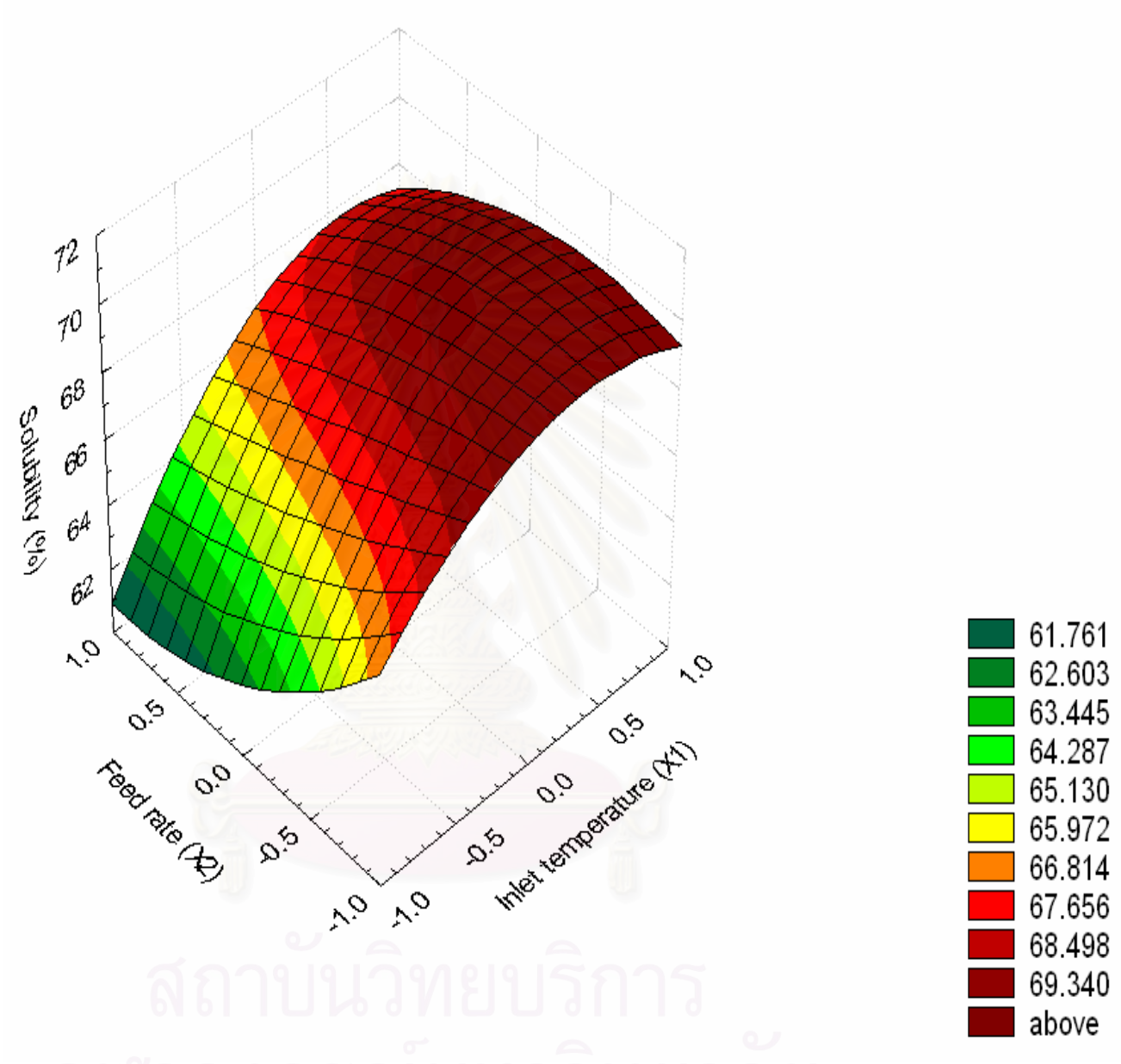
เมื่อ x_1 คือ อุณหภูมิลมเข้า ($^{\circ}C$)
x_2 คือ อัตราการป้อนน้ำลูกเดือย (ลิตรต่อชั่วโมง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



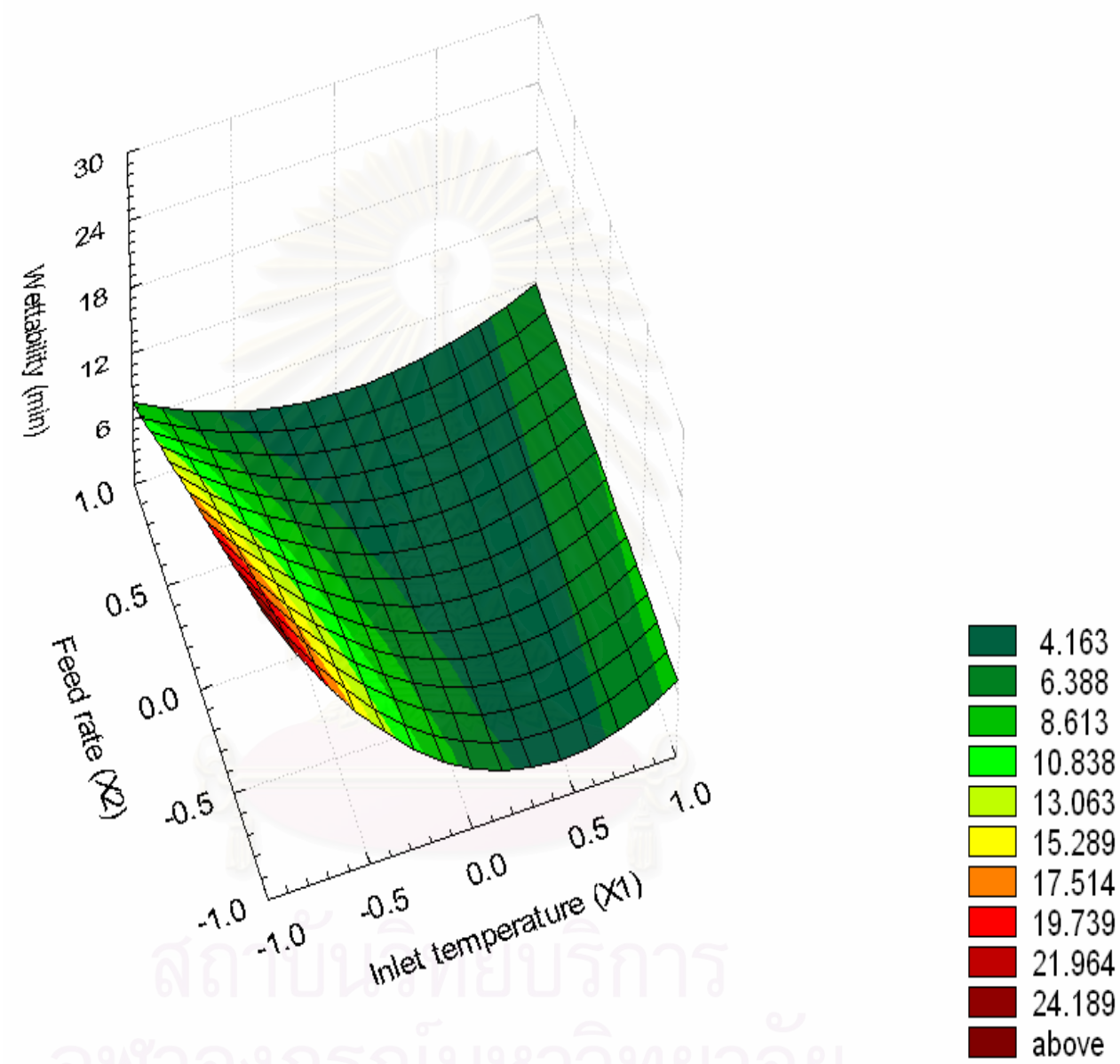
รูปที่ 4.1 Response Surface Plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับอุณหภูมิลมเข้า และอัตราการป้อนน้ำลูกเดือย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 Response Surface Plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง solubility กับอุณหภูมิลมเข้า และอัตราการป้อนน้ำลูกเดือย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 Response Surface Plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง wettability กับอุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากสมการที่ 1 ถึง 3 พบว่า ทั้งสามสมการมีค่า R^2 อยู่ในระดับสูงใกล้เคียงกัน แสดงว่าสมการความชื้น solubility และ wettability มีความน่าเชื่อถือได้สูง และจากการคำนวณ (ภาคผนวก ค.) จะได้ว่า ภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งน้ำลูกเดือย คือ อุณหภูมิลมเข้าอยู่ในช่วง 185.5 ถึง 191.2°C และอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยอยู่ในช่วง 1.63 ถึง 1.71 ลิตรต่อชั่วโมง (ตารางที่ 4.7) ซึ่งเมื่อพิจารณาภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากสมการความชื้นและ solubility จะได้อุณหภูมิลมเข้า และอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยที่เหมาะสมใกล้เคียงกัน แต่ต่างจากสมการ wettability ดังนั้นจึงเลือกใช้ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำลูกเดือยผง เป็นอุณหภูมิลมเข้า เท่ากับ 190°C และอัตราการป้อน เท่ากับ 1.6±0.1 ลิตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 4.7 ภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งน้ำลูกเดือย

สมการ	อุณหภูมิลมเข้า (°C)	อัตราการป้อนน้ำลูกเดือย (ลิตรต่อชั่วโมง)
ความชื้น	189.8	1.63
Solubility	191.2	1.63
Wettability	185.5	1.71

4.6 การทำ Agglomeration เพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำลูกเดือยผง

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น, bulk density, solubility, wettability และ dispersibility ของน้ำลูกเดือยผงที่ผ่านการทำ Agglomeration (ตารางที่ 4.8 และ ตารางที่ ข.8) พบว่า การทำ Agglomeration ทำให้ปริมาณความชื้นของน้ำลูกเดือยผงเพิ่มขึ้น โดยปริมาณความชื้นสูงสุดของ น้ำลูกเดือยผงได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด เท่ากับ 10:1 กรัมต่อมิลลิลิตร คือ 3.59% และมีค่ามากกว่าน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสดเท่ากับ 15:1 และ 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด 10:1 กรัมต่อมิลลิลิตร ใช้น้ำลูกเดือยสดในการทำ Agglomeration มากกว่าน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนอื่น ทำให้อนุภาคของน้ำลูกเดือยผงถูกห่อหุ้มด้วยน้ำลูกเดือยสดบริเวณผิวของอนุภาคมากและเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของผลิตภัณฑ์ผง ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคลดลง จึงเกิดการรวมกลุ่มของผลิตภัณฑ์ผงมากขึ้น ขนาดของอนุภาคที่ได้จะมีขนาดใหญ่ ทำให้สามารถกักเก็บของเหลวระหว่างอนุภาคของผลิตภัณฑ์ผงได้มากขึ้น (Capes, 1987) อย่างไรก็ตาม

ปริมาณความชื้นของน้ำลูกเดือยผงที่ได้มีค่าต่ำกว่า 5% ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ผง (Singh, 1993) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ศุกฤตย์ ไทยอุดม (2538) และ นราวัลลภ์ เปล่งจินดาเรือง และคณะ (2543) ที่พบว่า น้ำบัวบกผง และนมข้าวโพดผงที่ผ่านกระบวนการรวมกลุ่มจะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น และมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น แต่เมื่อพิจารณาค่า bulk density ของน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสดทั้ง 3 ระดับ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.8 สมบัติทางกายภาพของน้ำลูกเดือยผงที่ผ่านการทำ Agglomeration

สมบัติทางกายภาพ	**น้ำลูกเดือยผงที่ไม่ผ่านการทำ** Agglomeration	**อัตราส่วนน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด (กรัมต่อมิลลิลิตร)**		
		10:1	15:1	20:1
ความชื้น (%)	$1.98^{d}\pm0.08$	$3.59^{a}\pm0.09$	$3.06^{b}\pm0.15$	$2.36^{c}\pm0.03$
Bulk density (g/ml)^{ns}	0.63 ± 0.01	0.61 ± 0.00	0.62 ± 0.01	0.63 ± 0.01
Solubility (%)	$69.30^{ab}\pm2.00$	$65.21^{b}\pm3.05$	$69.98^{ab}\pm1.23$	$71.27^{a}\pm0.23$
Wettability (min)	$7.89^{a}\pm0.04$	$7.30^{b}\pm0.01$	$7.28^{b}\pm0.01$	$5.73^{c}\pm0.35$
Dispersibility (%)	$78.16^{b}\pm0.50$	$79.06^{b}\pm0.46$	$79.11^{b}\pm0.37$	$82.57^{a}\pm0.92$

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า solubility ของน้ำลูกเดือยผงที่ได้ พบว่า น้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่า solubility สูงที่สุด และใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ได้จากอัตราส่วน 15:1 กรัมต่อมิลลิลิตร และตัวอย่างที่ไม่ผ่านการทำ Agglomeration โดย solubility ของน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด 10:1 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าต่ำที่สุด อาจเนื่องจากน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วน 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า ทำให้มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับน้ำของอนุภาคน้ำลูกเดือยผงมากกว่า จึงมีความสามารถในการละลายดีกว่าน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วน 10:1 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของศุกฤตย์ ไทยอุดม (2538) ที่พบว่าน้ำบัวบกผงสำเร็จรูปที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำบัวบกผงต่อน้ำบัวบกสดเป็น 25:1 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความสามารถในการละลายดีกว่าน้ำบัวบกผงสำเร็จรูปที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำบัวบกผงต่อน้ำบัวบกสดเป็น 15:1 กรัมต่อมิลลิลิตร และ นราวัลลภ์ เปล่งจินดาเรือง และคณะ (2543) ที่พบว่า

นมข้าวโพดผงชนิดละลายทันทีที่ได้จากอัตราส่วนของนมข้าวโพดผงต่อน้ำนมข้าวโพด 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร มีสมบัติการละลายดีกว่านมข้าวโพดผงชนิดละลายทันทีที่ได้จากอัตราส่วนของนมข้าวโพดผงต่อน้ำนมข้าวโพด 10:1 กรัมต่อมิลลิลิตร ส่วน Omobuwajo, Busari และ Osemwegie (2000) พบว่าการทำ Agglomeration ของเครื่องดื่มช็อกโกแลตผงจะช่วยปรับปรุงความสามารถในการละลาย โดยทำให้สามารถละลายน้ำกลับได้ง่าย และช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านประสาทสัมผัสด้วย

เมื่อพิจารณาค่า wettability ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมด พบว่าน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด เท่ากับ 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร จะใช้เวลาในการทำให้อนุภาคของน้ำลูกเดือยผงเปียกทั้งหมดน้อยที่สุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับน้ำลูกเดือยผงอีก 2 ตัวอย่าง และน้ำลูกเดือยผงที่ไม่ผ่านการทำ Agglomeration อาจเนื่องจากพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับน้ำของน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร มีมากกว่าน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนอื่น จึงใช้เวลาในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดน้อยกว่า ส่วนน้ำลูกเดือยผงที่ไม่ผ่านการทำ Agglomeration จะใช้เวลาในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Shittu และ Lawal (2007) ที่พบว่าการทำ Agglomeration จะช่วยลดเวลาในการทำให้อนุภาคโกโก้ผงสำเร็จรูปเปียกทั้งหมด

สำหรับค่า dispersibility ซึ่งแสดงถึงสมบัติในการแพร่กระจายของน้ำลูกเดือยผงในน้ำ พบว่า น้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด เท่ากับ 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่า dispersibiity สูงที่สุด และแตกต่างกับตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งอาจเนื่องจากมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าทำให้มีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับน้ำมากกว่า ทำให้เกิดการแพร่กระจายได้ดี (ศุกฤตย์ ไทยอุดม, 2538) ส่วนน้ำลูกเดือยผงที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด 10:1, 15:1 กรัมต่อมิลลิลิตร และน้ำลูกเดือยผงที่ไม่ผ่านการทำ Agglomeration มีค่า dispersibility ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นภาวะในการทำ Agglomeration ของน้ำลูกเดือยผงที่เลือกใช้เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำลูกเดือยผงต่อไป คือ อัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร เพราะให้น้ำลูกเดือยผงที่ได้มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด, solubility สูงสุด นอกจากนี้ยังมี dispersibility สูงที่สุด และเวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดน้อยที่สุด

4.7 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผง

จากการประเมินความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมของเครื่องดื่มลูกเดือยผง (ตารางที่ 4.9) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ ข.9-ข.10) พบว่า ปริมาณน้ำตาลซูโครส

บดละเอียดและเกลือมีผลร่วมต่อคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเครื่องดื่มลูกเดือยผงสูตรที่เติมน้ำตาลซูโครสบดละเอียด 8% และเกลือ 0.7% ของน้ำหนักเครื่องดื่มลูกเดือยผง ได้รับคะแนนสูงที่สุดทั้งในด้านรสชาติและความชอบโดยรวม คือ 7.08 ± 0.86 และ 7.20 ± 0.87 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าผู้ทดสอบมีความชอบปานกลางในด้านรสชาติและความชอบโดยรวม ส่วนเครื่องดื่มลูกเดือยผงสูตรอื่นๆ ผู้ทดสอบไม่ชอบเล็กน้อยจนถึงเฉยๆ ทั้งในด้านรสชาติและความชอบโดยรวม ซึ่งเห็นได้จากคะแนนความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 4.16 ± 1.57 ถึง 5.80 ± 0.96 และ 4.56 ± 1.58 ถึง 5.92 ± 0.91 ในการทดลองนี้จึงเลือกเครื่องดื่มลูกเดือยผงสูตรที่เติมน้ำตาลซูโครสบดละเอียด 8% และเกลือ 0.7% ของน้ำหนักเครื่องดื่มลูกเดือยผงเป็นสูตรสำหรับทำการศึกษาอายุการเก็บของเครื่องดื่มลูกเดือยผงต่อไป

ตารางที่ 4.9 คะแนนการทดสอบความชอบด้านรสชาติและความชอบโดยรวมของเครื่องดื่มลูกเดือยผง

ปริมาณ		รสชาติ	ความชอบโดยรวม
น้ำตาล (%)	เกลือ (%)		
6	0.5	$4.16^{e} \pm 1.57$	$4.56^{d} \pm 1.58$
6	0.7	$4.40^{de} \pm 1.26$	$4.72^{cd} \pm 1.21$
6	0.9	$4.88^{cd} \pm 1.77$	$5.20^{bcd} \pm 1.44$
8	0.5	$5.52^{bc} \pm 1.08$	$5.68^{b} \pm 1.28$
8	0.7	$7.08^{a} \pm 0.86$	$7.20^{a} \pm 0.87$
8	0.9	$5.68^{b} \pm 1.14$	$5.84^{b} \pm 1.07$
10	0.5	$5.44^{bc} \pm 0.96$	$5.64^{b} \pm 0.99$
10	0.7	$5.80^{b} \pm 0.96$	$5.92^{b} \pm 0.91$
10	0.9	$5.08^{bcd} \pm 1.00$	$5.36^{bc} \pm 1.08$

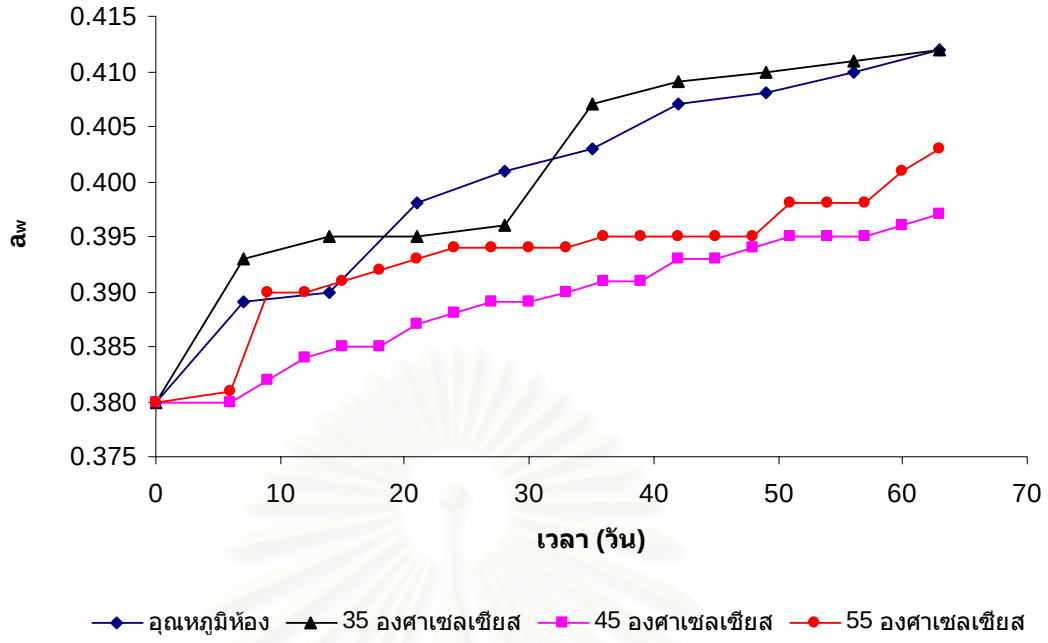
a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

หมายเหตุ: ช่วงคะแนนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสเท่ากับ 1-9 โดย 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด

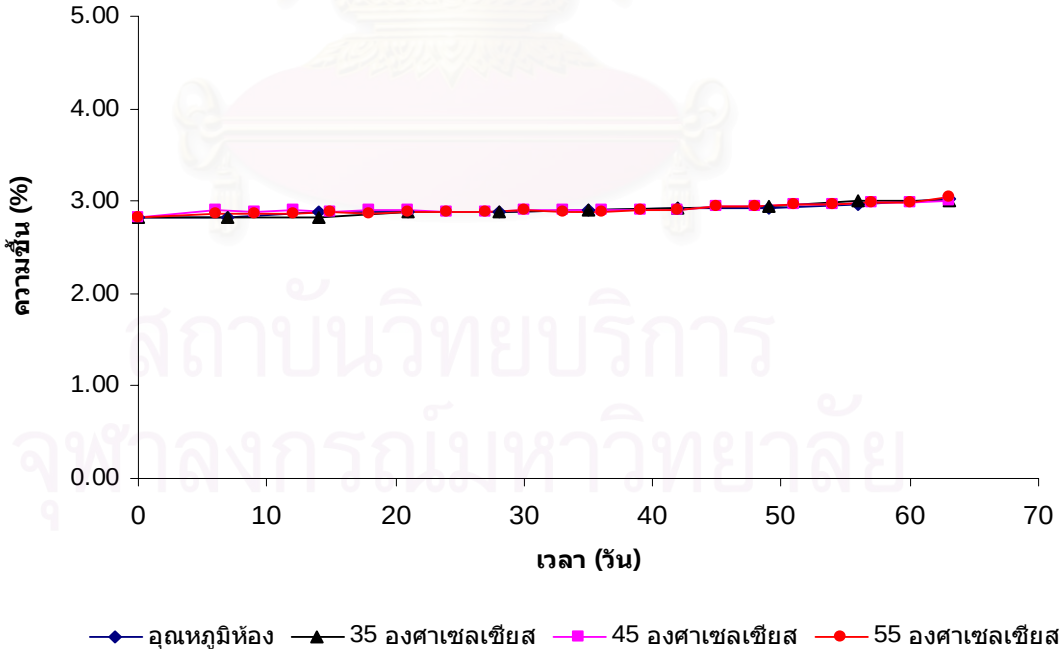
4.8 การศึกษาอายุการเก็บของเครื่องดื่มลูกเดือยผง

จากการศึกษาอายุการเก็บของเครื่องดื่มลูกเดือยผง (รูปที่ 4.4, ตารางที่ ข.11-ข.14 และตารางที่ จ.1-จ.4) พบว่า เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) และ 35°C เป็นเวลา 9 สัปดาห์ มีค่า a_w เพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.380-0.412 เช่นเดียวกับเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ 45°C และ 55°C เป็นเวลา 63 วัน ซึ่งมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.380-0.397 และ 0.380-0.403 ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น ค่า a_w มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องจากน้ำจะอยู่ในรูปของการรวมตัวยึดติดกับส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ในลักษณะโมเลกุลชั้นเดียว (monolayer) บนผิวหน้าอย่างหนาแน่น ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำได้น้อย ซึ่งจะเกิดในช่วงค่า a_w 0.1-0.5 โดยค่า a_w จะเพิ่มขึ้น ในขณะปริมาณความชื้นจะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (Fennema, 1985; Eskin and Robinson, 2000) ส่วนปริมาณความชื้นของเครื่องดื่มลูกเดือยผง (รูปที่ 4.5, ตารางที่ ข.11-ข.14 และ ตารางที่ จ.1-จ.4) พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C), 35°C, 45°C และ 55°C ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 2.82–3.04% ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา Maillard ในระหว่างการเก็บ โดยในระหว่างการเกิดสารไกลโคซิลอะมีนหมู่เอมีนเข้าไปยึดกับ reducing sugar ในรูปของ open chain ทำให้มีน้ำเกิดขึ้น (Fennema, 1985) หรืออาจเกิดจากรอยรั่วจากการปิดผนึกด้วยภาวะสุญญากาศ ทำให้ปริมาณความชื้นของเครื่องดื่มลูกเดือยเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผสมชนิดผง (วันเพ็ญ ศิลาวานิชยกุล และอุตรานุช เปรมสมาน, 2533) และน้ำมะเขือเทศผง (เปาว์ คงสุนทรกิจกุล และคณะ, 2546) ที่พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาค่า L ซึ่งเป็นค่าความสว่างของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C), 35°C, 45°C และ 55°C (รูปที่ 4.6, ตารางที่ ข.11-ข.14 และ ตารางที่ จ.1-จ.4) พบว่าค่าความสว่างของเครื่องดื่มลูกเดือยผงมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงว่าเครื่องดื่มลูกเดือยผงมีสีเข้มขึ้น โดยค่าความสว่างจะลดลงจาก 93.76 เป็น 92.00, 93.76 เป็น 91.87, 93.76 เป็น 91.53 และ 93.76 เป็น 89.38 เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C), 35°C, 45°C และ 55°C ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ที่เก็บที่ 55°C ลดลงมากที่สุด แสดงว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำมากขึ้น เนื่องจากมีการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning ขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา (Kacem *et al.*, 1987) โดยในเครื่องดื่มลูกเดือยผงสามารถเกิดปฏิกิริยา Maillard ได้จากโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบใน

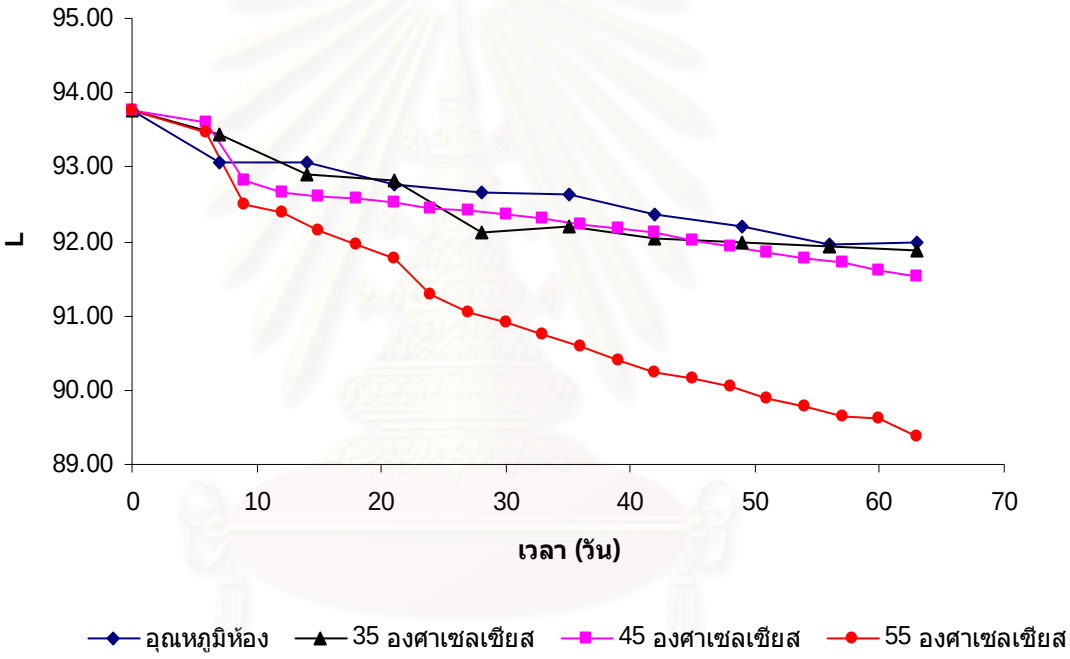


รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ

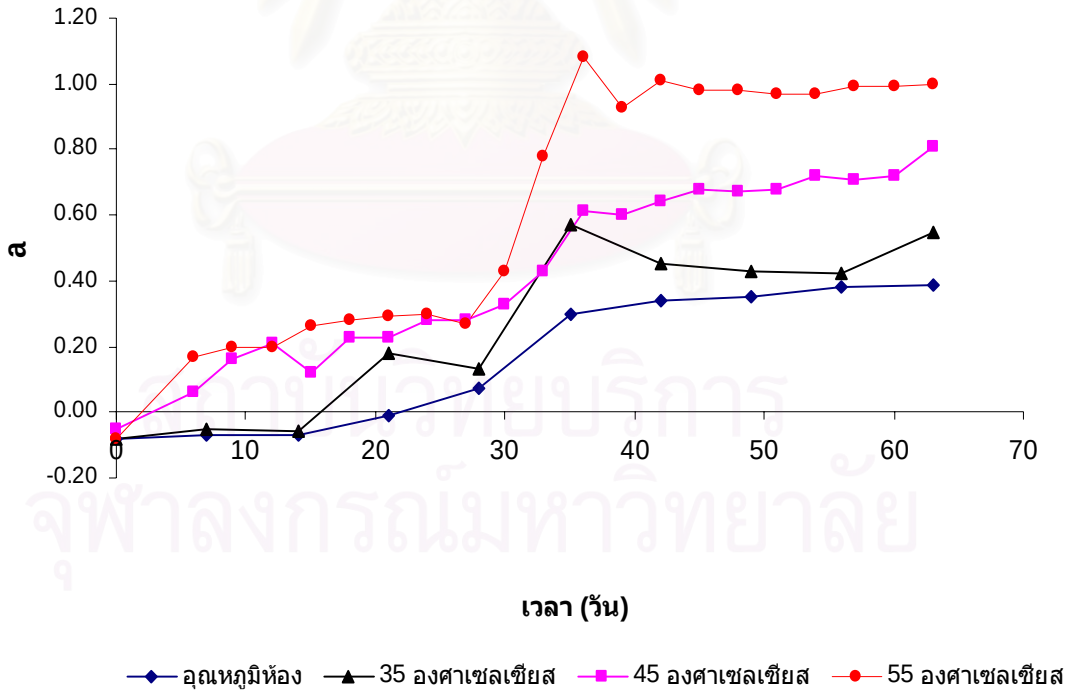
ผลิตภัณฑ์ อาจมีผลต่อสีและกลิ่นของอาหาร และอาจทำให้คุณค่าทางอาหารลดลง ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning จะขึ้นกับค่า a_w ปริมาณความชื้น และอุณหภูมิ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w และปริมาณความชื้นต่ำ จะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้มาก ส่วนอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะช่วยเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning ให้เพิ่มขึ้นด้วย (Eskin and Robinson, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของพนิตา งามเชื้อชิต, นิภาพร สารเศวตร์ และ สรพัชร เสมอกาย (2548) ที่พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศผงเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จะมีค่าความสว่างลดลง และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีสีเข้มหรือคล้ำมากขึ้น



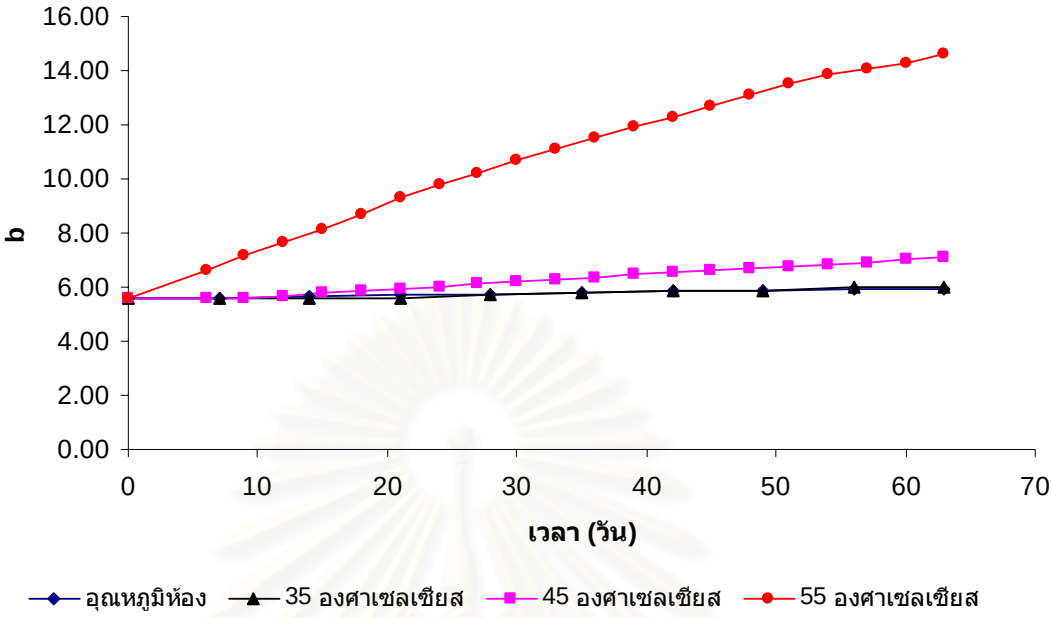
รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่า L ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ

ส่วนค่าสี a ซึ่งแสดงถึงสีเขียวและแดงของผลิตภัณฑ์ โดยค่าสี a ที่มีค่าเป็นลบ จะแสดงถึงผลิตภัณฑ์มีสีเขียว ส่วนค่าสี a ที่มีค่าเป็นบวก จะแสดงถึงผลิตภัณฑ์มีสีแดง (รูปที่ 4.7, ตารางที่ ข.11-ข.14 และ ตารางที่ จ.1-จ.4) พบว่า เมื่อระยะการเก็บนานขึ้น ค่าสี a ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($28\pm2^{\circ}C$), $35^{\circ}C$, $45^{\circ}C$ และ $55^{\circ}C$ ค่าสี a จะเพิ่มขึ้นจาก -0.08 เป็น 0.39, -0.08 เป็น 0.55, -0.08 เป็น 0.81 และ -0.08 เป็น 1.00 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าระหว่างการเก็บเครื่องดื่มลูกเดือยผงเกิดการเปลี่ยนแปลงของสี โดยมีสีแดงเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสี b ที่แสดงถึงสีน้ำเงินและสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ โดยค่าสี b ที่มี

ค่าเป็นลบ แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีน้ำเงิน ส่วนค่าสี b ที่มีค่าเป็นบวก จะแสดงถึงผลิตภัณฑ์มีสีเหลือง พบว่าค่าสี b ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะการเก็บนานขึ้นและอุณหภูมิสูงขึ้น โดยเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C), 35°C, 45°C และ 55°C มีค่าสี b เพิ่มขึ้นจาก 5.58 เป็น 5.94, 5.58 เป็น 6.00, 5.57 เป็น 7.09 และ 5.58 เป็น 14.65 ตามลำดับ (รูปที่ 4.8, ตารางที่ ข.11-ข.14 และ ตารางที่ จ.1-จ.4) ค่าสี a และ b ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าเครื่องดื่มลูกเดือยผงมีสีแดงและสีเหลืองมากขึ้น ซึ่งบ่งบอกว่ามีการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning ขึ้นในระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ โดยเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C), และ 35°C มีค่าสีใกล้เคียงกัน แสดงว่ามีการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning ใกล้เคียงกัน ส่วนเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ 55°C จะมีค่าสี a และ b สูงสุด แสดงว่ามีอัตราการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning สูงที่สุด ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดงและสีเหลืองมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของสรรชัย เทียมทวีสิน (2530) ที่พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บผลิตภัณฑ์นมผงนานขึ้น นมผงจะมีสีเหลือง และสีเหลืองแดงเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browningในระหว่างการเก็บรักษา



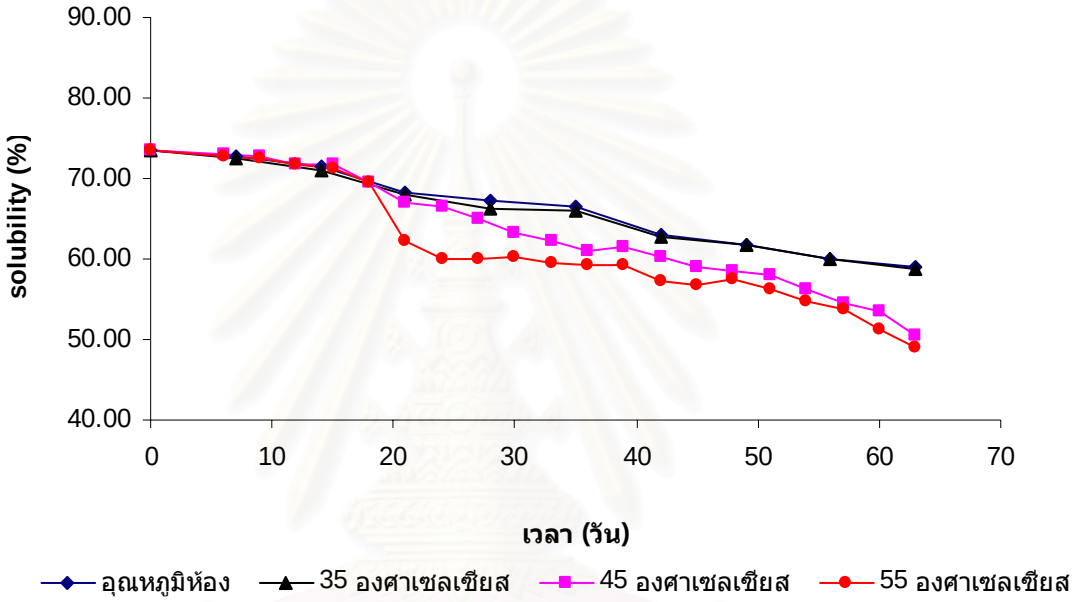
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่า a ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า b ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ

จากการศึกษาค่า solubility ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิห้อง ($28\pm2^{\circ}C$) (รูปที่ 4.9 และ ตารางที่ จ.1) พบว่า สัปดาห์ที่ 0 และ 1 ค่า solubility ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงไม่แตกต่างกัน และ ค่า solubility จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในสัปดาห์ที่ 2 ถึง 3 และ 5 ถึง 8 ส่วนค่า solubility ในสัปดาห์ที่ 4 จะไม่แตกต่างจากสัปดาห์ที่ 3 และ 5 เมื่อเก็บเครื่องดื่มลูกเดือยผงเป็นเวลา 9 สัปดาห์ ค่า solubility จะลดลงจาก 73.59% เป็น 59.12% ส่วนเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ $35^{\circ}C$ (ตารางที่ จ.2) ในสัปดาห์ที่ 0 ถึง 4 และ 6 ถึง 9 ค่า solubility จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และเมื่อเก็บเป็นเวลา 9 สัปดาห์ เครื่องดื่มลูกเดือยผงจะมีค่า solubility ลดลงจาก 73.59% เป็น 58.78% ส่วนเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ $45^{\circ}C$ และ $55^{\circ}C$ (ตารางที่ จ.3 และ จ.4) ค่า solubility จะลดลงจาก 73.59% เป็น 50.65% และ 73.59% เป็น 48.89% ตามลำดับ ซึ่งค่า solubility ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงจะลดลงไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อเปรียบเทียบค่า solubility ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่แต่ละอุณหภูมิ พบว่า เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความสามารถในการละลายจะต่ำกว่าตัวอย่างที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเห็นได้จากค่า solubility ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ $55^{\circ}C$ จะต่ำที่สุด รองลงมา คือ เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ $45^{\circ}C$ และ $35^{\circ}C$ และเครื่องดื่ม

ลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องจะมีค่า solubility สูงที่สุด เนื่องจากเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิสูง ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผงซึ่งมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบอาจเกิดการละลาย ทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ละลายได้ยากขึ้น ทำให้ค่า solubility ต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ พนิตา งามเชื้อชิต และคณะ (2548) ที่พบว่า เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศผงไว้ที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดการจับตัวเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์ลดลง



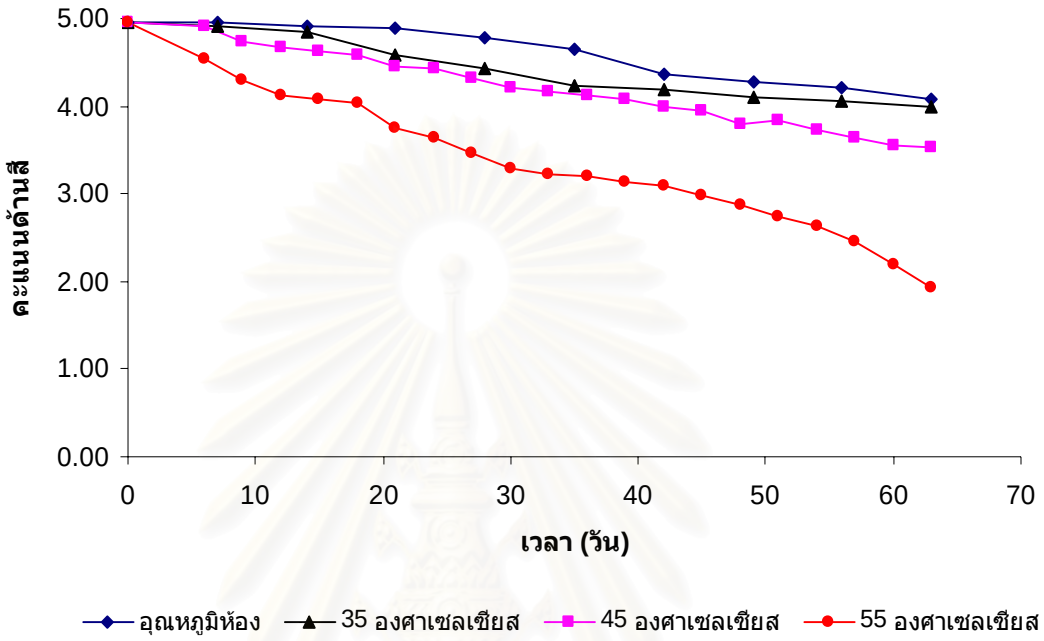
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลง solubility ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ

เมื่อพิจารณาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (ตารางที่ จ.1-จ.4) พบว่า เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง, 35°C, 45°C และ 55°C ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยจำนวน จุลินทรีย์ทั้งหมดที่พบอยู่ในช่วง 1.25×10^4 ถึง 2.25×10^4 CFU/g ซึ่งไม่เกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับนมผง คือ 10^5 CFU/g เนื่องจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นกระจายมีการใช้อุณหภูมิในการผลิตสูงมาก และได้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีปริมาณความชื้น และค่า a_w ต่ำ ทำให้จุลินทรีย์เกิดการเจริญเติบโตได้ยาก (Chiou and Langrish, 2007) โดยแบคทีเรียจะเจริญเติบโตไม่ได้ที่ระดับ a_w ต่ำกว่า 0.8 (Eskin and Robison, 2000) ดังนั้นเครื่องดื่มลูกเดือยผงซึ่งมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.380-0.412 เชื้อจุลินทรีย์จึงไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในระหว่างการเก็บ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ศุกฤตย์ ไทยอุดม (2538) ที่พบว่า น้ำบัวบกผงสำเร็จรูปชนิดละลาย

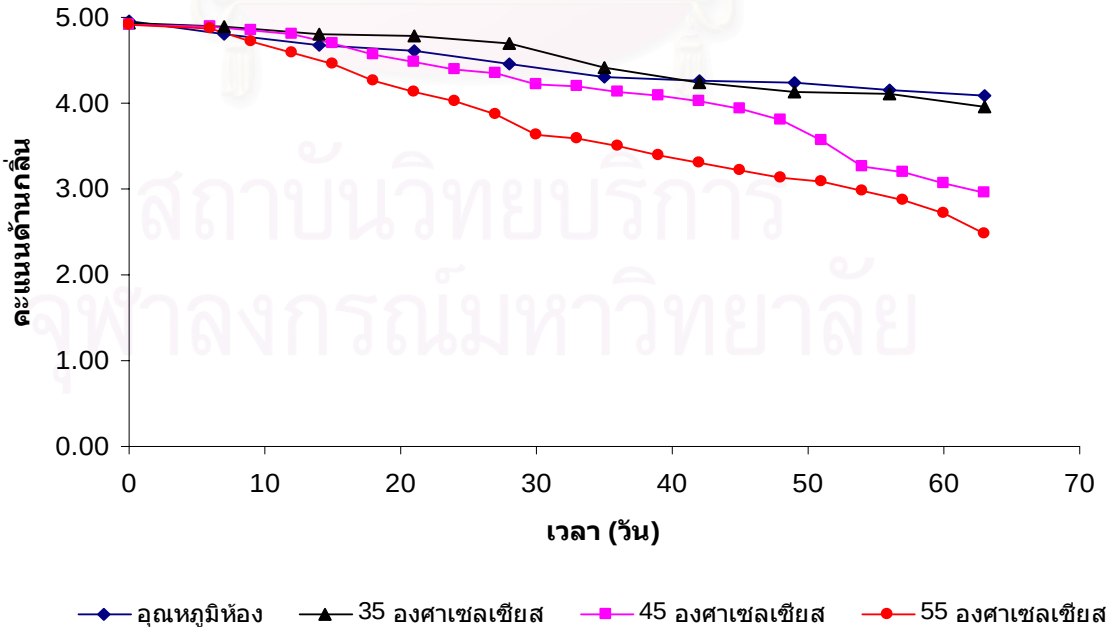
ทันทีที่เก็บไว้ที่ 35°C และ 45°C เป็นเวลา 11 สัปดาห์ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง $4.15x10^3$ ถึง $5.60x10^3$ CFU/g

สำหรับการศึกษาอายุการเก็บของเครื่องดื่มลูกเดือยผงโดยการประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านสี และกลิ่นของผลิตภัณฑ์ พบว่า เมื่อเก็บเครื่องดื่มลูกเดือยผงไว้ที่อุณหภูมิห้อง และ 35°C เป็นเวลา 9 สัปดาห์ คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านสีจะมีค่าอยู่ในช่วง 4.08-4.96 และ 4.00-4.96 ตามลำดับ (รูปที่ 4.10, ตารางที่ ข.15-ข.16 และ ตารางที่ จ.5-จ.6) โดยสัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 3 คะแนนการประเมินผลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) หลังจากนั้นคะแนนจะลดลง และเมื่อเก็บเครื่องดื่มลูกเดือยผงเป็นเวลา 9 สัปดาห์ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเพียงเล็กน้อย ซึ่งเห็นได้จากคะแนนการประเมินด้านสีอยู่ในช่วงสีขาวจนถึงสีขาวปนเหลือง ส่วนคะแนนการประเมินด้านกลิ่นจะมีค่าอยู่ในช่วง 4.09-4.96 และ 3.96-4.94 (รูปที่ 4.11 และ ตารางที่ จ.5-จ.6) เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง และ 35°C ตามลำดับ โดยเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น จะได้รับคะแนนลดลง และเมื่อเวลาผ่านไป 9 สัปดาห์ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงเกิดขึ้น โดยคะแนนจะอยู่ในช่วงมีกลิ่นผิดปกติเล็กน้อย ส่วนเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ 45°C เป็นเวลา 63 วัน ได้รับคะแนนการประเมินด้านสีอยู่ในช่วง 3.52-4.96 (ตารางที่ ข.17 และ ตารางที่ จ.7) แสดงว่า มีการเปลี่ยนแปลงของสีของเครื่องดื่มลูกเดือยผงจากสีขาวเป็นสีขาวปนเหลืองจนถึงสีเหลือง เนื่องจากมีการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning ในระหว่างการเก็บ ทำให้สีของเครื่องดื่มลูกเดือยผงเข้มขึ้น ส่วนคะแนนการประเมินด้านกลิ่น พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น จะได้รับคะแนนลดลง โดยมีคะแนนในช่วง 2.96-4.93 (ตารางที่ จ.7) แสดงว่า ระหว่างการเก็บรักษามีการเกิดกลิ่นผิดปกติขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาของไขมันที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ และมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w ต่ำ (Eskin and Robison, 2000) หรือปฏิกิริยา non-enzymatic browning ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ โดยสารที่ทำให้กลิ่นรสโดยรวมของผลิตภัณฑ์มีกลิ่นผิดปกติหรือกลิ่นเหม็นมักเป็นสารประกอบจำพวกอัลดีไฮด์ คีโตน และคาร์บอนิล (Minine, 1987) โดยเมื่อเวลาผ่านไป 63 วัน คะแนนการประเมินด้านกลิ่นจะอยู่ในช่วงมีกลิ่นผิดปกติปานกลาง ส่วนเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ 55°C พบว่า คะแนนการประเมินด้านสีอยู่ในช่วง 2.48-4.94 (ตารางที่ ข.18 และ ตารางที่ จ.8) แสดงว่า เครื่องดื่มลูกเดือยผงเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีจากสีขาวจนเป็นสีเหลืองเข้มค่อนข้างมาก เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning ซึ่งเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ 55°C อาจเกิดปฏิกิริยานี้ได้มาก เนื่องจากมีอุณหภูมิสูงซึ่งเป็นปัจจัยเร่งในการเกิดปฏิกิริยา ทำให้สีของเครื่องดื่มลูกเดือยผงมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง, 35°C และ 45°C และคะแนนการประเมินด้านกลิ่น

จะอยู่ในช่วง 2.48-4.92 (ตารางที่ จ.8) แสดงว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นในระหว่างการเก็บรักษา และเมื่อเวลาผ่านไป 63 วัน คะแนนที่ได้รับจะอยู่ในช่วงมีกลิ่นผิดปกติค่อนข้างมากจนถึงมีกลิ่นผิดปกติปานกลาง



รูปที่ 4.10 คะแนนการประเมินด้านสีของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ



รูปที่ 4.11 คะแนนการประเมินด้านกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงระหว่างการเก็บ

จากการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของเครื่องดื่มลูกเดือยผง พบว่า สมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่น เป็นปัจจัยหลักที่ใช้พิจารณาในการทำนายอายุการเก็บของเครื่องดื่มลูกเดือยผง โดยจำนวนผู้ทดสอบน้อยที่สุดที่ยอมรับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ 45°C และ 55°C เท่ากับ 18 คน เมื่อเวลาผ่านไป 45 และ 21 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ จ.10) เมื่อนำไปคำนวณหาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยการคำนวณหาค่า Q_{10} (ภาคผนวก ฉ) พบว่า อายุการเก็บของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่อุณหภูมิห้อง (30°C) มีค่าประมาณ 20 สัปดาห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการพัฒนากระบวนการผลิตเครื่องดื่มลูกเดือยผง โดยใช้ลูกเดือยพันธุ์ Ma-yuen ซึ่งมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 9.26, 12.93, 9.15, 0.41, 5.27 และ 62.99% ตามลำดับ แช่ลูกเดือยในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และให้ความร้อนต่อน้ำลูกเดือยที่อุณหภูมิ 70$\pm$1°C นาน 3 นาที เพื่อให้น้ำลูกเดือยสุกบางส่วน ก่อนป้อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย จะให้น้ำลูกเดือยผงที่มีความสามารถในการละลายดีที่สุด และการเติมมอลโตเดกซ์ทริน 15%(w/v) น้ำลูกเดือยผงที่ได้มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด และความชื้นต่ำที่สุด การใช้อุณหภูมิลมเข้า 190°C และอัตราการป้อน 1.6 ลิตรต่อชั่วโมง เป็นภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งน้ำลูกเดือย จากนั้นนำน้ำลูกเดือยผงที่ได้มาทำ Agglomeration โดยใช้อัตราส่วนน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสด เท่ากับ 20:1 กรัมต่อมิลลิลิตร จะช่วยเพิ่มความสามารถในการละลาย, การแพร่กระจายและลดเวลาที่ใช้ในการทำให้อนุภาคเปียกทั้งหมดได้ เมื่อเติมน้ำตาลซูโครส 8% ของน้ำหนักเครื่องดื่มลูกเดือยผง และเกลือ 0.7% ของน้ำหนักเครื่องดื่มลูกเดือยผง จะได้เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่ได้รับคะแนนสูงสุด จึงเลือกใช้เป็นสูตรสำหรับศึกษาอายุการเก็บ ซึ่งพบว่า เครื่องดื่มลูกเดือยผงมีอายุการเก็บที่อุณหภูมิห้อง (30°C) ประมาณ 20 สัปดาห์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่ได้ผ่านการทำให้สุกเพียงบางส่วน ทำให้มีความสามารถในการละลายไม่ดีเท่าที่ควร และบางส่วนยังเป็นแป้งดิบอยู่ จึงอาจต้องมีการทำให้เครื่องดื่มลูกเดือยผงเกิดการสุกทั้งหมด โดยใช้วิธีการทำแห้งแบบอื่น เช่น การใช้ drum dryer หรืออาจลดความเข้มข้นของน้ำลูกเดือยก่อนนำไปให้ความร้อน เพื่อให้สามารถป้อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจายได้

2. ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผงมีจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นค่อนข้างสูง อาจต้องมีการเพิ่มกระบวนการฆ่าเชื้อในระหว่างกระบวนการต่างๆ เพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์

3. ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นกระจาย ซึ่งมีการใช้ความร้อนสูง อาจเกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารในระหว่างกระบวนการผลิต จึงอาจมีการทดลองเพิ่มเติมเพื่อศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นกระจายต่อคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์

4. ควรมีการคำนวณต้นทุนการผลิต เพื่อให้ทราบข้อมูลที่เพียงพอ และใช้เป็นข้อมูลทางการตลาดในการผลิตเครื่องดื่มลูกเดือยผงในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมวิชาการเกษตร. 2547. เดือย [Online]. กรุงเทพมหานคร. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/pl_data/02_LOCAL/oard3/duay/menu.html [27 มกราคม 2550]

พาณิชย์, กระทรวง. 2544. ลูกเดือย [Online]. กรุงเทพมหานคร. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th [13 พฤศจิกายน 2547]

กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูลปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ก้อง ไพฑูรย์เศกสิทธิ์, พรชัย กิตติภูมิวงศ์ และ พายศ อภิญญานุวัฒน์. 2542. การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองผงเสริมแคลเซียม. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. 2543. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฉันทรา พูนศิริ. 2537. การพัฒนายาอมจากสมุนไพรไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชีวจิต. 2003. น้ำลูกเดือย [Online]. กรุงเทพมหานคร. แหล่งที่มา: http://www.thaimedicinalplant.com/lokduey.html [13 พฤศจิกายน 2547]

ทัศนีย์ พรกิจประสาน. 2530. ลูกเดือย คุณสมบัติบางประการและผลิตภัณฑ์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นราวัลลภ์ เปล่งจินดาเรือง, บงกชมาศ ชะระไสย์ และ ประครองศรี ตรุณจันทร์. 2543. การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมข้าวโพดผงพร้อมดื่ม. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บังอร ศรีพานิชกุลชัย, ผดุงขวัญ จิตโรภาส, เดชพล ปรีชากุล, สุธาสินี พิชญวศิน และ จินตนา จุลทรรศน์. 2550. ลักษณะของผงวุ้นว่านหางจระเข้เมื่อเตรียมโดยวิธีสเปรย์ดราย. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น. 12(1): ม.ค.-มี.ค.

ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547. หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เปาว์ คงสุนทรกิจกุล, ฉัตรดาว จางวางกร และ ปริญ โชคสวัสดิ์ไพศาล. 2546. การพัฒนากระบวนการผลิตน้ำมะเขือเทศ (*Lycopersicum esculentum* P. Mill) ผงสำเร็จรูป. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พนิตา งามเชื้อชิต, นิภาพร สารเศวตร์ และ สรพัชร เสมอกาย. 2548. การปรับปรุงสมบัติการละลายของมะเขือเทศ(*Lycopersicum esculentum* P. Mill) ผง. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิมพรรณ รัตนพฤกษานนท์. 2526. การศึกษาการผลิตนมถั่วเหลืองผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นกระจาย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยุพดี สิทธิ์บุศย์. กรมวิชาการเกษตร. รายงานการวิเคราะห์เมล็ดเดือย 2526.

วันเพ็ญ ศิลาวานิชยกุล และ อุตรานุช (นุชฤทัย) เปรมสมาน. 2533. น้ำผลไม้ผสมชนิดผง. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิทย์ เที่ยงบูรณธรรม. 2539. พจนานุกรมสมุนไพรไทย. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สุริยบรรณ.

ศิริพร จันทนา. 2529. การใช้แป้งลูกเดือยในการทำขนมจีน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาคหกรรมศาสตร์ คณะคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริยศ ทิมอรุณ. 2537. การศึกษาคุณสมบัติการตอกอัดเป็นเม็ดของแป้งข้าวเจ้าดัดแปลง โดยใช้เทคนิคสเปรย์ดรายและปฏิกิริยาครอสลิงค์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเภสัชอุตสาหกรรม คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุกฤตย์ ไทยอุดม. 2538. การพัฒนากระบวนการผลิตน้ำบัวบก *Centella asiatica* (Linn.) Urban ผงสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สรรชัย เทียมทวีสิน. 2530. ผลของตัวแปรในกระบวนการพ่นแห้งต่อคุณภาพนมผงที่โรงนมผงสวนดุสิต. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุพจน์ พินิตเกียรติสกุล. 2537. ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตนมถั่วเหลืองผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยในระดับต้นแบบ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2531. การผลิตและการตลาดลูกเดือย ปี 2529/2530 . กรุงเทพมหานคร: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

โอภาส บุญเส็ง. 2547. ฐานความรู้ด้านพืช กรมวิชาการเกษตร [Online]. กรุงเทพมหานคร. แหล่งที่มา: http://www.moc.go.th[16 ตุลาคม 2547]

ภาษาอังกฤษ

AllergyResearchGroup. Cell Foods: Hypoallergenic [Online]. 2004. Available from: http:///www.nutrimedical.com/product_file.jhtml [2004, November 13]

Abadio, F.D.B., Domingues, A.M., Borges, S.V., and Oliveira, V.M. 2004. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice-effect of maltodextrin concentration and atomization speed. Journal of Food Engineering. 64: 285-287.

AOAC 1995. Official Methods of Analysis. 15th ed. Washington D.C.: Association of Official Analytical Chemists.

Bhandari, B.R., Senoussi, A., Dumoulin, E.D., and Lebert, A. 1993. Spray drying of concentrated fruit juices. Drying Technology. 11(5): 1081-1092.

Borges, S.V., Reis, A.L.S.H., Jorge, E.C., Pinto, P.R., and Oliveira, V. 2002. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. Drying Technology. 15(2): 671-684.

Cano-Chouca, M., Stringheta, P.C., Ramos, A.M., and Vidal, J.C. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 6: 420-428.

Canovas, G.V.B., and Mercado, H.V. 1996. Dehydration of Foods. New York: Chapman & Hall.

Capes, C.E. 1987. Particle size enlargement. In Williams, J.C., and Allen, T. Handbook of Powder Technology. Vol.1. New York: Elsevier Scientific Publishing. pp.52-54, 83-95, 139-159.

Chiou, D., and Langrish, T.A.G. 2007. Development and characterization of novel nutraceuticals with spray drying technology. Journal of Food Engineering.

Chopda, C.A., and Barrett, D.M. 2005. Optimization of guava juice and powder production. Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie. 37: 214-222.

Davoodi, M.G., Vijayanand, P., Kukarni, S.G., and Ramana, K.V.R. 2006. Effect of different pre-treatments and dehydration method on quality characteristics and storage stability of tomato powder. Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie. 43: 962-968

Eskin, N.A.M., and Robinson, D.S. 2000. Food Shelf Life Stability. Florida: CRC Press.

Food and Drug Administration. Rules and Regulations: Maltodextrin [Online]. 1998. Available from: http://www.fda.gov [2006, November 22]

Fennema, O.R. 1985. Food Chemistry. Second Edition. New York: Marcel Dekker, Inc.

Gabas, A.L., Telis, V.R.N., Sobral, P.J.A., and Romero, J.T. 2007. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. Journal of Food Engineering. 82: 246-252.

Goula, A.M., Konstantinos, G., and Adamopoulos, K.G. 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. The effect on product recovery. Journal of Food Engineering. 66: 25-34.

Goula, A.M., Konstantinos, G., and Adamopoulos, K.G. 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. Journal of Food Engineering. 66: 35-42.

Hall, C.W., and Hedrick, T.T. 1971. Drying Milk and Milk Producing. Second edition. Westport, Conn.: AVI publishing.

Hicks, K.B., Sapers, G.M., and Seib, P.A. 1990. Process for preserving raw fruit and vegetable juices using cyclodextrins and compositions there of. US. Patent. 4 975 293

Hymavathi, T.V., and Khader, V. 2005. Carotene, ascorbic acid and sugar content of vacuum dehydrated ripe mango powders stored in flexible packaging material. Journal of Food Composition and Analysis. 18: 181-192.

IDF. IDF Standard [Online]. 2002. Available from: http://www.fil-idf.org/content/defaul.asp? Page ID=302 [2004, September 21]

Jaya, S., and Das, H. 2004. Effect of maltodextrin, glycerol monosterate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. Journal of Food Engineering. 63: 125-134.

Jha, A., Patel, A.A., and Singh, R.R.B. 2002. Physico-chemical properties of instant Kheer mix. Journal of Dairy Technology. 82: 501-513.

Kacem, B., Cornell, J.A., Marshall, M.R., Shiremen, R.B., and Matthews, R.F. 1987. Non enzymatic browning in aseptically packaged orange drinks: Effect of ascorbic acid, amino acids, and oxygen. Journal of Food Engineering. 52: 1668-1672.

Karel, M., Fennema, O.R., and Lund, D.B. 1975. Physical Principles of Food Preservation. New York: Marcel Dekker.

Kim, E.H., Chen, X.D., and Pearce, D. 2005. Melting characteristics of fat present on the surface of industrial spray-dried dairy powders. Colloids and Surfaces. 42: 1-8.

Kowalska, J., and Lenart, A. 2005. The influences of ingredients distribution on properties of agglomerated cocoa products. Journal of Food Engineering. 68: 155-161.

Kyoto University Bioinformatics Center. Maltodextrin [Online]. 2005. Available from: http://www.genome.jp/dbget_bin/www_bget?cpd:CO1935 [2007, January 14]

Lugli, J., Campbell, A., Gaziola, S.A., Smith, R.J., Lea, P.J., and Azevedo, R. 2002. Enzymes of lysine metabolism from *Coix lacryma-jobi* seeds. Plant Physiology and Biochemistry. 40: 25-32.

Man, D., and Jones, A. 2000. Shelf-Life Evaluation of Foods. Second edition. Maryland: Aspen Publishers, Inc.

Masters, K. 1991. Spray Drying Handbook, Fifth edition. Harlow: Longman.

Minnie, S. 1987. Shelf life of freeze dried yoghurt. MS Thesis. School of Packaging, Michigan State University.

Muramatsu, Y., Tagawa, A., Sakaguchi, E., and Kasai, T. 2006. Water absorption characteristics and volume changes of milled and brown rice during soaking. Cereal Chemistry. 83(6): 624-631.

Nath, S. and Satpathy, G.R. 1998. A systematic approach for investigation of spray drying processes. Drying Technology. 16(6): 1173-1193.

Nijdam, J.J., and Langrish, T.A.G. 2006. The effect of surface composition on the functional propertied of milk powders. Journal of Food Engineering. 77: 919-925.

Omobuwajo, T.O., Busari, O.T., and Osemwegie, A.A. 2000. Thermal agglomeration of chocolate drink powder. Journal of Food Engineering. 46: 73-81.

Pan, Z. and Tangratanavalee, W. 2003. Characteristics of soybeans as affected by soaking conditions. Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie. 36: 143-151.

Perez, V.F., Tapiador, J., Martin, A., and Castro M.D.L. 2004. Optimization of the drying step for preparing a new commercial powdered soup. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 5: 361-368.

Sara, J.R., and Gary, A.R. 1988. Flavour Encapsulation. American Chemical Society Symposium Series. New York: Maple Press.

Samant, S.K., and Pai, J.S. 1991. Cyclodextrins: New versatile food additive. Indian Food Packer. 45(3): 55-65.

Sharma, S.K., Steven, J.M., and Syed, S.H. 2000. Food Process Engineering : Theory and Laboratory Experiments. Canada: John Wiley & Sons, Inc.

Shittu, T.A., and Lawal, M.O. 2007. Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. Food Chemistry. 100: 91-98.

Singh, R.P. 1993. Introduction to Food Engineering. Second edition. California: Academic Press, Inc.

Steele, R. 2004. Understanding and Measuring The Shelf-Life of Food. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Tanafranca, D.E., Loberiano, F.V., and Reyes, N.B. 2004. Development of spray dried kalamansi powder. Drying Technology. 7: 371-381.

Vacharotayan, S., Jan-Orn, J., Cheaorn, P., Titatarn, S. and Kingkaew, S. 1982. Job's Tears Production and Marketing in Thailand. Jetro, Japan Trade Center and Agricultural and Marine Products Group. Bangkok. 110 p.

Yang, C.C., Chang, S.C., Sung, S.C. and Lii, C.Y. 1978. Studies on the starches in Taiwan 2. taro, water chestnut (trapa) and job's tears. Journal of Food Science. 5(2): 73-87.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

ก.1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995 section 925.10)

ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ลงในภาชนะที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6-8 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ นำตัวอย่างออกจากตู้อบและทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) ชั่งน้ำหนักและคำนวณหาปริมาณความชื้นจาก

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{(น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ – น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%db)} = \frac{\text{\%ปริมาณความชื้น}}{(100 - \text{\%ปริมาณความชื้น})} \times 100$$

ก.2 ปริมาณโปรตีน (AOAC, 1995 section 920.87)

ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในขวดสำหรับย่อยโปรตีน (Kjeldahl tube) เติมสารเร่งปฏิกิริยาซึ่งประกอบด้วย K_2SO_4 2 กรัม และ $CuSO_4$ (anhydrous) 0.1 กรัม และกรดซัลฟูริเข้มข้น 20-25 มิลลิลิตร นำไปย่อยด้วยเครื่อง Kjeldahltherm จนกระทั่งสารละลายมีสีเขียวใส ทิ้งให้เย็นก่อนนำไปกลั่นโดยต่อ Kjeldahl tube เข้ากับเครื่องกลั่น Vapodest I ซึ่งมีการเติมน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 35 ปริมาตร 50-70 มิลลิลิตร หรือจนกระทั่งตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีดำ รองรับสารที่กลั่นด้วย flask ที่เติมเติมอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด และกรดบอริคเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เวลากลั่น 5-6 นาที จากนั้นนำสารละลายใน flask ที่ได้จากการกลั่นมาไตเตรตกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1N จนกระทั่งสารละลายที่ได้เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอ่อน และคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณโปรตีน

$$\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (\%)} = \frac{X \times N \times 1.4}{W} \times 100$$

เมื่อ X คือ ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (N)

W คือ น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัม)

$$\text{โปรตีน (\%)} = \text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด} \times 6.25$$

ก.3 ปริมาณไขมัน (AOAC, 1995 section 920.85)

ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2.5 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 ใส่ลงใน Thimble นำ Thimble ที่มีตัวอย่างบรรจุอยู่ใส่ลงในชุดสกัดไขมัน และนำขวดสกัดไขมันที่แห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอนต่อเข้ากับชุดสกัดไขมัน เติม petroleum ether ซึ่งใช้เป็นตัวสกัดไขมันปริมาตร 250 มิลลิลิตรลงในชุดสกัด สกัดไขมันเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียสของ Silicon Coil ซึ่งเป็นตัวให้ความร้อนแก่อุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัด เมื่อครบกำหนดจึงระเหยส่วนของ petroleum ether ออกจากส่วนไขมันที่สกัดได้ แล้วอบขวดสกัดไขมันที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่ ทิ้งไว้ให้เย็นใน Desiccator ชั่งน้ำหนักขวดสกัดไขมันและคำนวณหาปริมาณไขมัน

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

ก.4 ปริมาณเส้นใย (AOAC, 1995 section 920.86)

ชั่งตัวอย่างที่สกัดไขมันออกแล้วประมาณ 2 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติม 5%H_2SO_4 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ต้มให้เดือด 30 นาที ขณะต้มให้คนเป็นครั้งคราว เพื่อไม่ให้มีส่วนของแข็งติดที่ด้านข้างของบีกเกอร์ จากนั้นนำมากรองใน Buchner Funnel ผ่านกระดาษกรอง โดยใช้ Suction Pump ช่วย ล้างบีกเกอร์ด้วยน้ำร้อน 50-70 มิลลิลิตร และล้างกระดาษกรองด้วยน้ำ 50 มิลลิลิตร 3 ครั้ง จากนั้นนำกากที่ได้ใส่ในบีกเกอร์ใบเดิม เติม 5%NaOH ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร

200 มิลลิลิตร นำไปต้มให้เดือด 30 นาที นำมากรอง แล้วล้างด้วย 1.25%HCl 25 มิลลิลิตร ตามด้วยน้ำกลั่นที่เดือด 50 มิลลิลิตร และ 95%alcohol 25 มิลลิลิตรตามลำดับ นำ Crucible ไปอบที่อุณหภูมิ 130±2 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก นำไปเผาที่อุณหภูมิ 600±15 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง คำนวณหาปริมาณเส้นใย

$$\text{ปริมาณเส้นใย (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนเผา} - \text{น้ำหนักหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นก่อนสกัดไขมัน}} \times 100$$

ก.5 ปริมาณเถ้า (AOAC, 1995 section 923.03)

ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องทนไฟที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปเผาในตู้ดูดควันจนหมดควันดำ จึงนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จนได้เถ้าสีขาว ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักคำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

ก.6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต คือ ค่าที่ได้จากการนำร้อยละของปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยและเถ้ามารวมกัน แล้วนำไปหักออกจาก 100

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%) = 100 – (ร้อยละของความชื้น + โปรตีน + ไขมัน + เส้นใย + เถ้า)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.7 Bulk density (Jha, Patel, and Singh, 2002)

ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 10 กรัม เทลงในกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร เคาะกับพื้นเรียบ 20 ครั้ง แล้วอ่านปริมาตร

$$\text{Bulk density (g/ml)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}{\text{ปริมาตร (มิลลิลิตร)}}$$

ก.8 Solubility (ดัดแปลงจากวิธีของศุกฤตย์ ไทยอุดม, 2538)

ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 3.5 กรัม เติมน้ำกลั่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส คนโดยใช้ Magnetic Stirrer (P-SELECTA, AGIMATIC-N) ความเร็ว 700 rpm เป็นเวลา 30 วินาที กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.1 ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน โดยใช้ Suction Pump นำกระดาษกรองไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จนน้ำหนักที่ได้คงที่

$$\text{Solubility (\%)} = 100 - [(Y/X) \times 100]$$

เมื่อ X = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

Y = น้ำหนักตัวอย่างสุดท้าย

ก.9 Dispersibility (ดัดแปลงจากวิธีของ IDF, 2002)

ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 10 กรัม เติมน้ำกลั่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปริมาตร 100 มิลลิลิตร คนโดยใช้ Magnetic Stirrer ความเร็ว 700 rpm เป็นเวลา 30 วินาที กรองผ่าน sieve 150 μm นำส่วนที่เหลือบน Sieve ไปหาปริมาณของแข็งทั้งหมด โดยอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

ก.10 Wettability (ดัดแปลงจากวิธีของ Kim, Chen, and Pearce, 2005)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัม เทลงในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ จับเวลาที่ใช้ในการทำให้ผิวหน้าของอนุภาคเปียกน้ำทั้งหมด

Wettability (min) = เวลาที่ใช้ในการทำให้ผิวหน้าของอนุภาคเปียกทั้งหมด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติของน้ำลูกเดือยผง เมื่อใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่างกัน

	Sources of varience	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Treatment	4	167.865	55.256*
	Error	5	3.038	
	Total	9		
ความชื้น	Treatment	4	0.698	10.442*
	Error	5	0.067	
	Total	9		
Bulk Density	Treatment	4	0.003	54.000*
	Error	5	0.000	
	Total	9		
Solubility	Treatment	4	25.385	259.532*
	Error	5	0.098	
	Total	9		
Wettability	Treatment	4	189.531	804.941*
	Error	5	0.235	
	Total	9		
Dispersibility	Treatment	4	157.439	162.208*
	Error	5	0.971	
	Total	9		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณผลผลิตของน้ำลูกเดือยผง เมื่อใช้อุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยที่ระดับต่างกัน

Sources of varience	df	MS	F
Treatments	8	21.240	7.659*
อุณหภูมิลมเข้า	2	36.890	13.303*
อัตราการป้อน	2	44.417	16.017*
อุณหภูมิลมเข้าxอัตราการป้อน	4	1.827	0.659
Error	9	2.773	
Total	18		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นของน้ำลูกเดือยผง เมื่อใช้อุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยที่ระดับต่างกัน

Sources of varience	df	MS	F
Treatments	8	0.238	586.329*
อุณหภูมิลมเข้า	2	9.909×10^{-2}	244.329*
อัตราการป้อน	2	0.848	2091.014*
อุณหภูมิลมเข้าxอัตราการป้อน	4	2.022×10^{-3}	4.986*
Error	9	4.056×10^{-4}	
Total	18		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของ Bulk density ของน้ำลูกเดือยผง เมื่อใช้อุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยที่ระดับต่างกัน

Sources of varience	df	MS	F
Treatments	8	4.806×10^{-4}	17.300*
อุณหภูมิลมเข้า	2	9.389×10^{-4}	33.800*
อัตราการป้อน	2	9.389×10^{-4}	33.800*
อุณหภูมิลมเข้าxอัตราการป้อน	4	2.222×10^{-5}	0.800
Error	9	2.778×10^{-5}	
Total	18		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของ Solubility ของน้ำลูกเดือยผง เมื่อใช้อุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยที่ระดับต่างกัน

Sources of varience	df	MS	F
Treatments	8	41.117	68.525*
อุณหภูมิลมเข้า	2	142.713	237.843*
อัตราการป้อน	2	15.972	26.618*
อุณหภูมิลมเข้าxอัตราการป้อน	4	2.892	4.819*
Error	9	0.600	
Total	18		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของ Dispersibility ของน้ำลูกเดือยผง เมื่อใช้อุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยที่ระดับต่างกัน

Sources of varience	df	MS	F
Treatments	8	21.691	49.240*
อุณหภูมิลมเข้า	2	80.639	183.059*
อัตราการป้อน	2	4.091	9.287*
อุณหภูมิลมเข้าxอัตราการป้อน	4	1.016	2.307
Error	9	0.441	
Total	18		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของ Wettability ของน้ำลูกเดือยผง เมื่อใช้อุณหภูมิลมเข้าและอัตราการป้อนน้ำลูกเดือยที่ระดับต่างกัน

Sources of varience	df	MS	F
Corrected Model	8	112.705	1365.572*
อุณหภูมิลมเข้า	2	256.026	3102.092*
อัตราการป้อน	2	95.561	1157.844*
อุณหภูมิลมเข้าxอัตราการป้อน	4	49.617	601.177*
Error	9	8.253×10^{-2}	
Total	18		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติของน้ำลูกเดือยผงที่ผ่านการทำ Agglomeration ที่อัตราส่วนของน้ำลูกเดือยผงต่อน้ำลูกเดือยสดต่างกัน

	Sources of varience	df	MS	F
ความชื้น	Treatments	3	1.029	110.152*
	Error	4	0.009	
	Total	7		
Bulk Density	Treatments	3	0.000	3.000
	Error	4	0.000	
	Total	7		
Solubility	Treatments	3	13.700	3.678*
	Error	4	3.725	
	Total	7		
Dispersibility	Treatments	3	7.591	21.034*
	Error	4	0.361	
	Total	7		
Wettability	Treatments	3	1.715	56.238*
	Error	4	0.030	
	Total	7		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนการทดสอบด้านรสชาติ เมื่อเติมน้ำตาลซูโครสและเกลือที่ระดับต่างกัน

Sources of varience	df	MS	F
Treatments	8	18.601	12.575*
น้ำตาล	2	49.391	33.389*
เกลือ	2	10.591	7.160*
น้ำตาล*เกลือ	4	7.211	4.875*
Error	216	1.479	
Total	225		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนการทดสอบด้านความชอบโดยรวมเมื่อเติมน้ำตาลซูโครสและเกลือที่ระดับต่างกัน

Sources of varience	df	MS	F
Treatments	8	14.978	10.735*
น้ำตาล	2	37.738	27.049*
เกลือ	2	8.591	6.158*
น้ำตาล*เกลือ	4	6.791	4.868*
Error	216	1.395	
Total	225		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) เป็นเวลา 9 สัปดาห์

	Sources of varience	df	MS	F
a_w	Treatments	9	0.000	57.396*
	Error	10	0.000	
	Total	19		
ความชื้น	Treatments	9	0.008	3.668*
	Error	10	0.002	
	Total	19		
L	Treatments	9	0.609	23.907*
	Error	10	0.025	
	Total	19		
a	Treatments	9	0.085	49.092*
	Error	10	0.002	
	Total	19		
b	Treatments	9	0.033	8.766*
	Error	10	0.004	
	Total	19		
Solubility	Treatments	9	55.956	224.711*
	Error	10	0.429	
	Total	19		
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด	Treatments	9	$1.44x10^7$	0.963
	Error	10	$1.50x10^7$	
	Total	19		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 9 สัปดาห์

	Sources of varience	df	MS	F
a_w	Treatments	9	0.000	11.060*
	Error	10	0.000	
	Total	19		
ความชื้น	Treatments	9	0.008	3.035*
	Error	10	0.003	
	Total	19		
L	Treatments	9	0.920	22.159*
	Error	10	0.042	
	Total	19		
a	Treatments	9	0.134	221.547*
	Error	10	0.001	
	Total	19		
b	Treatments	9	0.054	2.570
	Error	10	0.021	
	Total	19		
Solubility	Treatments	9	54.815	499.063*
	Error	10	0.110	
	Total	19		
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด	Treatments	9	1.06×10^7	1.056
	Error	10	1.00×10^7	
	Total	19		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 63 วัน

	Sources of varience	df	MS	F
a_w	Treatments	20	0.000	5.299*
	Error	21	0.000	
	Total	41		
ความชื้น	Treatments	20	0.004	1.362
	Error	21	0.003	
	Total	41		
L	Treatments	20	0.653	29.707*
	Error	21	0.022	
	Total	41		
a	Treatments	20	0.139	72.962*
	Error	21	0.002	
	Total	41		
b	Treatments	20	0.497	78.370*
	Error	21	0.006	
	Total	41		
Solubility	Treatments	20	96.971	273.010*
	Error	21	0.355	
	Total	41		
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด	Treatments	20	14345238.095	1.339
	Error	21	10714285.714	
	Total	41		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 63 วัน

	Sources of varience	df	MS	F
a_w	Treatments	20	0.000	6.053*
	Error	21	0.000	
	Total	41		
ความชื้น	Treatments	20	0.005	2.757*
	Error	21	0.002	
	Total	41		
L	Treatments	20	2.900	236.195*
	Error	21	0.012	
	Total	41		
a	Treatments	20	0.307	108.727*
	Error	21	0.003	
	Total	41		
b	Treatments	20	15.048	657.618*
	Error	21	0.023	
	Total	41		
Solubility	Treatments	20	113.943	268.270*
	Error	21	0.425	
	Total	41		
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด	Treatments	20	17916666.667	1.003
	Error	21	17857142.857	
	Total	41		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนการทดสอบด้านสีและกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) เป็นเวลา 9 สัปดาห์

	Sources of varience	df	MS	F
สี	Treatments	9	5.921	19.619*
	Error	490	0.302	
	Total	499		
กลิ่น	Treatments	9	4.342	8.619*
	Error	490	0.504	
	Total	499		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนการทดสอบด้านสีและกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 9 สัปดาห์

	Sources of varience	df	MS	F
สี	Treatments	9	6.894	15.173*
	Error	490	0.454	
	Total	499		
กลิ่น	Treatments	9	6.762	16.893*
	Error	490	0.400	
	Total	499		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนการทดสอบด้านสีและกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 63 วัน

	Sources of varience	df	MS	F
สี	Treatments	20	9.615	14.833*
	Error	1029	0.648	
	Total	1049		
กลิ่น	Treatments	20	18.845	38.641*
	Error	1029	0.488	
	Total	1049		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนการทดสอบด้านสีและกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 63 วัน

	Sources of varience	df	MS	F
สี	Treatments	20	30.784	41.907*
	Error	1029	0.735	
	Total	1049		
กลิ่น	Treatments	20	27.065	34.485*
	Error	1029	0.785	
	Total	1049		

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การวิเคราะห์ข้อมูลโดย regression analysis

การหาสมการที่เหมาะสมในการหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำลูกเดือยผง

เมื่อ $X_1 = (x_1 - 180)/20$

$X_2 = (x_2 - 1.5)/0.5$

เมื่อ x_1 คือ อุณหภูมิลมเข้า ($^{\circ}C$)

x_2 คือ อัตราการป้อนน้ำลูกเดือย (ลิตรต่อชั่วโมง)

ตารางที่ ข.19 regression analysis ของปริมาณความชื้น

Independent variable	Coefficient	Standard error	t-value	Significant level
Constant	2.32	0.014	162.921	0.000
X_1	-0.113	0.010	-11.173	0.000
X_2	0.393	0.010	38.980	0.000
X_1^2	-0.108	0.017	-6.164	0.000
X_2^2	-0.113	0.017	-6.451	0.000
X_1X_2	0.01875	0.007	2.633	0.027
$X_1^2X_2$	-0.02875	0.012	-2.331	0.045
$X_1X_2^2$	-0.01375	0.012	-1.115	0.294
$X_1^2X_2^2$	0.05375	0.021	2.516	0.033

R^2(adjusted) = 0.996

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.20 regression analysis ของ solubility

Independent variable	Coefficient	Standard error	t-value	Significant level
Constant	60.775	0.548	110.956	0.000
X_1	-3.590	0.387	-9.269	0.000
X_2	-1.758	0.387	-4.538	0.001
X_1^2	2.960	0.671	4.412	0.002
X_2^2	0.498	0.671	0.742	0.477
X_1X_2	0.887	0.274	3.241	0.010
$X_1^2X_2$	0.325	0.474	0.685	0.511
$X_1X_2^2$	-1.315	0.474	-2.772	0.022
$X_1^2X_2^2$	0.647	0.822	0.788	0.451

R^2(adjusted) = 0.969

ตารางที่ ข.21 regression analysis ของ wettability

Independent variable	Coefficient	Standard error	t-value	Significant level
Constant	2.380	0.203	11.716	0.000
X_1	-6.060	0.144	-42.188	0.000
X_2	-1.830	0.144	-12.740	0.000
X_1^2	9.375	0.249	37.681	0.000
X_2^2	2.120	0.249	8.521	0.000
X_1X_2	4.375	0.102	43.073	0.000
$X_1^2X_2$	-3.227	0.176	-18.346	0.000
$X_1X_2^2$	1.250	0.176	7.105	0.000
$X_1^2X_2^2$	-3.883	0.305	-12.741	0.000

R^2(adjusted) = 0.998

ภาคผนวก ค

การหาค่าเหมาะที่สุดโดยวิธีการหาอนุพันธ์

ค.1 การหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยวิธีการหาอนุพันธ์ของสมการปริมาณความชื้นสำหรับน้ำลูกเดือยผง

จากสมการ

$$\text{ความชื้น}(\%) = 2.32 - 0.113X_1 + 0.393X_2 + 0.01875X_1X_2 - 0.108X_1^2 - 0.113X_2^2 - 0.02875X_1^2X_2 - 0.01375X_1X_2^2 + 0.05375X_1^2X_2^2$$

เมื่อ $X_1 = (x_1 - 180)/20$

$X_2 = (x_2 - 1.5)/0.5$

เมื่อ x_1 คือ อุณหภูมิลมเข้า ($^{\circ}C$)

x_2 คือ อัตราการป้อนน้ำลูกเดือย (ลิตรต่อชั่วโมง)

ดังนั้น $dY/dX_1 = -0.113 + 0.01875X_2 - 0.216X_1 - 0.0575X_1X_2 + 0.01375X_2^2 + 0.1075X_1X_2^2 = 0$

$dY/dX_2 = 0.393 + 0.01875X_1 - 0.226X_2 - 0.02875X_1^2 - 0.0275X_1X_2 + 0.1075X_1^2X_2 = 0$

จะได้ $X_1 = 0.49$ $(x_1 = 189.8)$

$X_2 = 0.27$ $(x_2 = 1.63)$

ค.2 การหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยวิธีการหาอนุพันธ์ของสมการ solubility สำหรับน้ำลูกเดือยผง

จากสมการ

$$\text{Solubility (\%)} = 60.775 - 3.59X_1 - 1.758X_2 + 0.887X_1X_2 + 2.96X_1^2 + 0.498X_2^2 + 0.325X_1^2X_2 - 1.315X_1X_2^2 + 0.647X_1^2X_2^2$$

เมื่อ $X_1 = (x_1 - 180)/20$

$X_2 = (x_2 - 1.5)/0.5$

เมื่อ x_1 คือ อุณหภูมิลมเข้า ($^{\circ}C$)

x_2 คือ อัตราการป้อนน้ำลูกเดือย (ลิตรต่อชั่วโมง)

ดังนั้น $dY/dX_1 = -3.59 + 0.887X_2 + 5.92X_1 + 0.65X_1X_2 - 1.315X_2^2 + 1.294X_1X_2^2 = 0$

$$dY/dX_2 = -1.758 + 0.887X_1 + 0.996X_2 + 0.325X_1^2 - 2.63X_1X_2 + 1.297X_1^2X_2 = 0$$

จะได้ $X_1 = 0.56$ $(x_1 = 191.2)$

$X_2 = 0.25$ $(x_2 = 1.63)$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.3 การหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยวิธีการหาอนุพันธ์ของสมการ wettability สำหรับน้ำลูกเดือยผง

จากสมการ

$$\text{Wettability (min)} = 2.38 - 6.06X_1 - 1.83X_2 + 4.375X_1X_2 + 9.375X_1^2 + 2.12X_2^2 - 3.227X_1^2X_2 + 1.25X_1X_2^2 - 3.883X_1^2X_2^2$$

เมื่อ $X_1 = (x_1 - 180)/20$

$X_2 = (x_2 - 1.5)/0.5$

เมื่อ x_1 คือ อุณหภูมิลมเข้า ($^{\circ}C$)

x_2 คือ อัตราการป้อนน้ำลูกเดือย (ลิตรต่อชั่วโมง)

ดังนั้น $dY/dX_1 = -6.06 + 4.375X_2 + 18.75X_1 - 6.454X_1X_2 + 1.25X_2^2 - 7.766X_1X_2^2 = 0$

$dY/dX_2 = -1.83 + 4.375X_1 + 4.24X_2 - 3.227X_1^2 + 2.5X_1X_2 - 7.766X_1^2X_2 = 0$

จะได้ $X_1 = 0.27$ $(x_1 = 185.5)$

$X_2 = 0.42$ $(x_2 = 1.71)$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ง.1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำลูกเดือยผง

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

ตัวอย่างทดสอบ น้ำลูกเดือยผง

คำแนะนำ โปรดทดสอบตัวอย่างต่อไปนี้ พร้อมทั้งใส่เครื่องหมาย √ ลงบนระดับความชอบตัวอย่างที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง ....

	รสชาติ	ความชอบโดยรวม	รสชาติ	ความชอบโดยรวม	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
(9)ชอบมากที่สุด	……..	…….	……..	…….	……..	…….
(8)ชอบมาก	……..	…….	……..	…….	……..	…….
(7)ชอบปานกลาง	……..	…….	……..	…….	……..	…….
(6)ชอบน้อย	……..	…….	……..	…….	……..	…….
(5)เฉยๆ	……..	…….	……..	…….	……..	…….
(4)ไม่ชอบเล็กน้อย	……..	…….	……..	…….	……..	…….
(3)ไม่ชอบปานกลาง	……..	…….	……..	…….	……..	…….
(2)ไม่ชอบมาก	……..	…….	……..	…….	……..	…….
(1)ไม่ชอบมากที่สุด	……..	…….	……..	…….	……..	…….

ข้อเสนอแนะ.....

ขอบคุณค่ะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มลูกเดือยผง

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

ตัวอย่างทดสอบ เครื่องดื่มลูกเดือยผง

คำชี้แจง โปรดประเมินตัวอย่างต่อไปนี้ด้านสีและกลิ่น และทำเครื่องหมาย √ เพื่อแสดงระดับการประเมินตัวอย่าง พร้อมทั้งระบุว่าตัวอย่างยังเป็นที่ยอมรับหรือไม่

<u>สี</u>

	รหัสตัวอย่าง			
	.....	.....	.....	.....
(5) สีขาว	.....	.....	.....	.....
(4) สีขาวปนเหลือง	.....	.....	.....	.....
(3) สีเหลือง	.....	.....	.....	.....
(2) สีเหลืองเข้มค่อนข้างมาก	.....	.....	.....	.....
(1) สีเหลืองเข้มมาก	.....	.....	.....	.....

<u>กลิ่นผิดปกติ</u> (หมายถึง กลิ่นหืน กลิ่นอับ หรือกลิ่นแปลกปลอมที่สามารถรับรู้ได้)

	รหัสตัวอย่าง			
	.....	.....	.....	.....
(5) ไม่พบกลิ่นผิดปกติ	.....	.....	.....	.....
(4) กลิ่นผิดปกติเล็กน้อย	.....	.....	.....	.....
(3) กลิ่นผิดปกติปานกลาง	.....	.....	.....	.....
(2) กลิ่นผิดปกติค่อนข้างมาก	.....	.....	.....	.....
(1) กลิ่นผิดปกติมาก	.....	.....	.....	.....

<u>การยอมรับโดยรวม</u>

	รหัสตัวอย่าง			
	.....	.....	.....	.....
	☐ ยอมรับ	☐ ยอมรับ	☐ ยอมรับ	☐ ยอมรับ
	☐ ไม่ยอมรับ	☐ ไม่ยอมรับ	☐ ไม่ยอมรับ	☐ ไม่ยอมรับ

ข้อเสนอแนะ.....

ขอบคุณค่ะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ
ตารางผลการทดลองอายุการเก็บของเครื่องดื่มลูกเดือยผง

ตารางที่ จ.1 สมบัติต่างๆ ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) เป็นเวลา 9 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	a_w	ความชื้น (%)	ค่าสี			Solubility (%)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)^{ns}
			L	a	b		
0	0.380^{e}±0.002	2.82^{c}±0.12	93.76^{a}±0.13	-0.08^{c}±0.01	5.58^{f}±0.02	73.59^{a}±0.11	$1.25x10^{4}$
1	0.389^{d}±0.006	2.82^{c}±0.01	93.06^{b}±0.13	-0.07^{c}±0.01	5.59^{ef}±0.05	72.85^{a}±0.47	$1.00x10^{4}$
2	0.390^{d}±0.001	2.89^{bc}±0.01	93.05^{b}±0.06	-0.07^{c}±0.01	5.67^{def}±0.04	71.38^{b}±0.24	$1.50x10^{4}$
3	0.398^{c}±0.001	2.89^{bc}±0.03	92.78^{bc}±0.24	-0.01^{bc}±0.01	5.73^{cde}±0.04	68.35^{c}±0.59	$1.50x10^{4}$
4	0.401^{c}±0.001	2.89^{bc}±0.02	92.66^{cd}±0.01	0.07^{b}±0.01	5.75^{cd}±0.08	67.37^{cd}±0.19	$1.50x10^{4}$
5	0.403^{c}±0.003	2.91^{bc}±0.01	92.62^{cd}±0.13	0.30^{a}±0.10	5.79^{bcd}±0.13	66.42^{d}±0.49	$1.00x10^{4}$
6	0.407^{b}±0.001	2.93^{abc}±0.01	92.37^{de}±0.25	0.34^{a}±0.06	5.84^{abc}±0.02	63.09^{e}±1.05	$1.25x10^{4}$
7	0.408^{ab}±0.001	2.93^{abc}±0.01	92.19^{ef}±0.20	0.35^{a}±0.05	5.84^{abc}±0.01	61.63^{f}±0.53	$1.75x10^{4}$
8	0.410^{ab}±0.001	2.97^{ab}±0.04	91.97^{ef}±0.00	0.38^{a}±0.02	5.93^{ab}±0.16	59.91^{g}±0.29	$1.50x10^{4}$
9	0.412^{a}±0.001	3.03^{a}±0.06	92.00^{f}±0.20	0.39^{a}±0.03	5.94^{a}±0.85	59.12^{g}±0.30	$1.75x10^{4}$

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.2 สมบัติต่างๆ ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 9 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	a_w	ความชื้น (%)	ค่าสี			Solubility (%)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)^{ns}
			L	a	b^{ns}		
0	0.380^{c}±0.002	2.82^{b}±0.12	93.76^{a}±0.13	-0.08^{d}±0.01	5.58±0.02	73.59^{a}±0.11	1.25x10^{4}
1	0.393^{b}±0.007	2.83^{b}±0.06	93.44^{a}±0.06	-0.05^{d}±0.03	5.58±0.25	72.50^{b}±0.11	1.25x10^{4}
2	0.395^{b}±0.003	2.83^{b}±0.04	92.89^{b}±0.14	-0.06^{d}±0.02	5.60±0.08	70.99^{c}±0.01	1.75x10^{4}
3	0.395^{b}±0.008	2.89^{ab}±0.03	92.82^{b}±0.11	0.18^{c}±0.02	5.61±0.23	67.97^{d}±0.23	1.75x10^{4}
4	0.396^{b}±0.006	2.89^{ab}±0.04	92.13^{c}±0.04	0.13^{c}±0.02	5.70±0.23	66.29^{e}±0.01	1.25x10^{4}
5	0.407^{a}±0.005	2.90^{ab}±0.03	92.21^{c}±0.47	0.57^{a}±0.03	5.79±0.06	65.94^{e}±0.30	1.50x10^{4}
6	0.409^{a}±0.001	2.92^{ab}±0.04	92.05^{c}±0.13	0.45^{b}±0.01	5.84±0.08	62.74^{f}±0.05	1.50x10^{4}
7	0.410^{a}±0.001	2.95^{ab}±0.01	91.98^{c}±0.07	0.43^{b}±0.03	5.89±0.04	61.79^{g}±0.91	1.75x10^{4}
8	0.411^{a}±0.001	3.00^{a}±0.02	91.92^{c}±0.00	0.42^{b}±0.04	5.97±0.02	59.88^{h}±0.42	1.75x10^{4}
9	0.412^{a}±0.001	3.00^{a}±0.05	91.87^{c}±0.34	0.55^{a}±0.03	6.00±0.13	58.78^{i}±0.31	1.75x10^{4}

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.3 สมบัติต่างๆ ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 63 วัน

วันที่	a_w	ความชื้น (%)^{ns}	ค่าสี			Solubility (%)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)^{ns}
			L	a	b		
0	$0.380^{j}\pm0.002$	2.82 ± 0.12	$93.76^{a}\pm0.13$	$-0.08^{k}\pm0.04$	$5.57^{n}\pm0.02$	$73.59^{a}\pm0.11$	1.25×10^{4}
6	$0.380^{j}\pm0.001$	2.91 ± 0.01	$93.59^{a}\pm0.56$	$0.06^{j}\pm0.03$	$5.58^{n}\pm0.11$	$72.94^{ab}\pm0.29$	1.25×10^{4}
9	$0.382^{hi}\pm0.002$	2.89 ± 0.03	$92.82^{b}\pm0.08$	$0.16^{hi}\pm0.04$	$5.61^{mn}\pm0.04$	$72.76^{ab}\pm0.17$	1.25×10^{4}
12	$0.384^{ghi}\pm0.002$	2.91 ± 0.06	$92.66^{bc}\pm0.11$	$0.21^{ghi}\pm0.05$	$5.67^{mn}\pm0.01$	$71.70^{b}\pm0.31$	1.50×10^{4}
15	$0.385^{ghi}\pm0.002$	2.89 ± 0.04	$92.60^{bcd}\pm0.15$	$0.12^{ij}\pm0.11$	$5.77^{lm}\pm0.04$	$71.79^{b}\pm0.64$	1.25×10^{4}
18	$0.385^{fghi}\pm0.004$	2.91 ± 0.03	$92.59^{bcd}\pm0.11$	$0.23^{gh}\pm0.01$	$5.87^{kl}\pm0.01$	$69.45^{c}\pm0.23$	1.50×10^{4}
21	$0.387^{efgh}\pm0.001$	2.90 ± 0.02	$92.52^{bcde}\pm0.06$	$0.23^{gh}\pm0.01$	$5.94^{jk}\pm0.20$	$67.08^{d}\pm0.15$	1.25×10^{4}
24	$0.388^{defg}\pm0.001$	2.89 ± 0.03	$92.45^{cdef}\pm0.06$	$0.28^{fg}\pm0.03$	$6.02^{jk}\pm0.10$	$66.38^{d}\pm0.64$	1.50×10^{4}
27	$0.389^{defg}\pm0.001$	2.88 ± 0.01	$92.42^{cdef}\pm0.01$	$0.28^{fg}\pm0.03$	$6.11^{ij}\pm0.02$	$65.09^{e}\pm0.31$	1.75×10^{4}
30	$0.389^{cdefg}\pm0.002$	2.90 ± 0.04	$92.35^{cdefg}\pm0.00$	$0.33^{f}\pm0.03$	$6.19^{hi}\pm0.14$	$63.18^{f}\pm0.56$	1.75×10^{4}

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.3 (ต่อ) สมบัติต่างๆ ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 63 วัน

วันที่	a_w	ความชื้น (%)	ค่าสี			Solubility (%)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)^{ns}
			L	a	b		
33	$0.390^{bcdefg}\pm0.001$	$2.90^{ab}\pm0.02$	$92.30^{defg}\pm0.42$	$0.43^{e}\pm0.01$	$6.26^{hi}\pm0.08$	$62.15^{fg}\pm0.68$	$1.75x10^{4}$
36	$0.391^{abcdef}\pm0.007$	$2.90^{ab}\pm0.01$	$92.22^{efgh}\pm0.08$	$0.61^{cd}\pm0.05$	$6.34^{gh}\pm0.00$	$60.95^{gh}\pm0.10$	$1.75x10^{4}$
39	$0.391^{abcdef}\pm0.001$	$2.91^{ab}\pm0.01$	$92.18^{efghi}\pm0.16$	$0.60^{d}\pm0.04$	$6.47^{fg}\pm0.10$	$61.44^{gh}\pm0.50$	$2.00x10^{4}$
42	$0.393^{abcde}\pm0.001$	$2.90^{ab}\pm0.04$	$92.11^{fghij}\pm0.18$	$0.64^{bcd}\pm0.00$	$6.52^{ef}\pm0.08$	$60.30^{h}\pm0.22$	$1.75x10^{4}$
45	$0.393^{abcde}\pm0.001$	$2.94^{ab}\pm0.01$	$92.02^{ghijk}\pm0.01$	$0.68^{bcd}\pm0.01$	$6.60^{def}\pm0.11$	$59.00^{i}\pm0.25$	$1.75x10^{4}$
48	$0.394^{abcd}\pm0.001$	$2.95^{a}\pm0.06$	$91.94^{hijkl}\pm0.04$	$0.67^{bcd}\pm0.06$	$6.69^{cde}\pm0.11$	$58.40^{i}\pm1.00$	$1.75x10^{4}$
51	$0.395^{abc}\pm0.001$	$2.96^{a}\pm0.09$	$91.86^{ijklm}\pm0.02$	$0.68^{bcd}\pm0.01$	$6.75^{bcd}\pm0.04$	$57.96^{i}\pm1.76$	$1.75x10^{4}$
54	$0.395^{abc}\pm0.003$	$2.96^{a}\pm0.02$	$91.78^{jklm}\pm0.01$	$0.72^{ab}\pm0.02$	$6.82^{bc}\pm0.00$	$56.32^{j}\pm0.09$	$1.75x10^{4}$
57	$0.395^{abc}\pm0.002$	$2.98^{a}\pm0.13$	$91.72^{klm}\pm0.07$	$0.71^{bc}\pm0.02$	$6.92^{ab}\pm0.03$	$54.42^{k}\pm0.76$	$2.00x10^{4}$
60	$0.396^{ab}\pm0.001$	$2.98^{a}\pm0.01$	$91.61^{lm}\pm0.01$	$0.72^{ab}\pm0.01$	$7.01^{a}\pm0.00$	$53.52^{k}\pm0.15$	$1.50x10^{4}$
63	$0.397^{a}\pm0.004$	$3.01^{a}\pm0.04$	$91.53^{m}\pm0.01$	$0.81^{a}\pm0.10$	$7.09^{a}\pm0.03$	$50.65^{l}\pm0.63$	$1.75x10^{4}$

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ จ.4 สมบัติต่างๆ ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 63 วัน

วันที่	a_w	ความชื้น (%)	ค่าสี			Solubility (%)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)^{ns}
			L	a	b		
0	$0.380^{e}\pm0.002$	$2.82^{f}\pm0.12$	$93.76^{a}\pm0.13$	$-0.08^{g}\pm0.01$	$5.58^{t}\pm0.02$	$73.59^{a}\pm0.11$	$1.25x10^{4}$
6	$0.381^{e}\pm0.001$	$2.86^{ef}\pm0.01$	$93.47^{b}\pm0.56$	$0.17^{f}\pm0.01$	$6.65^{s}\pm0.11$	$72.80^{ab}\pm0.29$	$1.50x10^{4}$
9	$0.390^{d}\pm0.004$	$2.87^{def}\pm0.03$	$92.50^{c}\pm0.08$	$0.20^{ef}\pm0.02$	$7.15^{r}\pm0.04$	$72.61^{abc}\pm0.17$	$1.75x10^{4}$
12	$0.390^{d}\pm0.006$	$2.87^{cdef}\pm0.02$	$92.38^{cd}\pm0.11$	$0.20^{ef}\pm0.02$	$7.65^{q}\pm0.01$	$71.80^{bc}\pm0.31$	$1.25x10^{4}$
15	$0.391^{cd}\pm0.005$	$2.88^{bcdef}\pm0.04$	$92.15^{de}\pm0.15$	$0.26^{ef}\pm0.01$	$8.15^{p}\pm0.04$	$71.29^{c}\pm0.64$	$1.75x10^{4}$
18	$0.392^{cd}\pm0.003$	$2.87^{cdef}\pm0.03$	$91.97^{ef}\pm0.11$	$0.28^{ef}\pm0.01$	$8.67^{o}\pm0.01$	$69.42^{d}\pm0.23$	$1.75x10^{4}$
21	$0.393^{cd}\pm0.002$	$2.88^{bcdef}\pm0.03$	$91.77^{f}\pm0.06$	$0.29^{ef}\pm0.05$	$9.33^{n}\pm0.20$	$62.13^{e}\pm0.15$	$1.75x10^{4}$
24	$0.394^{bcd}\pm0.002$	$2.89^{bcdef}\pm0.01$	$91.29^{g}\pm0.06$	$0.30^{e}\pm0.05$	$9.80^{m}\pm0.10$	$60.12^{f}\pm0.64$	$1.75x10^{4}$
27	$0.394^{bcd}\pm0.001$	$2.89^{bcdef}\pm0.01$	$91.04^{h}\pm0.01$	$0.27^{ef}\pm0.08$	$10.22^{l}\pm0.02$	$60.08^{f}\pm0.31$	$1.75x10^{4}$
30	$0.394^{bcd}\pm0.001$	$2.90^{bcdef}\pm0.04$	$90.90^{hi}\pm0.00$	$0.43^{d}\pm0.01$	$10.72^{k}\pm0.14$	$60.24^{f}\pm0.56$	$1.75x10^{4}$

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.4 (ต่อ) สมบัติต่างๆ ของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 63 วัน

วันที่	a_w	ความชื้น (%)	ค่าสี			Solubility (%)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)^{ns}
			L	a	b		
33	$0.394^{bcd}\pm0.001$	$2.89^{bcdef}\pm0.02$	$90.75^{ij}\pm0.42$	$0.78^{c}\pm0.03$	$11.10^{j}\pm0.08$	$59.56^{f}\pm0.68$	$1.75x10^{4}$
36	$0.395^{bcd}\pm0.001$	$2.89^{bcdef}\pm0.01$	$90.60^{ik}\pm0.08$	$1.08^{a}\pm0.01$	$11.51^{i}\pm0.00$	$59.26^{f}\pm0.10$	$1.75x10^{4}$
39	$0.395^{abcd}\pm0.003$	$2.90^{bcdef}\pm0.06$	$90.40^{kl}\pm0.16$	$0.93^{b}\pm0.08$	$11.95^{h}\pm0.10$	$59.17^{f}\pm0.50$	$2.00x10^{4}$
42	$0.395^{abcd}\pm0.006$	$2.91^{bcdef}\pm0.04$	$90.25^{lm}\pm0.18$	$1.01^{ab}\pm0.13$	$12.29^{g}\pm0.08$	$57.15^{g}\pm0.22$	$2.25x10^{4}$
45	$0.395^{abcd}\pm0.001$	$2.95^{abcde}\pm0.06$	$90.17^{lm}\pm0.01$	$0.98^{ab}\pm0.02$	$12.70^{f}\pm0.11$	$56.74^{g}\pm0.25$	$1.75x10^{4}$
48	$0.395^{abcd}\pm0.001$	$2.95^{abcde}\pm0.02$	$90.04^{mn}\pm0.04$	$0.98^{ab}\pm0.01$	$13.08^{e}\pm0.11$	$57.56^{g}\pm1.00$	$2.00x10^{4}$
51	$0.398^{abc}\pm0.001$	$2.96^{abcde}\pm0.09$	$89.90^{no}\pm0.02$	$0.97^{ab}\pm0.01$	$13.50^{d}\pm0.04$	$56.16^{g}\pm1.76$	$2.25x10^{4}$
54	$0.398^{abc}\pm0.004$	$2.97^{abcd}\pm0.01$	$89.78^{op}\pm0.01$	$0.97^{ab}\pm0.01$	$13.88^{c}\pm0.00$	$54.63^{h}\pm0.09$	$2.25x10^{4}$
57	$0.398^{abc}\pm0.004$	$2.98^{abc}\pm0.13$	$89.64^{pq}\pm0.07$	$0.99^{ab}\pm0.03$	$14.09^{bc}\pm0.03$	$53.79^{h}\pm0.76$	$2.25x10^{4}$
60	$0.401^{ab}\pm0.005$	$2.98^{abc}\pm0.01$	$89.52^{qr}\pm0.01$	$0.99^{ab}\pm0.01$	$14.31^{b}\pm0.00$	$51.18^{i}\pm0.15$	$2.25x10^{4}$
63	$0.403^{a}\pm0.001$	$3.04^{a}\pm0.04$	$89.38^{r}\pm0.01$	$1.00^{ab}\pm0.02$	$14.65^{a}\pm0.03$	$48.89^{j}\pm0.63$	$1.75x10^{4}$

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ จ.5 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28+2°C) เป็นเวลา 9 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	คะแนนการทดสอบทางประสัมผัสด้าน	
	สี	กลิ่น
0	$4.96^{a}\pm0.20$	$4.96^{a}\pm0.20$
1	$4.96^{a}\pm0.20$	$4.80^{ab}\pm0.40$
2	$4.92^{a}\pm0.34$	$4.68^{abc}\pm0.51$
3	$4.88^{ab}\pm0.33$	$4.60^{bc}\pm0.57$
4	$4.78^{ab}\pm0.42$	$4.46^{cd}\pm0.73$
5	$4.66^{b}\pm0.52$	$4.30^{de}\pm0.81$
6	$4.36^{c}\pm0.72$	$4.26^{de}\pm0.85$
7	$4.28^{cd}\pm0.70$	$4.24^{de}\pm0.92$
8	$4.20^{cd}\pm0.76$	$4.16^{de}\pm0.77$
9	$4.08^{d}\pm0.83$	$4.08^{e}\pm0.94$

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

หมายเหตุ: ช่วงคะแนนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสเท่ากับ 1-5 โดย 1 = สีเหลืองเข้มมาก/กลิ่นผิดปกติมาก และ 5 = สีขาว/ไม่พบกลิ่นผิดปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.6 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ 35°C เป็นเวลา 9 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	คะแนนการทดสอบทางประสัมผัส	
	สี	กลิ่น
0	$4.96^{a}\pm0.20$	$4.94^{a}\pm0.24$
1	$4.92^{a}\pm0.27$	$4.90^{a}\pm0.30$
2	$4.84^{ab}\pm0.37$	$4.80^{a}\pm0.45$
3	$4.58^{bc}\pm0.54$	$4.78^{a}\pm0.42$
4	$4.44^{dc}\pm0.73$	$4.70^{a}\pm0.54$
5	$4.24^{de}\pm0.69$	$4.42^{b}\pm0.64$
6	$4.18^{de}\pm0.77$	$4.24^{bc}\pm0.80$
7	$4.10^{e}\pm0.84$	$4.14^{cd}\pm0.83$
8	$4.06^{e}\pm0.91$	$4.10^{cd}\pm0.84$
9	$4.00^{e}\pm0.93$	$3.96^{d}\pm0.86$

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

หมายเหตุ: ช่วงคะแนนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสเท่ากับ 1-5 โดย 1 = สีเหลืองเข้มมาก/กลิ่นผิดปกติมาก และ 5 = สีขาว/ไม่พบกลิ่นผิดปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.7 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ 45°C เป็นเวลา 63 วัน

วันที่	สี	กลิ่น
0	$4.96^{a}\pm0.20$	$4.92^{a}\pm0.27$
6	$4.92^{ab}\pm0.27$	$4.90^{a}\pm0.30$
9	$4.74^{abc}\pm0.53$	$4.84^{ab}\pm0.37$
12	$4.68^{abc}\pm0.74$	$4.80^{ab}\pm0.45$
15	$4.62^{cd}\pm0.64$	$4.70^{abc}\pm0.54$
18	$4.58^{bcd}\pm0.67$	$4.56^{bcd}\pm0.67$
21	$4.46^{cde}\pm0.79$	$4.48^{cde}\pm0.58$
24	$4.42^{cdef}\pm0.73$	$4.40^{def}\pm0.70$
27	$4.32^{defg}\pm0.98$	$4.32^{defg}\pm0.79$
30	$4.22^{efgh}\pm1.02$	$4.22^{efgh}\pm0.84$
33	$4.16^{efghi}\pm0.91$	$4.20^{efgh}\pm0.78$
36	$4.12^{efghi}\pm1.02$	$4.14^{fgh}\pm0.81$
39	$4.08^{fghi}\pm0.75$	$4.08^{ghi}\pm0.72$
42	$4.00^{ghij}\pm0.64$	$4.02^{ghi}\pm0.77$
45	$3.94^{hijk}\pm0.74$	$3.94^{hi}\pm0.74$
48	$3.88^{hijkl}\pm0.82$	$3.80^{ij}\pm0.81$
51	$3.84^{ijklm}\pm1.02$	$3.56^{j}\pm0.84$
54	$3.72^{jklm}\pm0.93$	$3.26^{k}\pm0.85$
57	$3.64^{klm}\pm1.01$	$3.20^{kl}\pm0.78$
60	$3.56^{lm}\pm1.01$	$3.06^{kl}\pm0.82$
63	$3.52^{m}\pm0.81$	$2.96^{l}\pm0.73$

a, b, c..... หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

หมายเหตุ: ช่วงคะแนนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสเท่ากับ 1-5 โดย 1 = สีเหลืองเข้มมาก/กลิ่นผิดปกติมาก และ 5 = สีขาว/ไม่พบกลิ่นผิดปกติ

ตารางที่ จ.8 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่นของเครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บไว้ที่ 55°C เป็นเวลา 63 วัน

วันที่	สี	กลิ่น
0	$4.96^{a}\pm0.20$	$4.92^{a}\pm0.27$
6	$4.54^{b}\pm0.58$	$4.88^{a}\pm0.33$
9	$4.30^{bc}\pm0.86$	$4.72^{ab}\pm0.45$
12	$4.12^{cd}\pm0.72$	$4.58^{abc}\pm0.54$
15	$4.08^{cd}\pm0.88$	$4.46^{bcd}\pm0.68$
18	$4.04^{cd}\pm0.88$	$4.26^{cde}\pm0.80$
21	$3.76^{de}\pm1.38$	$4.12^{def}\pm0.75$
24	$3.64^{ef}\pm1.01$	$4.02^{ef}\pm0.87$
27	$3.46^{efg}\pm0.79$	$3.86^{fg}\pm0.90$
30	$3.30^{fgh}\pm0.86$	$3.62^{gh}\pm0.99$
33	$3.22^{ghi}\pm0.86$	$3.58^{ghi}\pm1.09$
36	$3.20^{ghi}\pm0.76$	$3.50^{ghij}\pm0.89$
39	$3.14^{ghi}\pm0.70$	$3.40^{hijk}\pm0.93$
42	$3.10^{ghij}\pm1.04$	$3.30^{hijkl}\pm1.25$
45	$2.98^{hijk}\pm0.71$	$3.22^{ijklm}\pm1.04$
48	$2.88^{ijk}\pm0.94$	$3.12^{jklm}\pm1.21$
51	$2.74^{jkl}\pm0.88$	$3.08^{klmn}\pm1.18$
54	$2.64^{kl}\pm0.96$	$2.98^{lmn}\pm1.00$
57	$2.46^{lm}\pm0.89$	$2.86^{mn}\pm0.93$
60	$2.20^{mn}\pm0.83$	$2.72^{no}\pm0.83$
63	$1.92^{n}\pm0.72$	$2.48^{o}\pm0.86$

a, b, c…… หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

หมายเหตุ: ช่วงคะแนนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสเท่ากับ 1-5 โดย 1 = สีเหลืองเข้มมาก/กลิ่นผิดปกติมาก และ 5 = สีขาว/ไม่พบกลิ่นผิดปกติ

ตารางที่ จ.9 จำนวนผู้ทดสอบที่ยอมรับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) และ 35°C เป็นเวลา 9 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	อุณหภูมิห้อง (28±2°C)		35°C	
	ยอมรับ	ไม่ยอมรับ	ยอมรับ	ไม่ยอมรับ
0	25	0	25	0
1	25	0	25	0
2	25	0	25	0
3	25	0	25	0
4	25	0	25	0
5	23	2	25	0
6	22	3	23	2
7	20	5	24	1
8	22	3	23	2
9	22	3	22	3

หมายเหตุ: จากตาราง Two-sample analysis จำนวนคนน้อยที่สุดที่ยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เท่ากับ 18 คน (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.10 จำนวนผู้ทดสอบที่ยอมรับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลูกเดือยผงที่เก็บที่อุณหภูมิ 45°C และ 55°C เป็นเวลา 63 วัน

วันที่	45°C		55°C	
	ยอมรับ	ไม่ยอมรับ	ยอมรับ	ไม่ยอมรับ
0	25	0	25	0
6	25	0	25	0
9	25	0	25	0
12	25	0	21	4
15	25	0	18	7
18	25	0	18	7
21	25	0	18	7
24	23	2	17	8
27	21	4	15	10
30	22	3	9	16
33	19	6	11	14
36	20	5	12	13
39	21	4	7	18
42	19	6	7	18
45	21	4	8	17
48	15	10	11	14
51	16	9	11	14
54	15	10	6	19
57	9	16	2	23
60	11	14	1	24
63	9	16	2	23

หมายเหตุ: จากตาราง Two-sample analysis จำนวนคนน้อยที่สุดที่ยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เท่ากับ 18 คน (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2547)

ภาคผนวก ฉ

การคำนวณอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์น้ำลูกเดือยผง

จากสมการ

$$Q_{10} = \frac{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T^{\circ}C}{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } (T+10)^{\circ}C}$$

จะได้

$$Q_{10} = \frac{\text{อายุการเก็บที่ได้จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวมที่ } 45^{\circ}C}{\text{อายุการเก็บที่ได้จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวมที่ } 55^{\circ}C}$$

$$= 45/21$$

$$= 2.14$$

และจากสมการ

$$Q_{10}^{(\Delta/10)} = \frac{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T_2\ ^{\circ}C}{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T_1\ ^{\circ}C}$$

เมื่อ Δ คือ ผลต่างของอุณหภูมิ 45°C (T_1) กับอุณหภูมิที่ต้องการทราบอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ (T_2) จะได้

$$\text{อายุการเก็บที่ } T_2 = 2.14^{(45-T2)/10} \times T_1$$

$$\text{ดังนั้นอายุการเก็บที่อุณหภูมิ } 30^{\circ}C = 2.14^{(45-30)/10} \times 45$$

$$= 140.87 \text{วัน}$$

$$\approx 141 \text{ วัน (20 สัปดาห์)}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวภัทรี ทิพยรักษ์ เกิดเมื่อวันที่ 8 มิถุนายน 2525 ที่จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2546

ผลงานวิจัย

นำเสนองานวิจัย เรื่อง ผลของการเตรียมน้ำลูกเดือยและปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินต่อคุณภาพของน้ำลูกเดือยผง (EFFECT OF PREPARATION AND MALTODEXTRIN CONTENT ON SPRAY-DRIED JOB'S TEARS DRINK POWDER QUALITIES) ในงานการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 (วทท.32) ระหว่างวันที่ 10-12 ตุลาคม 2549 ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิตติ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย