



การผลิตฟักทอง เผือก และถั่วแดงผง และการนำไปใช้ประโยชน์  
ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ

วิศรุต สุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

ชื่อเรื่อง

การผลิตฟักทอง เมื่อก และถั่วแดงผง และการนำไปใช้ประโยชน์

ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ

โดย

วิศรุต สุวรรณ

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรมา อรรถนิตย์)

วันที่ 16 เดือน ต.ค. พ.ศ. 2555

กรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธยา พิมพ์พิไล)

วันที่ 16 เดือน ต.ค. พ.ศ. 2555

กรรมการที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.ฉวีวรรณ พันธุ์ไชยศรี)

วันที่ 16 เดือน ต.ค. พ.ศ. 2555

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร

(อาจารย์ ดร.ฉวีวรรณ พันธุ์ไชยศรี)

วันที่ 16 เดือน ต.ค. พ.ศ. 2555

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จาดุพงศ์ วาทุทธิ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 16 เดือน ต.ค. พ.ศ. 2555

|                        |                                                                           |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อเรื่อง             | การผลิตฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผง และการนำไปใช้ประโยชน์<br>ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ |
| ชื่อผู้เขียน           | นายวิสูตร สุวรรณ                                                          |
| ชื่อปริญญา             | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร                             |
| ประธานกรรมการที่ปรึกษา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรพกา อรรถนิตย์                                    |

### บทคัดย่อ

ศึกษาผลของวัตถุดิบอาหารและอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผง และการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ขนมอบและไส้ขนม พบว่าการแช่ฟักทอง ในสารละลายกรดซิตริก 0.10 % 40 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °ซ จะได้ฟักทองผงที่มีค่า L\*, b\* ปริมาณเบต้าแคโรทีน สมบัติด้านความหนืด และสมบัติทางหน้าที่สูงสุด การแช่ผีอกในสารละลาย โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.15 % 60 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °ซ จะได้ผีอกผงที่มีค่า L\* ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และสมบัติทางหน้าที่สูงสุด การแช่ถั่วแดงในสารละลาย โซเดียมไบคาร์บอเนต 1.0 % 12 ชั่วโมง แล้วนำไปคั่วสุกในน้ำเดือด 18 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °ซ จะได้ถั่วแดงผงที่มีค่า L\* ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด สมบัติด้านความหนืด และสมบัติทางหน้าที่สูงสุด เมื่อนำฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผงไปใช้ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 0-50 % ในการ ทำขนมปังและเค้กเนย พบว่าการเพิ่มระดับการทดแทนจะทำให้ขนมปังและเค้กเนยมีค่ากิจกรรม ของน้ำและปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น แต่มีค่า L\* และปริมาณจำเพาะลดลง โดยขนมปังและเค้กเนยที่ ทดแทนแป้งสาลีด้วยฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผงที่ระดับ 20 และ 30 % มีคะแนนความชอบ โดยรวมไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ( $p>0.05$ ) เมื่อนำฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผงไปผลิตเป็น ไส้ขนม พบว่าไส้ขนมที่ทำจากฟักทองและผีอกผงที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช มีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ( $p>0.05$ ) ขณะที่ไส้ขนมที่ทำจาก ถั่วแดงผงที่ไม่ผ่านการร่อนจะมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ( $p\leq 0.05$ ) การศึกษาอิทธิพลของชนิดบรรจุภัณฑ์และสภาวะในการบรรจุต่ออายุการเก็บรักษาของฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผง พบว่าการเก็บรักษาฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผงไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และปิดผนึกในสภาวะสุญญากาศ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ มีการเปลี่ยนแปลงค่าสี ค่ากิจกรรมของน้ำ ปริมาณความชื้น เบต้าแคโรทีน และแอนโทไซยานิน ทั้งหมดน้อยที่สุด

|                                       |                                                                                           |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Title</b>                          | Production of Pumpkin, Taro and Red Kidney Bean Powder and Utilization in Bakery Products |
| <b>Author</b>                         | Mr. Witsarut Suwanna                                                                      |
| <b>Degree of</b>                      | Master of Science in Food Technology                                                      |
| <b>Advisory Committee Chairperson</b> | Assistant Professor Dr. Kornpaka Arkanit                                                  |

### ABSTRACT

The effects of various food additives and drying temperature on pumpkin, taro and red kidney bean powder quality and their potential use in bread, butter cake and filling making were investigated. Results indicated that soaking pumpkin in 0.10 % citric acid solution for 40 min and drying at 55 °C gave the highest L\* and b\* values,  $\beta$ -carotene content, pasting and functional properties of pumpkin powder. Meanwhile, soaking taro in 0.15 % potassium metabisulfite solution for 60 min and drying at 65 °C gave the highest L\* value, total anthocyanin content and functional properties of taro powder and soaking red kidney beans in 1.0 % sodium bicarbonate solution for 12 h, then cooking in boiling water for 18 min and drying at 55 °C gave the highest L\* value, total anthocyanin content, pasting and functional properties of red kidney bean powder. Pumpkin, taro and red kidney bean powders were later used to substitute wheat flour at 0-50 % in bread and butter cake making. Results showed that an increase in substitution level increased  $a_w$  and moisture content but decreased L\* value and specific volume of the samples. Substitution of wheat flour by pumpkin, taro and red kidney bean powders at 20 % in bread or 30 % in butter cake had no effect on the overall acceptance scores when compared to control ( $p>0.05$ ). Pumpkin, taro and red kidney bean powders were also used in filling making. It was found that overall acceptance scores of filling prepared by 80 mesh sieved pumpkin and taro powders were not significantly different ( $p>0.05$ ) from control. However, overall acceptance score of filling prepared by non-sieved red kidney bean powder were higher than control ( $p<0.05$ ). In addition, effects of different packaging materials and packaging conditions on the shelf life of pumpkin, taro and red kidney bean powders were investigated. It was found that color values,  $a_w$ , moisture,  $\beta$ -carotene and total anthocyanin contents of samples packed in aluminum foil bag under vacuum were slightly changed when kept at room temperature for 12 weeks.

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรณ อรรณนิตย์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยแก้ไขปัญหาดังๆ ในระหว่างการทำวิจัย ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธยา พิมพ์พิไล และอาจารย์ ดร.ฉวีวรรณ พันธุ์ไชยศรี กรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำในการทำวิจัย และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ในสาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรม และอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ทุกท่าน ที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทความรู้และช่วยผลักดันให้การทำวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในสาขาวิชาทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย และขอขอบคุณ พี่ เพื่อน และน้องในสาขาวิชาทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่เสงี่ยม เกษทอง คุณน้ำ เรณู ไชยฉกรรจ์ พี่สาว น้องสาว และทุกคนในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนการศึกษาและให้กำลังใจที่ดีตลอดมา ขอขอบคุณ คุณศิวดล หาญสัมพันธกุล ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณ คุณปฎิภาณ กุลสมบูรณ์ หัวหน้าฝ่ายวิจัยและพัฒนา บริษัท เอ็มวี ฟู้ด ชัฟฟลาย จำกัด ที่กรุณาให้การสนับสนุนและให้ความร่วมมือในการดำเนินเรื่องเพื่อขอรับทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณทุกคนที่ทำให้ชีวิตระหว่างการเรียนปริญญาโทของข้าพเจ้ามีความสุข และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และบริษัท เอ็มวี ฟู้ด ชัฟฟลาย จำกัด ที่กรุณาให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุนสกว.-อุตสาหกรรม

วิศรุต สุวรรณา

ตุลาคม 2555

## สารบัญ

|                                                             | หน้า |
|-------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อ                                                    | (3)  |
| ABSTRACT                                                    | (4)  |
| กิตติกรรมประกาศ                                             | (5)  |
| สารบัญ                                                      | (6)  |
| สารบัญตาราง                                                 | (8)  |
| สารบัญภาพ                                                   | (11) |
| สารบัญตารางผนวก                                             | (13) |
| สารบัญภาพผนวก                                               | (14) |
| บทที่ 1 บทนำ                                                | 1    |
| ที่มาและความสำคัญของปัญหา                                   | 1    |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย                                     | 2    |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                                   | 2    |
| บทที่ 2 การตรวจเอกสาร                                       | 3    |
| ผักและธัญพืช                                                | 3    |
| การทำแห้ง                                                   | 11   |
| ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้                       | 16   |
| แป้งสาลีและผลิตภัณฑ์ขนมอบ                                   | 27   |
| การใช้แป้งชนิดอื่นทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ             | 31   |
| บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ                                   | 35   |
| อุปกรณ์                                                     | 35   |
| วิธีการ                                                     | 40   |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์                                | 56   |
| การศึกษากระบวนการผลิตฟักทอง เผือก และถั่วแดงผงที่เหมาะสม    | 56   |
| การนำฟักทอง เผือก และถั่วแดงผงไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ |      |
| และไส้ขนม                                                   | 115  |
| การศึกษาอายุการเก็บรักษาของฟักทอง เผือก และถั่วแดงผง        | 157  |

|                                                           | หน้า |
|-----------------------------------------------------------|------|
| บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ                                 | 169  |
| สรุป                                                      | 169  |
| ข้อเสนอแนะ                                                | 170  |
| บรรณานุกรม                                                | 171  |
| ภาคผนวก                                                   | 188  |
| ภาคผนวก ก กระบวนการผลิตฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผงที่เหมาะสม | 189  |
| ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ                     | 193  |
| ภาคผนวก ค การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี                       | 197  |
| ภาคผนวก ง การวิเคราะห์สมบัติทางหน้าที่                    | 207  |
| ภาคผนวก จ การวิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยา                | 209  |
| ภาคผนวก ฉ การทดสอบทางประสาทสัมผัส                         | 214  |
| ภาคผนวก ช ประวัติผู้วิจัย                                 | 217  |

## สารบัญตาราง

| ตาราง                                                                | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| 1 การจำแนกชนิดของฟักทอง                                              | 4    |
| 2 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อฟักทองในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม      | 5    |
| 3 คุณค่าทางโภชนาการของหัวเผือกในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม         | 7    |
| 4 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วแดง 100 กรัม                               | 10   |
| 5 การจำแนกสารยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์         | 21   |
| 6 การจำแนกประเภทของแป้งสาลีและองค์ประกอบที่สำคัญ                     | 27   |
| 7 สูตรขนมปัง                                                         | 45   |
| 8 สูตรเค้กเนย                                                        | 47   |
| 9 สูตรไส้ฟักทอง                                                      | 49   |
| 10 สูตรไส้เผือก                                                      | 51   |
| 11 สูตรไส้ถั่วแดง                                                    | 53   |
| 12 สมบัติทางกายภาพและเคมีของฟักทองผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ | 58   |
| 13 สมบัติด้านความหนืดของฟักทองผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ     | 60   |
| 14 สมบัติทางหน้าที่ของฟักทองผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ       | 73   |
| 15 สมบัติทางกายภาพและเคมีของฟักทองผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ       | 66   |
| 16 สมบัติด้านความหนืดของฟักทองผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ           | 78   |
| 17 สมบัติทางหน้าที่ของฟักทองผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ             | 70   |
| 18 สมบัติทางกายภาพและเคมีของเผือกผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ  | 74   |
| 19 สมบัติด้านความหนืดของเผือกผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ      | 76   |
| 20 สมบัติทางหน้าที่ของเผือกผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ        | 79   |
| 21 สมบัติทางกายภาพและเคมีของเผือกผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ        | 82   |
| 22 สมบัติด้านความหนืดของเผือกผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ            | 84   |
| 23 สมบัติทางหน้าที่ของเผือกผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ              | 86   |
| 24 ผลของการแช่ถั่วแดงในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่างๆ | 88   |
| 25 สมบัติทางกายภาพและเคมีของถั่วแดงผงที่เตรียมด้วยวิธีต่างๆ          | 90   |
| 26 สมบัติด้านความหนืดของถั่วแดงผงที่เตรียมด้วยวิธีต่างๆ              | 92   |
| 27 สมบัติทางหน้าที่ของถั่วแดงผงที่เตรียมด้วยวิธีต่างๆ                | 95   |



| ตาราง                                                                  | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------|------|
| 28 สมบัติทางกายภาพและเคมีของถั่วแดงผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ        | 97   |
| 29 สมบัติด้านความหนืดของถั่วแดงผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ            | 99   |
| 30 สมบัติทางหน้าที่ของถั่วแดงผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ              | 101  |
| 31 สมบัติทางกายภาพของตัวอย่างผงและแป้งสาลี                             | 103  |
| 32 สมบัติทางเคมีของตัวอย่างผงและแป้งสาลี                               | 106  |
| 33 สมบัติด้านความหนืดของตัวอย่างผงและแป้งสาลี                          | 109  |
| 34 สมบัติทางหน้าที่ของตัวอย่างผงและแป้งสาลี                            | 114  |
| 35 สมบัติทางกายภาพและเคมีของขนมปังที่ใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลี          | 117  |
| 36 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลี               | 118  |
| 37 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลี   | 119  |
| 38 สมบัติทางกายภาพและเคมีของขนมปังที่ใช้เผือกผงทดแทนแป้งสาลี           | 121  |
| 39 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ใช้เผือกผงทดแทนแป้งสาลี                | 122  |
| 40 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ใช้เผือกผงทดแทนแป้งสาลี    | 123  |
| 41 สมบัติทางกายภาพและเคมีของขนมปังที่ใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลี         | 125  |
| 42 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลี              | 126  |
| 43 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลี  | 127  |
| 44 สมบัติทางกายภาพและเคมีของเค้กเนยที่ใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลี         | 129  |
| 45 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กเนยที่ใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลี              | 130  |
| 46 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเค้กเนยที่ใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลี  | 131  |
| 47 สมบัติทางกายภาพและเคมีของเค้กเนยที่ใช้เผือกผงทดแทนแป้งสาลี          | 133  |
| 48 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กเนยที่ใช้เผือกผงทดแทนแป้งสาลี               | 134  |
| 49 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเค้กเนยที่ใช้เผือกผงทดแทนแป้งสาลี   | 135  |
| 50 สมบัติทางกายภาพและเคมีของเค้กเนยที่ใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลี        | 137  |
| 51 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กเนยที่ใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลี             | 138  |
| 52 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเค้กเนยที่ใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลี | 139  |
| 53 สมบัติทางกายภาพและเคมีของไส้ฟักทอง 4 สูตร                           | 142  |
| 54 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้ฟักทอง 4 สูตร                                | 143  |
| 55 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้ฟักทอง 4 สูตร                    | 144  |
| 56 สมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ไส้ฟักทอง                         | 145  |

| ตาราง                                                     | หน้า |
|-----------------------------------------------------------|------|
| 57 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้ฟักทอง                 | 145  |
| 58 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของของผลิตภัณฑ์ไส้ฟักทอง  | 146  |
| 59 สมบัติทางกายภาพและเคมีของไส้เผือก 4 สูตร               | 147  |
| 60 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้เผือก 4 สูตร                    | 148  |
| 61 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้เผือก 4 สูตร        | 149  |
| 62 สมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ไส้เผือก             | 150  |
| 63 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้เผือก                  | 150  |
| 64 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของของผลิตภัณฑ์ไส้เผือก   | 151  |
| 65 สมบัติทางกายภาพและเคมีของไส้ถั่วแดง 4 สูตร             | 152  |
| 66 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้ถั่วแดง 4 สูตร                  | 153  |
| 67 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้ถั่วแดง 4 สูตร      | 154  |
| 68 สมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ไส้ถั่วแดง           | 155  |
| 69 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้ถั่วแดง                | 156  |
| 70 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของของผลิตภัณฑ์ไส้ถั่วแดง | 156  |

## สารบัญภาพ

| ภาพ |                                                                 | หน้า |
|-----|-----------------------------------------------------------------|------|
| 1   | การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง                        | 11   |
| 2   | การเกิดสีน้ำตาลที่มีสาเหตุจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส           | 18   |
| 3   | การเปลี่ยน deoxy form เป็น oxy form ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส | 18   |
| 4   | ปฏิกิริยา monophenol oxidase activity ของสารประกอบฟีนอล         | 19   |
| 5   | ปฏิกิริยา diphenol oxidase activity ของสารประกอบฟีนอล           | 20   |
| 6   | การทำงานของ reducing agents                                     | 21   |
| 7   | กระบวนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด                                  | 25   |
| 8   | ขั้นตอนการทำขนมปัง                                              | 46   |
| 9   | ขั้นตอนการทำเค้กเนย                                             | 48   |
| 10  | ขั้นตอนการทำให้ฟักทอง                                           | 50   |
| 11  | ขั้นตอนการทำให้เผือก                                            | 52   |
| 12  | ขั้นตอนการทำให้ถั่วแดง                                          | 54   |
| 13  | กราฟความหนืดของฟักทองผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ         | 59   |
| 14  | ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟักทองผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ | 62   |
| 15  | กราฟความหนืดของฟักทองผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ               | 67   |
| 16  | ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟักทองผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ       | 69   |
| 17  | กราฟความหนืดของเผือกผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ          | 75   |
| 18  | ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเผือกผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ  | 78   |
| 19  | กราฟความหนืดของเผือกผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ                | 83   |
| 20  | ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเผือกผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ        | 85   |
| 21  | กราฟความหนืดของถั่วแดงผงที่เตรียมด้วยวิธีต่างๆ                  | 92   |
| 22  | ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของถั่วแดงผงที่เตรียมด้วยวิธีต่างๆ          | 95   |
| 23  | กราฟความหนืดของถั่วแดงผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ              | 98   |
| 24  | ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของถั่วแดงผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ      | 100  |
| 25  | กราฟความหนืดของตัวอย่างผงและแป้งสาลี                            | 108  |
| 26  | ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างผงและแป้งสาลี                    | 111  |
| 27  | ขนมปังที่มีการใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลี                          | 116  |

| ภาพ |                                                            | หน้า |
|-----|------------------------------------------------------------|------|
| 28  | ขนมปังที่มีการใช้เปลือกผงทดแทนแป้งสาลี                     | 120  |
| 29  | ขนมปังที่มีการใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลี                    | 124  |
| 30  | เค้กเนยที่มีการใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลี                    | 128  |
| 31  | เค้กเนยที่มีการใช้เปลือกผงทดแทนแป้งสาลี                    | 132  |
| 32  | เค้กเนยที่มีการใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลี                   | 136  |
| 33  | ไส้ฟักทอง 4 สูตร                                           | 141  |
| 34  | ผลิตภัณฑ์ไส้ฟักทอง                                         | 144  |
| 35  | ไส้เปลือก 4 สูตร                                           | 147  |
| 36  | ผลิตภัณฑ์ไส้เปลือก                                         | 149  |
| 37  | ไส้ถั่วแดง 4 สูตร                                          | 152  |
| 38  | ผลิตภัณฑ์ไส้ถั่วแดง                                        | 154  |
| 39  | ปริมาณความชื้นของฟักทองผงในระหว่างการเก็บรักษา             | 157  |
| 40  | ค่ากิจกรรมของน้ำของฟักทองผงในระหว่างการเก็บรักษา           | 158  |
| 41  | การเปลี่ยนแปลงค่าสีของฟักทองผงในระหว่างการเก็บรักษา        | 159  |
| 42  | ปริมาณเบต้าแคโรทีนของฟักทองผงในระหว่างการเก็บรักษา         | 160  |
| 43  | ปริมาณความชื้นของเปลือกผงในระหว่างการเก็บรักษา             | 161  |
| 44  | ค่ากิจกรรมของน้ำของเปลือกผงในระหว่างการเก็บรักษา           | 162  |
| 45  | การเปลี่ยนแปลงค่าสีของเปลือกผงในระหว่างการเก็บรักษา        | 163  |
| 46  | ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของเปลือกผงในระหว่างการเก็บรักษา  | 164  |
| 47  | ปริมาณความชื้นของถั่วแดงผงในระหว่างการเก็บรักษา            | 165  |
| 48  | ค่ากิจกรรมของน้ำของถั่วแดงผงในระหว่างการเก็บรักษา          | 166  |
| 49  | การเปลี่ยนแปลงค่าสีของถั่วแดงผงในระหว่างการเก็บรักษา       | 167  |
| 50  | ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของถั่วแดงผงในระหว่างการเก็บรักษา | 168  |

### สารบัญตารางผนวก

| ตารางผนวก                                    | หน้า |
|----------------------------------------------|------|
| 1 สภาวะในการทำงานของเครื่อง RVA              | 195  |
| 2 สภาวะในการทำงานของเครื่อง HPLC             | 203  |
| 3 สภาวะในการทำงานของเครื่อง texture analyzer | 212  |

## สารบัญภาพผนวก

| ภาพผนวก |                                                         | หน้า |
|---------|---------------------------------------------------------|------|
| 1       | ขั้นตอนการผลิตฟีกทองผงที่เหมาะสมจากการทดลอง             | 190  |
| 2       | ขั้นตอนการผลิตเผือกผงที่เหมาะสมจากการทดลอง              | 191  |
| 3       | ขั้นตอนการผลิตถั่วแดงผงที่เหมาะสมจากการทดลอง            | 192  |
| 4       | กราฟมาตรฐานของปริมาณแอมิโลส                             | 202  |
| 5       | โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานเบต้าแคโรทีนความเข้มข้น 2.4 ppm | 204  |
| 6       | กราฟมาตรฐานของปริมาณเบต้าแคโรทีน                        | 205  |
| 7       | กราฟ TPA ของตัวอย่างเค้กเนยที่ทำจากแป้งสาลีล้วน         | 212  |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ฟักทอง เผือก และถั่วแดง เป็นพืชที่มีการเพาะปลูกมากในประเทศไทยและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยฟักทองมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร และแร่ธาตุหลายชนิด เป็นแหล่งของเบต้าแคโรทีน วิตามินบี 2 ซี และอี (Pongjanta et al., 2003) ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าการบริโภคอาหารที่มีเบต้าแคโรทีนสูงจะช่วยป้องกันโรคตา โรคผิวหนัง และช่วยลดโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งได้ (Bendich, 1989) ขณะที่เผือกมีคาร์โบไฮเดรตสูง มีแอนโทไซยานินซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ป้องกันความเสื่อมของเซลล์ และช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคเส้นเลือดอุดตันในสมอง (Onwueme, 1978) ส่วนถั่วแดงมีองค์ประกอบของโปรตีนและใยอาหารสูง มีวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิด มีปริมาณไขมันและโซเดียมต่ำ ไม่มีคอเลสเตอรอล นอกจากนี้เปลือกหุ้มเมล็ดยังอุดมไปด้วยแอนโทไซยานินซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Geil and Anderson, 1994) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่มีมีการนำฟักทอง เผือก และถั่วแดงไปใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมมากนัก เนื่องจากวัตถุดิบเหล่านี้มีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้นและมีราคาผันแปรตามฤดูกาล

ขนมอบ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ยังคงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทำคือแป้งสาลี แต่เนื่องจากการผลิตข้าวสาลีในประเทศไทยยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงทำให้ในแต่ละปีประเทศไทยต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายในการนำเข้าข้าวสาลีจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้หากมีการนำวัตถุดิบที่หาได้ในประเทศ เช่น ฟักทอง เผือก และถั่วแดง มาผลิตให้เป็นผงแล้วนำไปใช้ทดแทนแป้งสาลี ก็จะเป็นการช่วยลดการใช้และการนำเข้าข้าวสาลีจากต่างประเทศได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ฟักทอง เผือก และถั่วแดงผงที่ผลิตได้ยังสามารถนำไปขึ้นรูปเพื่อผลิตเป็นไส้ขนม ซึ่งจะเป็นการช่วยลดขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการทำไส้ขนมได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามในการนำฟักทอง เผือก และถั่วแดงมาผ่านกระบวนการแปรรูปให้เป็นผงนั้น ก็อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ได้มีคุณค่าทางโภชนาการลดลงและมีคุณภาพไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้งาน ด้วยเหตุนี้จึงควรมีการศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสม เพื่อจะได้ผลิตภัณฑ์ฟักทอง เผือก และถั่วแดงผงที่มีคุณภาพดีที่สุด

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผงที่เหมาะสม
2. เพื่อศึกษาการนำฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผงไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ขนมอบและไส้ขนม
3. เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผง

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้กระบวนการผลิตฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผงที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม
2. ช่วยลดการใช้และการนำเข้าแป้งสาลีจากต่างประเทศ
3. ช่วยเพิ่มทางเลือกวัตถุดิบให้กับผู้ประกอบการ
4. ช่วยเพิ่มความสะดวกในการเก็บรักษา ขนส่ง และการนำฟักทอง ผีอก และถั่วแดงไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร



## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

#### ผักและธัญพืช

##### 1. ฟักทอง

ฟักทอง (*Cucurbita moschata*) เป็นพืชล้มลุกปีเดียว ลำต้นเป็นเถาเลื้อยไปตามพื้นดิน ลำต้นอวบน้ำ ผิวน้ำเป็นร่องตามยาว มีขน และมีหนวดเป็นเส้นยาวออกตรงกันข้ามกับใบ ใบเป็นใบเดี่ยวขนาดใหญ่รูปร่างค่อนข้างกลมออกสลับกัน มีความกว้าง 7-35 ซม. ยาว 10-35 ซม. ลักษณะขอบใบเว้าตื้นเป็น 5-7 แฉก ผิวน้ำเมื่อจับจะรู้สึกสากมือเนื่องจากมีขนขึ้นปกคลุม มีดอกตัวเมียและดอกตัวผู้แยกกันบนต้นเดียวกัน ผลมีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันตามพันธุ์ เปลือกค่อนข้างแข็งมีสีเขียวอมน้ำเงินหรือสีเขียวอมส้ม มีทั้งผิวขรุขระและผิวเรียบ ก้านผลสั้นเป็นห้าเหลี่ยม เนื้อในมีสีเหลืองอมส้มและเหลืองอมเขียว เมล็ดมีรูปร่างคล้ายรูปไข่แบน (จานุลักษณ์ และคณะ, 2549)

##### 1.1. ชนิดของฟักทอง

ฟักทองมีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกา เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา เม็กซิโก โบวิเลียชิลี และอาร์เจนตินา เป็นต้น โดยพบว่ามีอายุปลูกมาตั้งแต่ 10,000-30,000 ปีที่ผ่านมา จึงถือเป็นพืชที่มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างยาวนาน (ทศพร, 2531)

ฟักทองแบ่งออกเป็น 5 ชนิด (species) ที่สำคัญ ดังแสดงในตาราง 1 นอกจากนี้ในประเทศออสเตรเลียได้แบ่งฟักทองออกตามขนาดผลเล็กถึงผลกลาง เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ (1) Queensland blue ผลมีขนาดกลาง แบน ผิวเปลือกเป็นสีเทา เนื้อเป็นสีเหลืองส้ม (2) Butternut ผลเป็นทรงระฆัง ผิวเปลือกมีสีเหลืองถึงสีส้ม เนื้อนิ่มเมื่อนำมาประกอบอาหาร มีสีส้มอ่อน (3) Golden nugget ผลกลมเล็ก ผิวเปลือกและเนื้อมีสีส้ม นิยมปลูกให้เลื้อยไปตามดิน และ (4) Japanese ให้ผลขนาดเล็กจนถึงกลาง ผิวเปลือกมีสีเขียว ส่วนเนื้อเป็นสีเหลืองเข้ม ไม่ใช่พืชถิ่นของญี่ปุ่น แต่เป็นพืชที่ถูกนำเข้าและปลูกกันต่อๆ มา (จานุลักษณ์ และคณะ, 2549)

ตาราง 1 การจำแนกชนิดของฟักทอง

| ชนิด (species)   | ชื่อสามัญ (common name)         | แหล่งกำเนิด               |
|------------------|---------------------------------|---------------------------|
| <i>pepo</i> L.   | Winter squash, Ornamental gourd | USA                       |
| <i>mixta</i>     | Summer squash, pumpkin          | Mexico, USA               |
| <i>moschata</i>  | Winter squash, pumpkin          | USA                       |
| <i>maxima</i>    | Winter squash                   | Bolivia, Chile, Argentina |
| <i>ficifolia</i> | Molavas gourd, Fig loaf gourd   | Mexico, USA               |

ที่มา: ทศพร (2531)

ฟักทองญี่ปุ่น (Japanese pumpkin) เป็นพืชล้มลุกอีกชนิดหนึ่งที่ทางมูลนิธิโครงการหลวงได้นำมาส่งเสริมให้เกษตรกรบนพื้นที่สูงปลูก จากคู่มือการปลูกผักบนพื้นที่สูงของมูลนิธิโครงการหลวง (2546) ระบุว่า พืชนี้มีถิ่นกำเนิดในแถบอเมริกากลาง ภาคเหนือของเม็กซิโก และภาคตะวันตกของอเมริกาเหนือ ผลมีสีเขียว รูปทรงกลมค่อนข้างแบน เนื้อแน่นแข็ง เมื่อยังอ่อนมีสีเขียว เมื่อแก่จะเป็นสีเหลืองเข้ม มีรสหวานมัน ค่อนข้างเหนียว เนื้อเนียน และรสชาติหวานกว่าฟักทองทั่วไป เปลือกนอกนุ่ม ไม่แข็ง จึงสามารถใช้ประกอบอาหารได้ทั้งเปลือก มีอายุเก็บเกี่ยวหลังย้ายปลูกประมาณ 110 วัน

### 1.2. คุณค่าทางโภชนาการของฟักทอง

เนื้อฟักทองมีสีเหลืองธรรมชาติจากสารสีกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ประกอบด้วยเบต้าแคโรทีน ( $\beta$ -carotene) แอลฟาแคโรทีน ( $\alpha$ -carotene) และลูทีน (lutein) เป็นต้น (Gonzalez et al., 2001) แต่ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมากที่สุดคือเบต้าแคโรทีน ซึ่งนอกจากจะเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอแล้วยังมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ช่วยป้องกันโรคตา โรคผิวหนัง และโรคมะเร็งต่างๆ เช่น มะเร็งในช่องปาก กล้องเสียง ตับ และกระเพาะอาหาร เป็นต้น (Bendich, 1989; สิริพันธ์, 2542) นอกจากนี้เบต้าแคโรทีนยังช่วยให้หัวใจแข็งแรง ระบบหมุนเวียนโลหิตจึงทำงานเป็นปกติ ซึ่งจะเป็นการช่วยลดโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตันได้ (Bendich, 1989) ตับสามารถเปลี่ยนเบต้าแคโรทีนให้เป็นวิตามินเอได้ตามความต้องการของร่างกาย โดยวิตามินเอมีสมบัติช่วยต้านทานโรคเพราะสามารถกำจัดออกซิเจนที่ทำลายเซลล์ในร่างกาย นอกจากนี้เนื้อฟักทองยังมีแร่ธาตุฟอสฟอรัส ซึ่งมีความจำเป็นต่อกระดูกและฟัน

อีกด้วย (จากสัญลักษณ์ และคณะ, 2549) องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อฟักทองในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อฟักทองในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

| องค์ประกอบทางเคมี | ปริมาณ         |
|-------------------|----------------|
| พลังงาน           | 124 กิโลแคลอรี |
| ความชื้น          | 69.10 กรัม     |
| โปรตีน            | 2.90 กรัม      |
| ไขมัน             | 1.50 กรัม      |
| คาร์โบไฮเดรต      | 24.60 กรัม     |
| ใยอาหารทั้งหมด    | 1.00 กรัม      |
| เส้นใย            | 0.90 กรัม      |
| แคลเซียม          | 7.00 มก.       |
| ฟอสฟอรัส          | 17.00 มก.      |
| เหล็ก             | 1.90 มก.       |
| วิตามินเอ         | 3,266.00 มก.   |
| ไทอะมิน           | 0.10 มก.       |
| ไรโบฟลาวิน        | 0.04 มก.       |
| ไนอะซิน           | 1.00 มก.       |
| วิตามินซี         | 84.00 มก.      |

ที่มา: สำนักโภชนาการ (2535)

## 2. เผือก

เผือก (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) เป็นพืชหัวที่นิยมปลูกและบริโภคในเขตร้อนและกึ่งร้อน มีลำต้นอยู่ใต้ดินเจริญเติบโตกลายเป็นหัวใหญ่ 1 หัว และมีหัวขนาดเล็กล้อมรอบ หัวมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันตามพันธุ์ เนื้อเผือกมีสีต่างกันตั้งแต่สีขาว เหลือง ส้ม จนถึงแดง หรือม่วง ปกติลำต้นสูง 0.4-2 เมตร ใบใหญ่เป็นรูปหัวใจ มีขนาดและสีแตกต่างกัน ใบเกิดจากใต้ดิน มีดอก 2-5 ช่อ อยู่ในก้านใบ ช่อดอกมีก้านยาว 15-30 ซม. (ณรงค์, 2538)

เผือกเป็นพืชเศรษฐกิจระดับท้องถิ่นที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง คนไทยนิยมบริโภคเผือก เพราะมีกลิ่นหอมและรสชาติดี ประเทศไทยมีการปลูกเผือกทั่วทุกภาคของประเทศ มีพื้นที่ปลูกเผือกทั้งประเทศปีละประมาณ 25,000-30,000 ไร่ ผลผลิตประมาณ 45,000-65,000 ตัน จังหวัดที่เป็นแหล่งปลูกที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ นครสวรรค์ พิจิตร โลก นครราชสีมา สุรินทร์ สระบุรี พระนครศรีอยุธยา สิงห์บุรี ปราชินบุรี นครนายก นครปฐม ประจวบคีรีขันธ์ ราชบุรี สุพรรณบุรี ชุมพร และสุราษฎร์ธานี (มาลินี และคณะ, 2541)

### 2.1. ชนิดของเผือก

ณรงค์ (2538) ได้แบ่งเผือกออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

#### 1. เอโด (Eddoe type)

เป็นเผือกหัวเล็ก มีลูกเผือกหรือลูกชอดิอยู่จำนวนมาก ได้แก่ เผือกชนิด *C. esculenta* var. *antiquorum* และ *C. esculenta* var. *globulifera* เช่น เผือกเหลือง เผือกตาแดง และเผือกไม้หรือเผือกไหหลำ เป็นต้น โดยเผือกกลุ่มนี้ไม่มีกลิ่นหอมและไม่นิยมนำมาบริโภค

#### 2. แดชีน (Dasheen type)

เป็นเผือกหัวใหญ่ มีลูกเผือกหรือลูกชอน้อย ได้แก่เผือกชนิด *C. esculenta* var. *esculenta* เช่น เผือกหอม ซึ่งเป็นเผือกที่นิยมปลูกกันมากที่สุดในประเทศไทย เมื่อคัมให้สุกแล้วจะมีกลิ่นหอม ผู้บริโภคจึงนิยมรับประทาน

## 2.2. คุณค่าทางโภชนาการของเหือก

หัวเหือกมีคาร์โบไฮเดรตสูง จึงเหมาะต่อการนำมาผลิตแป้ง มีแร่ธาตุหลายชนิด และมีแอนโทไซยานินซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ป้องกันความเสื่อมของเซลล์ และช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคเส้นเลือดอุดตันในสมองได้ (Onwueme, 1978) องค์ประกอบทางเคมีของเหือกจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยตามพันธุ์และสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว อุณหภูมิ และความชื้นขณะการเก็บรักษา (ณรงค์, 2538) องค์ประกอบทางเคมีของหัวเหือกในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 คุณค่าทางโภชนาการของหัวเหือกในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

| องค์ประกอบทางเคมี | ปริมาณ         |
|-------------------|----------------|
| พลังงาน           | 117 กิโลแคลอรี |
| ความชื้น          | 70.00 กรัม     |
| โปรตีน            | 2.10 กรัม      |
| ไขมัน             | 0.10 กรัม      |
| คาร์โบไฮเดรต      | 26.80 กรัม     |
| ใยอาหาร           | 1.00 กรัม      |
| เถ้า              | 1.00 กรัม      |
| แคลเซียม          | 84.00 มก.      |
| ฟอสฟอรัส          | 54.00 มก.      |
| ไทอะมิน           | 0.15 มก.       |
| ไรโบฟลาวิน        | 0.04 มก.       |
| ไนอะซิน           | 1.00 มก.       |
| วิตามินซี         | 2.00 มก.       |

ที่มา: สำนักโภชนาการ (2535)

### 3. ถั่วแดง

ถั่วแดงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Phaseolus vulgaris* (L.) เป็นพืชล้มลุก ใบเลี้ยงคู่ ผสมตัวเอง รากแก้วเจริญได้ดีและสามารถหยั่งลึกลงไปใต้ดินได้มากกว่า 1 เมตร ส่วนรากแขนงที่แตกออกจากด้านข้างโดยรอบของรากแก้วนั้นจะเจริญอยู่เป็นกลุ่มในระดับใต้ผิวดินลึกประมาณ 10-15 ซม. และบริเวณโคนรากแก้วหรือรากแขนงที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันจะมีปม (nodule) เล็กๆ เกิดขึ้น ซึ่งเป็นที่อยู่ของเชื้อแบคทีเรีย *Rhizobium japonica* ทำหน้าที่ตรึงไนโตรเจนจากอากาศมาเปลี่ยนเป็นสารประกอบของไนโตรเจนเพื่อส่งขึ้นไปสะสมตามส่วนต่างๆ ของต้นถั่วแดง โดยปริมาณของปมแบคทีเรี้นี้จะมีมากน้อยแค่ไหนก็ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน (สมบัติ, 2526)

โดยปกติแล้วต้นถั่วแดงจะมีลักษณะการเจริญเป็นสองพวก คือ พวกที่มีลักษณะลำต้นเป็นพุ่มกับพวกที่มีลักษณะเป็นลำต้นเลื้อย ในส่วนของใบ ใบที่เจริญออกมาคู่แรก (primary leaves) จะเป็นใบเดี่ยว ต่อจากนั้นจึงจะเกิดเป็นใบจริงขึ้น ซึ่งเป็นใบรวมประกอบด้วยใบเล็กๆ 3 ใบ (trifoliate leaves) เกิดเรียงสลับกันไปในแต่ละกิ่งหรือข้อ ที่ใบแต่ละใบจะมีขนเล็กๆ ก้านใบยาว รูปร่างของใบส่วนมาก ด้านโคนใบจะกลม ส่วนด้านปลายใบแหลม ขนาดของใบกว้างประมาณ 5-10 ซม. และยาวประมาณ 8-15 ซม. ดอกถั่วแดงจะเกิดรวมกันเป็นช่อ จำนวนดอกในแต่ละช่อจะไม่เท่ากัน ช่อดอกจะเกิดบนข้อหรือกิ่งก้านที่เจริญออกไป ดอกมีขนาดเล็ก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9-12 มม. กลีบดอกมี 5 กลีบ และกลีบเลี้ยงมี 5 กลีบ ดอกมีหลายสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ โดยทั่วไปจะพบเป็นดอกสีขาวและสีชมพู ดอกของถั่วแดงเป็นชนิดดอกสมบูรณ์ คือ เกสรตัวผู้และตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน การผสมเกสรเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ ฝักของถั่วแดงจะเจริญจากดอกที่ได้รับการผสมเกสรแล้ว โดยที่รังไข่จะขยายตัวพัฒนาขึ้นมาเป็นฝัก ฝักจะเจริญต่อไปเรื่อยๆ พร้อมกับการเจริญของเมล็ดที่อยู่ภายในซึ่งเกิดจากไข่ที่ผสมแล้ว ฝักที่โตเต็มที่และสมบูรณ์จะมีความยาวประมาณ 8-10 ซม. และกว้าง 12-15 มม. เมื่อเมล็ดแก่ฝักจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองและสีน้ำตาลในที่สุด ถั่วต้นหนึ่งๆ อาจมีจำนวนฝัก 5-30 ฝัก ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของต้น แต่ละฝักมี 3-6 เมล็ด โดยเมล็ดถั่วแดงเมื่อแก่เต็มที่จะมีเปลือกแข็งมากและมีหลายสี เช่น สีแดง แดงเข้ม หรือแดงอมชมพู ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ เมล็ดถั่วแดงมีขนาดโตเมื่อเทียบกับถั่วอื่นๆ รูปร่างของเมล็ดมีลักษณะคล้ายไต (kidney) มีขนาด 8-15 มม. น้ำหนัก 100 เมล็ดมีประมาณ 20-60 กรัม (สุรัตน์, 2548)

### 3.1. ชนิดของถั่วแดง

ถั่วแดง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามสีของเปลือกหุ้มเมล็ด (สมบัติ, 2526) ได้แก่

#### 1. ชนิดสีแดงเข้ม

มีหลายพันธุ์ เช่น มงคาล์ม (Monicalm) แคลิฟอร์เนีย (California) และโรยัล (Royal) ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากประเทศเคนยา และสหรัฐอเมริกา ขนาดของเมล็ดแต่ละพันธุ์จะเท่ากัน มีสีแตกต่างกันเล็กน้อย แต่พันธุ์โรยัลจะให้ผลดีกว่า มีสีสวย และเป็นที่ต้องการของตลาดมากกว่าพันธุ์อื่นๆ

#### 2. ชนิดสีชมพู

ปัจจุบันมีปลูกเพียงพันธุ์เดียวคือ โมนิตัน (Moniton) ถั่วพันธุ์นี้มีขนาดของเมล็ดโตกว่าชนิดแรกเล็กน้อย ให้ผลผลิตต่อไร่สูง มีความต้านทานต่อโรคแอนแทรกคโนสได้ดี แต่มีข้อเสียคือ สีของเมล็ดไม่เป็นที่ต้องการของตลาดมากนัก

สำหรับถั่วแดงพันธุ์มาตรฐานที่มีการส่งเสริมให้ปลูกในประเทศไทยมี 2 พันธุ์ ได้แก่ (1) พันธุ์หมอกจ้าม ซึ่งจะออกดอกเป็นสีม่วง ลำต้นสูง 49 ซม. และมีน้ำหนักเมล็ดโดยเฉลี่ย 470 มก. และ (2) พันธุ์ MKS#8 ซึ่งจะออกดอกเป็นสีขาว ลำต้นสูง 47 ซม. และมีน้ำหนักเมล็ดโดยเฉลี่ย 470 มก. (ณรงค์, 2538)

### 3.2. คุณค่าทางโภชนาการของถั่วแดง

ถั่วแดง ประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุที่จำเป็นหลายชนิด มีปริมาณไขมันและโซเดียมต่ำ ไม่มีคอเลสเตอรอล (Geil and Anderson, 1994) นอกจากนี้ เปลือกหุ้มเมล็ดยังมีรงควัตถุสีแดงเข้มคือแอนโทไซยานิน ซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ แต่อย่างไรก็ตาม ถั่วแดงจะประกอบด้วยสารต้านโภชนาการหลายชนิด เช่น แรฟฟิโนส (raffinose) และสตาซิโอส (stachyose) และเวอร์บาสโคส (verbascose) ซึ่งเป็นน้ำตาลกลุ่มโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ แต่แบคทีเรียบางชนิดในลำไส้ใหญ่สามารถนำไปใช้และทำให้เกิดก๊าซในทางเดินอาหารได้ (Ekvall et al., 2007) สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน (trypsin inhibitor) ที่ทำให้เอนไซม์ทริปซินในลำไส้เล็กมีประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนลดลง และไฟเตท (phytate) ที่อาจขัดขวางการดูดซึมเกลือแร่ของร่างกาย เช่น เหล็ก และสังกะสี เป็นต้น แต่จากการศึกษาของ Jangchud and Bunnag (2001) และ Queiroz et al. (2002) พบว่า การแช่และการคั่วสุก สามารถลดปริมาณสารต้านโภชนาการต่างๆ ในถั่วแดงได้

ตาราง 4 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วแดง 100 กรัม

| องค์ประกอบทางเคมี | ปริมาณ         |
|-------------------|----------------|
| พลังงาน           | 332 กิโลแคลอรี |
| ความชื้น          | 12.00 กรัม     |
| โปรตีน            | 18.20 กรัม     |
| ไขมัน             | 2.20 กรัม      |
| คาร์โบไฮเดรต      | 63.30 กรัม     |
| เส้นใย            | 23.80 กรัม     |
| เถ้า              | 4.30 กรัม      |
| แคลเซียม          | 115.00 มก.     |
| ฟอสฟอรัส          | 415.00 มก.     |
| ไทอะมิน           | 0.16 มก.       |
| ไรโบฟลาวิน        | 1.32 มก.       |
| ไนอะซิน           | 2.70 มก.       |

ที่มา: สำนักโภชนาการ (2535)



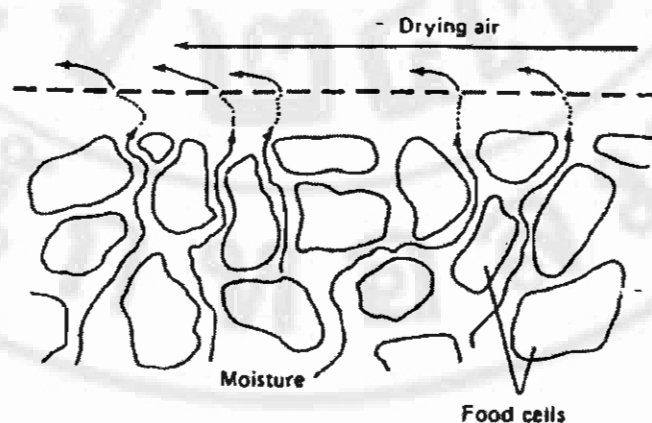
## การทำแห้ง

การทำแห้ง (drying) หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของน้ำแข็งในการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารโดยการลดค่ากิจกรรมของน้ำ ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ จึงทำให้อาหารแห้งเก็บไว้ได้นาน นอกจากนี้ยังเป็นการลดน้ำหนักและปริมาตรของผลิตภัณฑ์ ทำให้สะดวกในการขนส่งและง่ายต่อการนำไปใช้งานอีกด้วย (วิไล, 2546)

การถนอมอาหารโดยการทำแห้ง เป็นวิธีการที่ง่ายและเก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์ได้เรียนรู้มาจากธรรมชาติ โดยอาศัยการสังเกตจากผลผลิตทางการเกษตรที่ทิ้งไว้กลางแสงแดดนานๆ (จิรภา และคณะ, 2547) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นโดยการทำแห้ง เช่น เมล็ดธัญพืชอบแห้ง ผักอบแห้ง ผลไม้อบแห้ง และเนื้อปลาตากแห้ง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามการทำแห้งอาจทำให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภค และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์

### 1. กลไกการทำแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวหน้าของอาหารและน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อน (Fellow, 2000) ดังแสดงในภาพ 1



ภาพ 1 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง  
ที่มา: Fellow (2000)

## 2. วิธีการทำแห้ง

จิรภา และคณะ (2547) ได้แบ่งวิธีการทำแห้งออกเป็น 2 วิธี คือ

### 2.1. การทำแห้งแบบธรรมชาติ

การทำแห้งแบบธรรมชาติที่เรียกว่า การตากแห้ง เป็นวิธีที่อาศัยแสงแดดให้ความร้อนแก่อาหารและอาศัยลมพัดพาไอน้ำออก ทำให้อาหารแห้ง เช่น การทำแห้งเมล็ดธัญพืช เนื้อสัตว์ และผลไม้บางชนิด การทำแห้งแบบธรรมชาตินี้นิยมใช้อย่างแพร่หลายในประเทศที่มีแสงแดดเพียงพอ เป็นวิธีการที่ประหยัด แต่ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิ ระยะเวลา และอัตราเร็วในการทำแห้งได้

### 2.2. การทำแห้งด้วยเครื่องจักรกล

เป็นการใช้ความร้อนจากแหล่งพลังงานอื่นๆ เช่น ไฟฟ้า แก๊ส น้ำมัน หรือฟืน เป็นคั้ง และมีอุปกรณ์ประกอบ เช่น ตู้อบ หรือตูรม้วน ในอุตสาหกรรมการทำแห้งมีเครื่องจักรกลหลายแบบที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับประเภทของอาหารที่จะทำแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ คั้งทุนการผลิต ตลอดจนสภาพของโรงงาน โดยสามารถแบ่งเครื่องทำอาหารแห้งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามวิธีการถ่ายเทความร้อน คือ

#### 2.2.1. เครื่องที่ใช้อากาศเป็นตัวนำความร้อน

2.2.1.1. เครื่องทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน (cabinet dryer) มีลักษณะเป็นห้องหรือตู้อบ ภายในมีถาดหรือชั้นสำหรับใส่อาหาร มีพัดลมเป่าอากาศร้อนลงบนอาหาร เป็นเครื่องมือที่มีราคาถูก มีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ นิยมใช้อบแห้งผักและผลไม้

2.2.1.2. เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (tunnel dryer) ประกอบด้วย ถังยาวประมาณ 30-50 ฟุต ภายในมีล้อเลื่อนหรือสายพานลำเลียงสำหรับใส่ถาดบรรจุอาหาร ขณะที่อาหารเลื่อนไปก็จะมีลมร้อนเป่าลงบนอาหาร เครื่องนี้นิยมใช้กับผักและผลไม้อบแห้ง

2.2.1.3. เครื่องทำแห้งแบบพ่นลมร้อน (spray dryer) เป็นเครื่องที่ทำให้ของเหลวกลายเป็นผง อาหารจะถูกพ่นเป็นฝอยเล็กๆ สัมผัสกับอากาศร้อน โดยอาหารจะกลายเป็นผงทันทีซึ่งจะใช้เวลาที่สั้นมาก ทำให้สี กลิ่น รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

### 3. อิทธิพลของการทำแห้งต่อคุณภาพของอาหาร

ในขั้นตอนการทำแห้งอาหารโดยทั่วไป น้ำในอาหารจะระเหยออกไปมีผลทำให้ความชื้นในอาหารลดลง ด้วยเหตุนี้ความเข้มข้นของสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารแห้งนั้นจึงเพิ่มขึ้น เช่น โปรตีน แป้ง และไขมัน (นิธิยา, 2543) ดังนี้

#### 3.1. อิทธิพลของการทำแห้งต่อโปรตีน

โดยลักษณะธรรมชาติของโปรตีนแล้ว ถ้าได้รับความร้อนสูงนานๆ จะทำให้เกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ (denature) และสมบัติในการจับกับน้ำไป ดังนั้น คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนจะเหลืออยู่มายน้อยเพียงใดจึงขึ้นอยู่กับวิธีและสภาวะที่ใช้ในการทำแห้ง คือการเลือกอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแต่ละประเภทอาจช่วยให้คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนคงอยู่มากขึ้น

#### 3.2. อิทธิพลของการทำแห้งต่อไขมัน

ไขมันที่มีในอาหารโดยทั่วไปจะทำให้อาหารนั้นเกิดการเหม็นหืน โดยอาหารที่มีไขมันสูงและอุณหภูมิสูงจะทำให้เหม็นหืนได้เร็วขึ้น ดังนั้นในการทำแห้งจะต้องคำนึงถึงการเกิดกลิ่นหืนของอาหารแห้งที่ได้ ถ้าเป็นอาหารที่มีไขมันสูงก็ควรหลีกเลี่ยงวิธีการทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูง เช่นการทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิต่ำภายใต้สภาวะสุญญากาศ หรือการใช้สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน เป็นต้น

#### 3.3. อิทธิพลของการทำแห้งต่อคาร์โบไฮเดรต

อาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ เมื่อได้รับความร้อนสูงในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม คือ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) โดยเฉพาะในผักและผลไม้ จะเกิดการเปลี่ยนสีในขณะที่ทำแห้งจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) และปฏิกิริยาของน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโน ทำให้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (caramelization and maillard reaction) ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นในอาหารที่มีความชื้นตั้งแต่ 1-3 % เป็นต้นไป

### 3. อิทธิพลของการทำแห้งต่อคุณภาพของอาหาร

ในขั้นตอนการทำแห้งอาหารโดยทั่วไป น้ำในอาหารจะระเหยออกไปมีผลทำให้ความชื้นในอาหารลดลง ด้วยเหตุนี้ความเข้มข้นของสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารแห้งนั้นจึงเพิ่มขึ้น เช่น โปรตีน แป้ง และไขมัน (นิธิยา, 2543) ดังนี้

#### 3.1. อิทธิพลของการทำแห้งต่อโปรตีน

โดยลักษณะธรรมชาติของโปรตีนแล้ว ถ้าได้รับความร้อนสูงนานๆ จะทำให้เกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ (denature) และสมบัติในการจับกับน้ำไป ดังนั้น คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนจะเหลืออยู่มกน้อยเพียงใดจึงขึ้นอยู่กับวิธีและสภาวะที่ใช้ในการทำแห้ง คือการเลือกอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแต่ละประเภทอาจช่วยให้คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนคงอยู่มากขึ้น

#### 3.2. อิทธิพลของการทำแห้งต่อไขมัน

ไขมันที่มีในอาหารโดยทั่วไปจะทำให้อาหารนั้นเกิดการเหม็นหืน โดยอาหารที่มีไขมันสูงและอุณหภูมิสูงจะทำให้เหม็นหืนได้เร็วขึ้น ดังนั้นในการทำแห้งจะต้องคำนึงถึงการเกิดกลิ่นหืนของอาหารแห้งที่ได้ ถ้าเป็นอาหารที่มีไขมันสูงก็ควรหลีกเลี่ยงวิธีการทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูง เช่นการทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิต่ำภายใต้สภาวะสุญญากาศ หรือการใช้สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน เป็นต้น

#### 3.3. อิทธิพลของการทำแห้งต่อคาร์โบไฮเดรต

อาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ เมื่อได้รับความร้อนสูงในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม คือ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) โดยเฉพาะในผักและผลไม้ จะเกิดการเปลี่ยนสีในขณะที่ทำแห้งจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) และปฏิกิริยาของน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโน ทำให้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (caramelization and maillard reaction) ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นในอาหารที่มีความชื้นตั้งแต่ 1-3 % เป็นต้นไป

### 3.4. อิทธิพลของการทำแห้งต่อคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร

การถนอมอาหารโดยวิธีการอบแห้งนั้น จะทำให้อาหารมีคุณค่าทางโภชนาการลดลง โดยเฉพาะวิตามินที่ละลายในน้ำ เช่น วิตามินบี และวิตามินซี เป็นต้น ซึ่งวิตามินดังกล่าวจะสูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) นอกจากนี้ในขั้นตอนของการเตรียมอาหารก่อนการทำแห้ง เช่น การลวก หรือการแช่สารเคมีบางอย่างเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ ก็จะทำให้วิตามินดังกล่าวลดลงด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้นหากมีการระมัดระวังในขั้นตอนของการเตรียมอาหารก่อนนำไปทำแห้ง การสูญเสียคุณค่าทางอาหารเหล่านี้ก็จะลดลง

การทำแห้ง เป็นกระบวนการที่สำคัญในการทำผง โดยอุณหภูมิอบแห้งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น จากการศึกษาของ Ahmed et al. (2010) พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะมีผลทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีน และวิตามินซีในแป้งมันฝรั่งลดลง นอกจากนี้การอบแห้งยังส่งผลกระทบต่อสมบัติทางหน้าที่บางประการของผลิตภัณฑ์ เช่น เมื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำ ศักยภาพการละลายน้ำ และความสามารถในการพองตัวของแป้งถั่วพุ่มและแป้งเผือกจะมีค่าลดลง (Sefa-Dedeh and Stanly, 1979; Njintang and Mbofung, 2006) เป็นต้น

## ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้

การเกิดสีน้ำตาลในอาหารจะพบได้บ่อยในกระบวนการผลิตหรือการเก็บรักษาอาหารจำพวกเนื้อสัตว์ ผัก และผลไม้ต่างๆ โดยเฉพาะผักสดที่เกิดการแตกหักหรือชำ และอาหารที่ผ่านการให้ความร้อน เช่น ผักและผลไม้อบแห้ง เป็นต้น การเกิดสีน้ำตาลในอาหารมักจะส่งผลให้รูปลักษณ์ของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงไป เช่น สี กลิ่น รส และคุณค่าทางโภชนาการ โดยการเกิดสีน้ำตาลในอาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 สาเหตุ คือ เกิดจากเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) และเกิดจากสารอื่นที่ไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction)

### 1. ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้อาจเกิดขึ้นได้เมื่อมีการทำให้ชำ หรือการหั่นผักและผลไม้บางชนิด เช่น มะเขือ หัวปลี และแอปเปิล เป็นต้น โดยจะเกิดสีน้ำตาลขึ้นบริเวณรอยหั่น หรือเกิดขึ้นระหว่างการแปรรูป ปฏิกิริยาดังนี้เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ในผักและผลไม้ โดยเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดปฏิกิริยาประเภทนี้คือ โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) ซึ่งจัดเป็นเอนไซม์ในกลุ่มของออกซิโดรีดักเทส (oxidoreductases) (เกียรติศักดิ์, 2551)

#### 1.1. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ในผักและผลไม้ คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์และสารประกอบฟีนอลที่เป็นสารตั้งต้น ค่า pH ปริมาณออกซิเจน และอุณหภูมิ เป็นต้น (สินธนา, 2547)

##### 1.1.1. สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds)

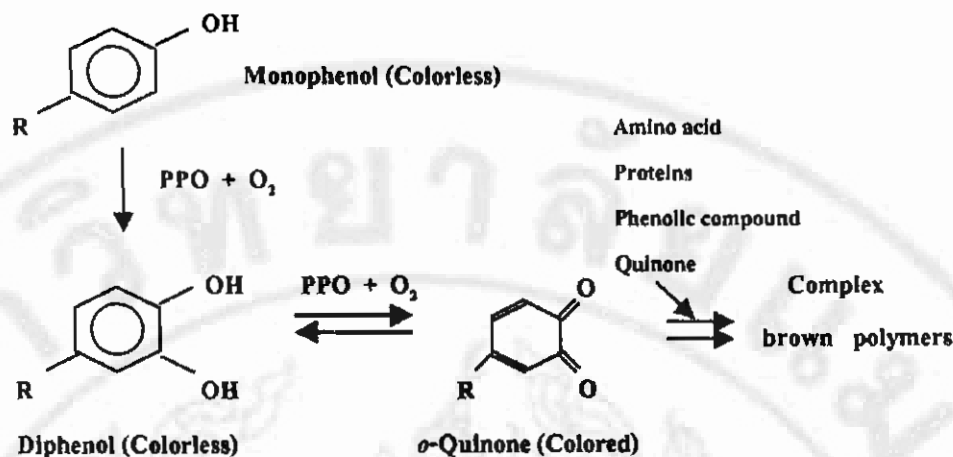
สารประกอบที่มีฟีนอลเป็นองค์ประกอบสำคัญและอาจมีหมู่เคมีอื่นเข้ามาเกาะที่ตำแหน่งต่างๆ สารในกลุ่มนี้ได้แก่ cinnamic acid, caffeic acid, chorogenic acid, catechol, anthocyanin และ tannin เป็นต้น นอกจากนี้ กรดอะมิโนไทโรซีน และฟีนิลอะลานีน ก็จัดเป็นสารประกอบฟีนอลเช่นเดียวกัน (จริงแท้, 2549ข) สารประกอบฟีนอลจะพบได้บริเวณแวคิวโอล (vacuole) ซึ่งรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ในรูปที่ละลายน้ำ (tannins) หรือรวมกันอย่างสมบูรณ์ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (lignins) (Macheix et al., 1990)

ระดับของการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอล โดยจากการศึกษาของ Heller and Forkmann (1994) และ Radi et al. (1997) พบว่า ปริมาณสาร chorogenic acid ในผล apricot และผลแอปเปิลพันธุ์ต่างๆ จะลดลงอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับการเกิดสีน้ำตาลที่เพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่า chorogenic acid เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลซึ่งจะถูกใช้ไปอย่างรวดเร็ว

#### 1.1.2. เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase; PPO)

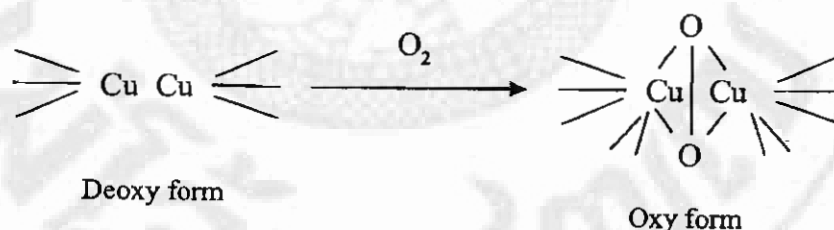
PPO เป็นเอนไซม์ที่เป็น copper metalloprotein (Steffens et al., 1994) มีชื่อตามระบบ คือ dihydroxyphenylalanine: oxygen oxydoreductase (Anderson, 1968; Mayer and Harel, 1979) และมีชื่อสามัญทั่วไปหลายชื่อตามสารตั้งต้นของปฏิกิริยานั้นๆ เช่น cresolase, catecholase, phenolase และ tyrosinase เป็นต้น (Mathew and Parpia, 1971; Mayer and Harel, 1979)

PPO สามารถพบได้ในพืชแทบทุกชนิด มีมากในเห็ด มันฝรั่ง ท้อ แอปเปิล กว๊าย ใบชา กาแฟ และหัวปลี เป็นต้น ในสภาพปกติ PPO จะถูกเก็บอยู่ในโครงสร้างของไทลาคอยด์ (thylakoid) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของคลอโรพลาสต์ แต่เมื่อเนื้อเยื่อของพืชได้รับความเสียหายหรือถูกทำลาย เช่น จากการปอกเปลือก หรือการหั่น จะทำให้เซลล์พืชแตกออก ส่วนของโมโนฟีนอล ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่อยู่ในแวคิวโอลจึงทำปฏิกิริยากับ PPO และก๊าซออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน ได้เป็น ไดฟีนอล (diphenol) ซึ่งสารนี้จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็น ออร์โท-ควิโนน (o-quinone) และจะทำปฏิกิริยาแบบไม่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้องกับสารประกอบต่างๆ รวมทั้งสารประกอบฟีนอลและกรดอะมิโน ทำให้เกิดเป็นสารสีต่างๆ (ภาพ 2) ซึ่งจะค่อนข้างไปทางสีดำ กล่าวคือ อาจเป็นสีน้ำตาลดำ สีเทาดำ หรือสีม่วงดำก็ได้ (สินธนา, 2547)



ภาพ 2 การเกิดสีน้ำตาลที่มีสาเหตุจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส  
ที่มา: Lee and Whitaker (1995)

โดยปกติ PPO จะอยู่ในรูป deoxy form ซึ่งจะต้องเปลี่ยนไปอยู่ในรูป oxy form ก่อน จึงจะสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลได้ ดังแสดงในภาพ 3 (Whitaker, 1995) และกลไกในการเกิดปฏิกิริยาของ PPO จะมีอยู่ 2 ปฏิกิริยา คือ

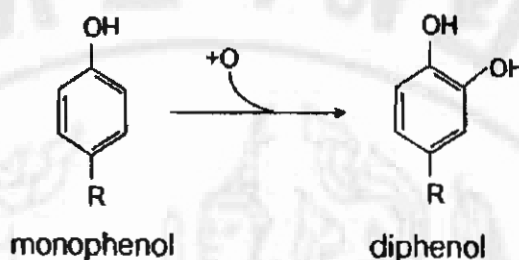


ภาพ 3 การเปลี่ยน deoxy form เป็น oxy form ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส  
ที่มา: Whitaker (1995)

1.1.2.1. ปฏิกิริยา hydroxylation เป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยน monophenol ไปเป็น *o*-diquinone (cresolase, tyrosinase หรือ monophenol oxidase activity) ปฏิกิริยานี้เริ่มจากการที่ *o*-diquinone ไปจับตัวกับ mettyrosinase โดยมี binuclear copper cluster เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ทำให้เกิดเป็น deoxytyrosinase และมีการปลดปล่อยควิโนนออกมา และ deoxytyrosinase จะมารวมตัวกับออกซิเจน เกิดเป็น oxytyrosinase จากนั้น *o*-diquinone อีกโมเลกุลหนึ่งจะเข้ามาทำปฏิกิริยากับเปอร์ออกซิเดส เกิดเป็นโมเลกุลของน้ำและควิโนน



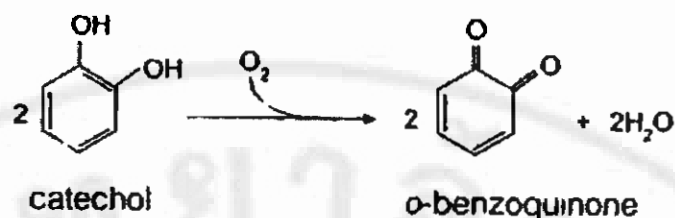
ปฏิกิริยา hydroxylation ของสารประกอบฟีนอล ณ ตำแหน่ง ortho โดยเอนไซม์ cresolase ซึ่งใช้ออกซิเจนเป็นสารตั้งต้นร่วมได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบไดฟีนอล ดังภาพ 4



ภาพ 4 ปฏิกิริยา monophenol oxidase activity ของสารประกอบฟีนอล  
ที่มา: Marshall et al. (2000)

1.1.2.2. ปฏิกิริยา dehydrogenation เป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยน *o*-dihydroxy phenol ไปเป็น *o*-diquinone (catecholase หรือ diphenol oxygen oxydoreductase activity) เริ่มต้นจากการที่ monophenol มาจับกับ copper อะตอมหนึ่งที่อยู่ในโมเลกุลของ oxytyrosinase ทำให้โมเลกุลนี้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่เพื่อให้เกิดเสถียรภาพในโมเลกุลโดยปลดปล่อยโปรตอนออกมาแล้วจับตัวกับ copper อีกอะตอมที่เหลืออยู่จากนั้น binuclear copper cluster จะปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมาเกิดเป็น deoxytyrosinase และ *o*-diquinone และเมื่อ deoxytyrosinase รวมตัวกับออกซิเจนจะเกิดเป็น oxytyrosinase อีกครั้ง

ปฏิกิริยา dehydrogenation ของสารประกอบ diphenols จะใช้ออกซิเจนเป็นสารตั้งต้นด้วยเช่นกัน เพื่อสร้างสาร *o*-quinones โดยเอนไซม์ catecholase (ภาพ 5) ปฏิกิริยานี้เรียกว่า diphenol oxidase activity จากนั้น *o*-quinone จึงเกิดการรวมตัวกับสารในกลุ่มฟีนอลอื่นๆ โดยกระบวนการพอลิเมอไรเซชันได้เป็นสารสีน้ำตาล (จริงแท้, 2549ก) โดยค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของ PPO จะอยู่ในช่วง 5.0 ถึง 7.5 ซึ่งจะแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิด (Taylor and Clydesdale, 1987)



ภาพ 5 ปฏิกริยา diphenol oxidase activity ของสารประกอบฟีนอล

ที่มา: Marshall et al. (2000)

### 1.2. การยับยั้งปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

การทำงานของ PPO เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปฏิกริยาสีน้ำตาลในผักและผลไม้ (เกียรติศักดิ์, 2551) เราสามารถยับยั้งปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลประเภทนี้ได้ โดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ การกำจัดหรือเปลี่ยนรูปของสารตั้งต้นปฏิกริยา หรืออาจใช้วิธีการซึ่งส่งผลต่อทั้งสารตั้งต้นของปฏิกริยาและกิจกรรมของเอนไซม์ นอกจากนี้ อาจทำได้โดยการกำจัดออกซิเจนซึ่งเป็นสารตั้งต้นตัวหนึ่งในปฏิกริยา การคัดเลือกพันธุ์ผักและผลไม้ที่มียีนที่ก่อให้เกิดปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลต่ำเมื่อมีการฉีกขาดของเซลล์ หรือการใช้สารเคมีที่มีสมบัติป้องกันการเกิดสีน้ำตาล เป็นต้น (Iyengar and McEvily, 1992; Martinez and Whitaker, 1995)

การใช้สารเคมีเพื่อยับยั้งปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลก่อนข้างจะมีประสิทธิภาพสูง และเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย แต่ทั้งนี้การเลือกใช้สารเคมีก็ควรคำนึงถึงธรรมชาติและความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ กลไกการยับยั้ง ความเป็นกรด่างและอุณหภูมิของอาหารที่ใช้ รวมทั้งกฎข้อบังคับ กลิ่นรส ความเป็นพิษ และราคาต่อหน่วย (เกียรติศักดิ์, 2551)

### 1.3. สารยับยั้งปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

มีบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมีเพื่อยับยั้งปฏิกริยาสีน้ำตาลในผักผลไม้ที่สำคัญ เช่น บทความของ Vamos-Vigyazo (1981), Macheix et al. (1991), Zawistowski et al. (1991), Iyengar and McEvily (1992), Martinez and Whitaker (1995), Walker (1995), Amiot et al. (1997), Artes et al. (1998) และ Yoruk and Marshall (2003) โดยเมื่อแบ่งตามกลไก การป้องกันการเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาล จะสามารถแยกสารยับยั้งการเกิดปฏิกริยาได้เป็น 6 กลุ่ม ดังตาราง 5 (Iyengar and McEvily, 1992)

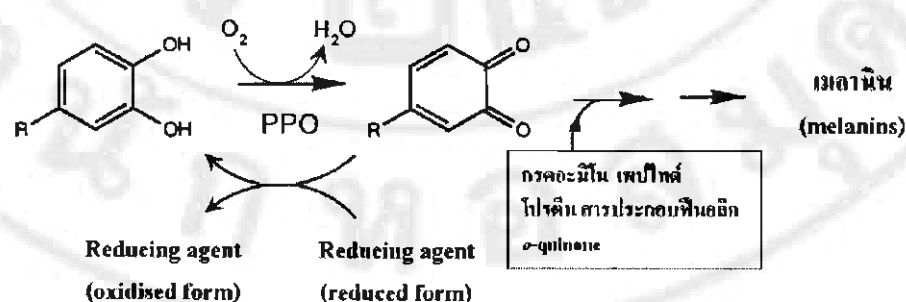
ตาราง 5 การจำแนกสารยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

| กลุ่ม                | ตัวอย่างสาร                                                                                  |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Reducing agents   | Sulphiting agents, ascorbic acid and its derivatives, glutathione, and cysteine              |
| 2. Chelating agents  | phosphates, EDTA, and organic acids                                                          |
| 3. Acidulants        | citric acid and phosphoric acid                                                              |
| 4. PPO inhibitors    | aromatic carboxylic acids, aliphatic alcohols, substituted resorcinols, anions, and peptides |
| 5. Complexing agents | cyclodextrins and chitosans                                                                  |
| 6. Enzyme treatments | ring-cleaving oxygenases and proteases                                                       |

ที่มา: Iyengar and McEvily (1992)

### 1.3.1. Reducing agents

Reducing agent จะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยการรีดิวซ์สาร *o*-quinone ที่เกิดขึ้นให้กลับไปเป็นสารประกอบฟีนอลดั้งเดิม ดังนั้น การยับยั้งปฏิกิริยาโดยใช้สารในกลุ่มนี้จะยับยั้งได้เพียงชั่วคราว เมื่อ reducing agent ถูกใช้หมดไป ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะดำเนินต่อไป (ภาพ 6) ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ได้แก่ สารประกอบซัลไฟด์ กรดแอสคอร์บิกและอนุพันธ์ (Iyengar and McEvily, 1992; Vamos-Vigyazo, 1981)



ภาพ 6 การทำงานของ reducing agents

ที่มา: เกียรติศักดิ์ (2551)

เมื่อมีการใช้ reducing agent มักมีช่วงการชะลอการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล หรือที่เรียกว่า lag phase เกิดขึ้น ช่วงระยะเวลาการชะลอจะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสาร ที่ใช้ หลังจาก reducing agent หหมดไป ปฏิกิริยาก็จะสามารถดำเนินต่อไปได้ แต่โดยทั่วไปอัตราเร็ว ของปฏิกิริยาจะลดลง (Duangmal and Owusu-Apenten, 1999)

### 1.3.2. Chelating agents

เนื่องจากเอนไซม์ชนิดนี้มีทองแดงที่บริเวณเร่ง ดังนั้น การใช้ chelator จึง ช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาได้ เพราะ chelator จะกำจัดทองแดงออกจากโครงสร้างของเอนไซม์ ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ ได้แก่ กรดอินทรีย์ และ ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) แต่ ประสิทธิภาพในการยับยั้งของ EDTA จะค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับสารยับยั้งในกลุ่มอื่น (Duangmal and Owusu-Apenten, 1999)

### 1.3.3. Acidulants

สารในกลุ่มนี้จะช่วยควบคุมค่าความเป็นกรดของอาหาร เมื่อค่า pH ของระบบต่ำกว่า 4.0 เอนไซม์จะทำงานได้ช้ามากหรือไม่ทำงาน ทั้งนี้เนื่องจากค่า optimum pH ของ เอนไซม์จะอยู่ในช่วง 5.0-7.0 นอกจากนี้ pH ของระบบยังมีผลต่อการจับตัว (binding) ของทองแดง ที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ซึ่งจะง่ายต่อการที่ chelator ที่ใช้ จะกำจัดทองแดงออกจากโครงสร้าง บริเวณเร่งของเอนไซม์ (Iyengar and McEvily, 1992; Yoruk and Marshall, 2003) ตัวอย่างของ acidulant ที่ใช้ได้แก่ สารในกลุ่มกรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก กรดมาลิก กรดทาร์ทาริก สารในกลุ่ม กรดอนินทรีย์ ได้แก่ กรดฟอสฟอริก ในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้กรดซิตริกในการยับยั้งการเกิดสี น้ำตาลอันเนื่องมาจากเอนไซม์ โดยนิยมใช้ในผักผลไม้พร้อมบริโภค ทั้งนี้เนื่องจากกรดซิตริกมี ประสิทธิภาพทั้งทางด้านการลด pH ให้ต่ำกว่า 4.0 และเป็น chelator ในการจับทองแดงที่บริเวณเร่ง ของเอนไซม์ การเลือกใช้ acidulant ตัวอื่นๆ ควรคำนึงถึงข้อจำกัดในเรื่องราคา และรสชาติของ อาหารที่อาจจะเปลี่ยนไปด้วย (Vamos-Vigyazo, 1981; Iyengar and McEvily, 1992) ในปัจจุบัน นิยมใช้กรดซิตริกร่วมกับกรดแอสคอร์บิกและอนุพันธ์ของกรดแอสคอร์บิก เพื่อช่วยยับยั้งการ เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักผลไม้พร้อมบริโภค และมีการผลิตสารผสมชนิดนี้จำหน่ายในเชิงการค้า (Artes et al., 1998)

#### 1.3.4. PPO inhibitors

ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ ได้แก่ substituted resorcinols (ได้แก่ 4-hexylresorcinol), aromatic carboxylic acids (เช่น cinnamic acid, *p*-coumaric acid และ ferulic acid), aliphatic alcohols, amino acids, peptides, anions และ kojic acid นอกจากนี้ยังพบว่า aromatic carboxylic acids มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายคลึงกับสารประกอบฟีนอลิกจึงช่วยยับยั้งปฏิกิริยาได้ แต่อย่างไรก็ตาม ในทางการค้าจะมีใช้เฉพาะ 4-hexylresorcinol เช่น ใช้ในผักผลไม้พร้อมบริโภค และกึ่งแปรรูปเป็นต้น (Iyengar and McEvily, 1992)

#### 1.3.5. Complexing agents

ตัวอย่างสารกลุ่มนี้ ได้แก่ ไซโคลเดกซ์ทริน (cyclodextrin) ซึ่งมีกลไกการยับยั้งโดยการสร้างสารประกอบเชิงซ้อน (inclusion complex) กับสารประกอบฟีนอลิก จึงช่วยยับยั้งปฏิกิริยาได้ Lopez-Nicolas et al. (2007) ได้ศึกษาผลของการใช้ cyclodextrin (ชนิด  $\alpha$  และ  $\beta$ ) ต่อการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในน้ำลูกท้อพบว่า เฉพาะ  $\alpha$ -cyclodextrin เท่านั้น ที่สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาได้

#### 1.3.6. Enzyme treatments

มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้สาร ring cleaving oxygenases, proteases และ catechol transferases ในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการนำมาประยุกต์ใช้ในเชิงการค้า (Iyengar and McEvily, 1992)

## 2. ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์

การที่จะควบคุมปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลให้เป็นไปตามต้องการได้นั้น จำเป็นต้องเข้าใจถึงกลไกต่างๆ ของปฏิกริยา ซึ่งกลไกที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในอาหารที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์นั้น ที่สำคัญมี 3 กลไกด้วยกัน คือ Maillard reaction, caramelization และ ascorbic acid oxidation

### 2.1. Maillard reaction

ค้นพบครั้งแรกในปี 1912 โดยนักเคมีชาวฝรั่งเศส ชื่อ Louis Maillard โดยพบว่าเมื่อให้ความร้อนกับสารละลายผสมระหว่าง glucose และ lysine จะทำให้เกิดการพัฒนาเป็นสารสีน้ำตาล (brown pigment) และสารพวกเมลานอยดิน (melanoidines) ต่อมาจึงมีการเรียกปฏิกริยาในลักษณะนี้ว่า ปฏิกริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งจะหมายถึงปฏิกริยาทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับหมู่อะมิโน (amino group) ได้แก่ กรดอะมิโน เปปไทด์ โปรตีน และสารประกอบเอมีน และหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) ได้แก่ น้ำตาล อัลดีไฮด์ และคีโตน (Lee, 1983) กระบวนการเกิดปฏิกริยาเมลลาร์ด แบ่งออกเป็น 3 ช่วง (ดังแสดงในภาพ 7) ประกอบด้วย

#### 2.1.1. Initial stage

Reducing sugar ถูก condensate ที่ตำแหน่ง carbonyl กับ amino group ของโปรตีนทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็น N-substituted glycosylamine ภายใต้สภาวะกรด เกิด isomerization เป็น ketone เรียกกระบวนการ Amadori arrangement ได้ผลผลิตเป็น 1-amino-1-deoxy-2-ketose derivative ซึ่งสารที่เกิดขึ้นในช่วงนี้ยังเป็นสารไม่มีสี

#### 2.1.2. Intermediate stage

ปฏิกริยาในช่วงนี้เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนของ amino group จากการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลครึ่งส่วน ประกอบด้วยกระบวนการ dehydration, cyclization, fragmentation หรือ amine condensation สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบหลัก คือ

##### 2.1.2.1. สภาวะกรด การบวนการ dehydration และ cyclization

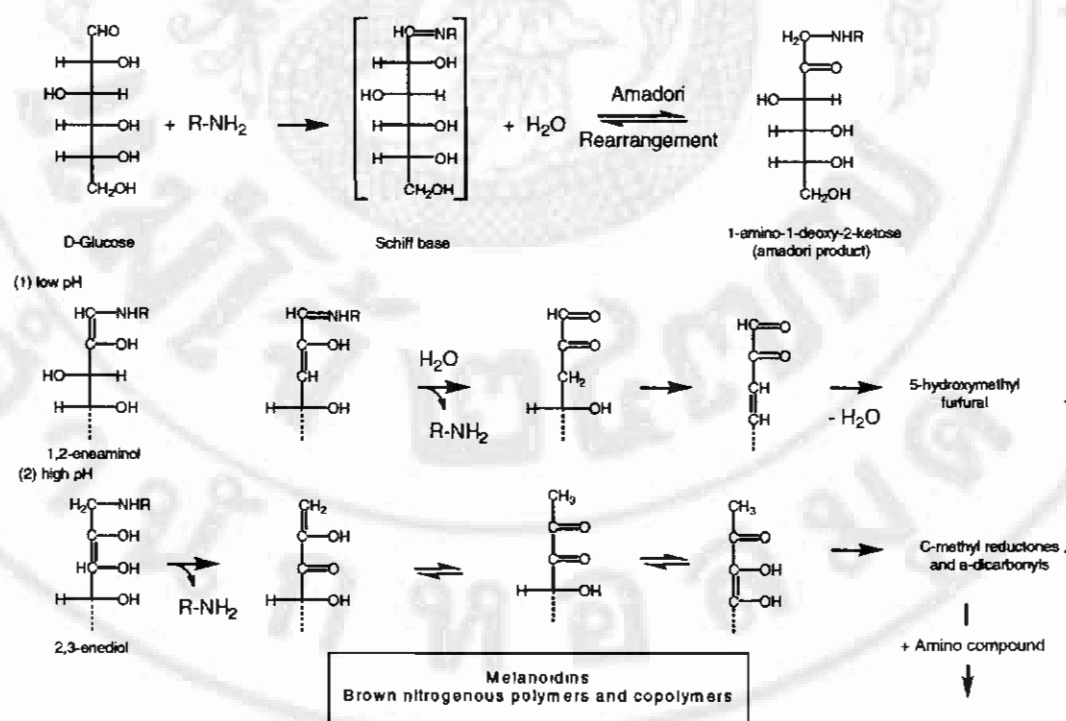
ทำให้ hexose เปลี่ยนเป็น hydroxyfurfural หรือ pentose เป็น furfural ซึ่งยังคงเป็นสารไม่มีสี แต่กระบวนการ oxidation ที่เกิดต่อไป ทำให้เกิด g-unsaturated decarboxyl compounds ได้ผลผลิตเป็นสารสีเหลือง

2.1.2.2. สภาวะต่าง 2-keto glycosyl form เปลี่ยนเป็น 1,2-enol glycosyl form เกิดกระบวนการ dehydration และ oxidation เปลี่ยนเป็น 2,3-enol form ได้ ผลิตภัณฑ์เป็น reductones และ dehydroreductones ซึ่ง dehydroreductones นี้จะไปรวมกับ amino acid ได้ผลิตผลเป็น  $\text{CO}_2$ , aldehydes และ amino-keto derivatives เรียกปฏิกิริยานี้ว่า Strecker dehydration

2.1.2.3. สภาวะอุณหภูมิสูง กระบวนการ fragmentation ทำให้เปลี่ยน Amadori product ได้เป็น carbon aldehyde 3-4 ตัว, alcohols, acids หรือ ketones ซึ่งมีสีและกลิ่นเป็นเอกลักษณ์ของ Maillard browning โดยเฉพาะ

### 2.1.3. Final stage

ปฏิกิริยาในช่วงนี้เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา polymerization ของผลผลิต ในช่วงที่ 2 และทำปฏิกิริยา copolymerization กับ amino compound สุดท้ายจะได้เป็นผลผลิตที่มีสีเป็น melanoidins หรือ brown nitrogenous polymers



ภาพ 7 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

ที่มา: อมรรัตน์ และ ลัดดา (2545)

## 2.2. Caramelization

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแก่น้ำตาลที่ระดับสูงกว่าจุดหลอมเหลว (melting point) ในสถานะที่ไม่มีสารประกอบไนโตรเจน ทำให้ monosaccharide เปลี่ยนไปอยู่ในรูป 1,2-enol form และได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นคาราเมล (caramel) ซึ่งมีกลิ่นรสเฉพาะตัว (อมรรัตน์ และ ถัดดา, 2545)

## 2.3. Ascorbic acid oxidation

กรดแอสคอร์บิก เป็นตัวกลางที่สำคัญของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ที่มีวิตามินซีสูง ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้ดีในสถานะที่มีค่า pH ต่ำกว่า 4 โดยกรดแอสคอร์บิกจะเกิดการสลายตัว (oxidation) เป็นสารจำพวก furfural, dehydroascorbic acid และ 2,3-diketogluconic acids ซึ่งการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกนี้ จะเกิดขึ้นได้ทั้งในสถานะที่มีอากาศ (aerobic) และ ไม่มีอากาศ (anaerobic) แต่ในสถานะที่มีอากาศจะเกิดการสลายตัวได้ดีกว่า (Eskin et al., 1971)



## แป้งสาลีและผลิตภัณฑ์ขนมอบ

### 1. แป้งสาลี

แป้งสาลีเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการ โม่ข้าวสาลี คุณภาพของแป้งสาลีที่ได้จะขึ้นกับคุณภาพของข้าวสาลี กรรมวิธีการ โม่ ระยะเวลาของการสกัด และระดับของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต โดยทั่วไปคุณภาพของแป้งสาลีมี 2 ระดับคือ แป้งพาเทนท์ (patent flour) และแป้งสำหรับการทำขนมอบ (baker's flour) ในแง่ของการทำผลิตภัณฑ์ขนมอบสามารถแบ่งแป้งสาลีออกได้เป็น 5 ประเภท (ดังแสดงในตาราง 6) ได้แก่ แป้งสาลีชนิดแข็ง (strong flour) ซึ่งเป็นส่วนผสมของแป้งจากข้าวสาลีที่เก็บเกี่ยวในฤดูใบไม้ผลิ (spring wheat) เป็นส่วนใหญ่ ใช้สำหรับทำขนมปัง แป้งสาลีที่มีความแข็งปานกลาง (medium flour) เป็นแป้งที่มีส่วนผสมของแป้งจากข้าวสาลีที่เก็บเกี่ยวในฤดูหนาว (winter wheat) ใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์ที่อาศัยการขึ้นฟูจากสารเคมี แป้งสาลีชนิดอ่อน (soft flour) เป็นแป้งที่มีส่วนผสมของแป้งจากข้าวสาลีพันธุ์อังกฤษ (English wheat) พันธุ์ฝรั่งเศส (French wheat) พันธุ์เยอรมัน (German wheat) และ/หรือ พันธุ์ออสเตรเลียชนิดอ่อน (weak Australian wheat) ใช้สำหรับทำเค้กปอนด์ นอกจากนี้ยังมีแป้งสาลีที่มีการฟอกสีในระดับสูง (spec. cake flour) และแป้งสาลีที่มีโปรตีนสูง (high protein flour) อีกด้วย (สุรยา, 2549)

ตาราง 6 การจำแนกประเภทของแป้งสาลีและองค์ประกอบที่สำคัญ

| Constituents   | Strong | Medium | Soft | Spec. cake | High protein |
|----------------|--------|--------|------|------------|--------------|
| Starch         | 68.0   | 71.0   | 71.2 | 75.7       | 64.7         |
| Sugars         | 1.9    | 1.9    | 2.3  | 2.3        | 2.3          |
| Proteins       | 15.0   | 12.0   | 9.2  | 7.5        | 19.5         |
| Oil            | 1.0    | 1.0    | 1.5  | 1.5        | 1.5          |
| Mineral matter | 0.6    | 0.5    | 1.0  | 1.0        | 1.0          |
| Water          | 13.5   | 13.6   | 14.8 | 12.0       | 11.5         |

ที่มา: สุรยา (2549)

แป้งสาลีที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

### 1.1. แป้งขนมปัง

มีโปรตีนสูง ประมาณ 12-14.5 % เหมาะสำหรับการทำขนมปังหรือผลิตภัณฑ์ที่หมักด้วยยีสต์ แป้งสาลีชนิดนี้ไม่จากข้าวสาลีชนิดแข็ง ลักษณะของแป้งจะหยาบ มีสีครีม

### 1.2. แป้งเค้ก

มีโปรตีนต่ำ ประมาณ 7-8 % เหมาะสำหรับการทำเค้ก และคุกกี้ เนื้อแป้งมีความเนียนละเอียดสูง สีขาวกว่าแป้งขนมปัง ทำให้ขึ้นฟูได้ด้วยสารเคมีเท่านั้น ได้แก่ ผงฟู และโซเดียมไบคาร์บอเนต

### 1.3. แป้งอเนกประสงค์

มีโปรตีนปานกลาง ประมาณ 9-11 % เหมาะสำหรับการทำคุกกี้ เพสตรี ปาท่องโก๋ และบะหมี่ เป็นต้น เป็นแป้งที่ได้จากการนำแป้งสาลีชนิดแข็งกับชนิดอ่อนมาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้มีลักษณะร่วมกันระหว่างแป้งขนมปังกับแป้งเค้ก ส่วนประกอบที่ทำให้แป้งชนิดนี้ขึ้นฟู ได้แก่ ยีสต์ และผงฟู

ในประเทศไทยได้มีการนำเข้าเมล็ดข้าวสาลี แล้วนำมาไม่แป้งสาลีชนิดต่างๆ บรรจุถุงภายใต้ชื่อทางการค้าของบริษัท ตัวอย่างของแป้งที่มีวางขายตามท้องตลาดภายใต้เครื่องหมายการค้า UFM หรือ บริษัทยูโนเด็คฟลาวมิลล์ จำกัด ได้แก่

(1) แป้งตราหงส์ขาวหรือแป้งตราห่าน เป็นแป้งที่ใช้สำหรับทำขนมปังทุกชนิด เช่น ขนมปังแซนด์วิช ขนมปังแถว ขนมปังฝรั่งเศส ขนมปังหวาน เคนนิชเพสตรี พัพเพสตรี โดนัท ยีสต์ บะหมี่ไข่และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ต้องทำจากแป้งสาลี แป้งสาลีชนิดนี้ไม่จากข้าวสาลีชนิดแข็งที่มีคุณภาพดีที่สุดจากประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนสูงมาก มีความเหนียวเป็นพิเศษ มีการดูดซับน้ำสูง และมีความทนต่อการหมักสูง

(2) แป้งตราวัว เป็นแป้งอเนกประสงค์ที่ไม่มาจากข้าวสาลีชนิดต่างๆ มีความเหนียวและการดูดซับน้ำปานกลาง เหมาะสำหรับการทำผลิตภัณฑ์พวกบิสกิต คุกกี้ แครกเกอร์ เพสตรี พาย โดนัทเค้ก เค้กผลไม้ วาฟเฟิล แพนเค้ก ทาร์ต ขนมไข่ ขนมเปียะ ปาท่องโก๋ บะหมี่ไข่ ฯลฯ

(3) แป้งตราดอกบัวแดง หรือแป้งตราบัวแดง เป็นแป้งที่ไม่จากข้าวสาลีที่มีคุณภาพสูงด้วยกรรมวิธีพิเศษ เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนต่ำและมีความเหนียวน้อย มักใช้แป้งชนิดนี้ในการทำซาลาเปา สปันจ์เค้ก บิสกิต คุกกี้ ฟูฟ่าย ขนมไข่ เค้กเนย แยมโรล ฯลฯ

(4) แป้งตราพัดโบก เป็นแป้งที่ใช้สำหรับทำเค้กที่มีคุณภาพดีโดยเฉพาะใน ส่วนผสมที่มีปริมาณน้ำตาลสูง เช่น เค้กเนย หรือในเค้กที่ใช้ไข่ในปริมาณมาก เช่น ชิฟฟอนเค้ก สปันจ์เค้ก ฯลฯ เป็นแป้งเค้กชนิดพิเศษที่ไม่จากข้าวสาลีที่มีคุณภาพสูงด้วยกรรมวิธีพิเศษ เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนต่ำและมีความเหนียวน้อย

แป้งสาลีเป็นแป้งที่ใช้ทำขนมอบทุกชนิด ไม่มีแป้งชนิดอื่นที่นำมาใช้แทนกันได้ ถึงแทนกันได้บ้างแต่สมบัติจะไม่เหมือนแป้งสาลี ทั้งนี้เพราะแป้งสาลีมีโปรตีน 2 ชนิด รวมกันอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม คือ กลูเตนิน (glutenin) และไกลอะดีน (gliadin) โปรตีนในแป้งสาลีจะดูดซับน้ำได้อย่างน้อยประมาณ 2 เท่า ของน้ำหนักตัวมันเอง โดยแป้งสาลีที่มีโปรตีนสูงจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีกว่าแป้งสาลีที่มีโปรตีนต่ำ เมื่อเติมน้ำลงไป แป้งสาลีแล้วนวด โปรตีนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นกลูเตน (gluten) ซึ่งมีลักษณะเป็นยางเหนียว ยืดหยุ่นได้ แป้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้จะถูกเรียกว่า โด (dough) ถ้าหมักโดไว้ระยะหนึ่งแล้วนำมาล้างน้ำ จะพบว่า ส่วนประกอบต่างๆ จะหลุดออกไป เหลือเพียงส่วนของกลูเตนเท่านั้น โดยกลูเตนนี้จะเป็ตัวเก็บก๊าซเอาไว้ทำให้เกิดโครงสร้างที่จำเป็นของขนมอบ และจะเป็นโครงสร้างแบบฟองน้ำเมื่อได้รับความร้อนจากการอบ (ภัทรภณ, 2552)

## 2. ขนมปัง

สูตรพื้นฐานของขนมปังโดยทั่วไปประกอบด้วยแป้งสาลี ยีสต์ เกลือ น้ำ และยังมีส่วนผสมอื่นๆ ได้แก่ ไขมัน น้ำตาล และสารลดแรงตึงผิว เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมแต่ละชนิดจะมีหน้าที่แตกต่างกัน คือ แป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลักที่มีสมบัติเฉพาะตัวในการให้โดที่เหนียวและยืดหยุ่นเมื่อเติมน้ำ ทำให้กักเก็บก๊าซได้ และทำให้ขนมปังเนื้อนุ่มมีโครงสร้างดี โดยก่อนโดจะเกิดจากการรวมตัวกันของโปรตีน 2 ชนิด คือ กลูเตนิน (glutenin) และไกลอะดีน (gliadin) ได้เป็นสารประกอบโปรตีนที่มีความเหนียวยืดหยุ่นได้ เรียกว่า กลูเตน (gluten) ยีสต์จะมีหน้าที่หลักในการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และเอทานอล โดยก๊าซที่ผลิตขึ้นจะทำให้ได้ขนมปังขึ้นฟู เกลือจะมีหน้าที่หลักในการเพิ่มรสชาติ ทำให้โดแข็งแรง ไขมันจะไปเพิ่มปริมาตรและทำให้ขนมปังนุ่ม รวมถึงช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษา น้ำตาลเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตสำหรับยีสต์

และให้รสชาติ สารออกซิแดนท์ เช่น กรดแอสคอร์บิก และ โปแทสเซียมโบรเมต จะทำให้ขนมปังมีเนื้อสัมผัสและปริมาตรที่ดี ส่วนสารลดแรงตึงผิวจะช่วยให้โดมีความแข็งแรงและป้องกันการเสื่อมสภาพของขนมปัง (สุชาดา, 2546) และสำหรับการอบ ซึ่งเป็นขั้นตอนการทำให้ผลิตภัณฑ์สุกและพร้อมบริโภค ในขั้นตอนการอบจะมีการเปลี่ยนแปลงก่อนโดดังนี้คือ เมื่อก่อนโดได้รับความร้อนปริมาตรของก้อนโดจะเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นนี้เรียกว่า “oven spring” เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 130 °ซ เม็ดแป้งจะเริ่มพองตัวและดูดซับความชื้นจากส่วนผสมอื่นๆ จากนั้นเม็ดแป้งจะเกิดการเจลาติไนเซชันซึ่งส่งผลให้มีการดึงความชื้นจาก กลูเตนมากขึ้น กลูเตนจะแห้งและเกิดการตกตะกอน (อุณหภูมิประมาณ 165 °ซ) เหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นจนสิ้นสุดกระบวนการอบ ผิวนอกของขนมปังจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาของแป้งและน้ำตาลที่เปลี่ยนเป็นเดกซ์ทริน และเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) สำหรับเวลาที่ใช้ในการอบจะขึ้นกับขนาดของก้อนโด ส่วนผสม สีของผิวขนมปังที่ต้องการ และสภาพอากาศในขณะนั้น

### 3. เค้กเนย

เค้กเนย เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีส่วนผสมของแป้งสาลี เนย น้ำตาล เกลือ ไข่ นม กลิ่นรส และสารที่ทำให้เกิดการขึ้นฟู เช่น ผงฟู หรือโซเดียมไบคาร์บอเนต เป็นต้น โดยความสมดุลย์ของส่วนผสมที่ใช้จะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (สุชาดา, 2549) วิธีการผลิตเค้กเนย ประกอบด้วย การผสม ตักใส่พิมพ์ และนำเข้าอบ ซึ่งการผสมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ส่วนผสมทั้งหมดเป็นเนื้อเดียวกัน มีการกักเก็บอากาศไว้ภายในส่วนผสมมากที่สุด และทำให้เนื้อแป้งกลายเป็นกลูเตนน้อยที่สุด (Bennion and Bamford, 1973) เค้กเนย เป็นเค้กที่มีปริมาณไขมันสูง การขึ้นฟูของเค้กเกิดจากการตีเนยให้ขึ้นฟู ซึ่งฟองอากาศจะกระจายใน liquid fat ที่อยู่รอบๆ ผลึกไขมัน ไขมันจะเก็บอากาศไว้ได้ดีเมื่อผลึกอยู่ใน  $\beta'$  form ฟองอากาศจะมีลักษณะเล็ก ง่ายในการตีให้ขึ้น และมีปริมาณมาก ทำให้ไขมันมีลักษณะเป็นครีมเนียน (Stauffer, 1998)

### การใช้แป้งชนิดอื่นทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ

ผลิตภัณฑ์ขนมอบ เป็นผลิตภัณฑ์ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทำคือแป้งสาลี แต่จากข้อมูลของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม (2548) พบว่าปริมาณข้าวสาลีที่ประเทศไทยปลูกได้ยังถือว่าน้อยมากและไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ ทำให้ประเทศไทยยังคงต้องมีการนำเข้าแป้งสาลีจากต่างประเทศอยู่ ซึ่งในปี 2553 และ 2554 ประเทศไทยมีการนำเข้าแป้งสาลีและเมล็ดข้าวสาลี คิดเป็นมูลค่ากว่า 12,367.86 และ 18,704.38 ล้านบาท ตามลำดับ (สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์, 2555) โดยเมล็ดข้าวสาลีและแป้งสาลีที่นำเข้าราว 2 ใน 3 จะถูกแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการบริโภค ส่วนที่เหลือราว 1 ใน 3 จะถูกนำไปใช้ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำ ซึ่งสัดส่วนของการนำเข้าแป้งสาลีมาบริโภคจะแยกออกได้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบ 35 % บะหมี่สำเร็จรูป 30 % บิสกิต 10 % และการนำไปใช้ในลักษณะอื่นอีก 25 % (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2548)

ในปีค.ศ.1964 FAO (Food and Agriculture Organization United Nation) ได้ริเริ่มโครงการ Composite flour ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีการนำเข้าแป้งชนิดต่างๆ ที่สามารถผลิตได้ในแต่ละประเทศมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ทั้งนี้ก็เพื่อช่วยลดการใช้และการนำเข้าแป้งสาลีจากต่างประเทศ อีกทั้งยังเป็นการช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและสร้างความปลอดภัยให้กับผลิตภัณฑ์ได้อีกทางหนึ่ง ด้วยเหตุนี้ จึงได้มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการนำแป้งชนิดอื่นมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

Lorenz and Coulter (1991) ศึกษาการใช้แป้งข้าวคีนัว (quinoa) ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5, 10, 20 และ 30 % ในการทำคุกกี้ พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการทดแทนจะทำให้คุกกี้มีค่าความสว่าง การแผ่ขยายตัว และการยอมรับด้านลักษณะปรากฏลดลง โดยระดับการทดแทนสูงสุดที่ผู้บริโภคยังคงให้การยอมรับ คือ 20 % เนื่องจากการใช้แป้งข้าวคีนัวทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 30 % จะทำให้คุกกี้มีรสขมคั่งค้างหลังกลืน อริสรา และ อรอุมา (2550) ศึกษาการใช้แป้งข้าวหอมนิลที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 180 ไมโครเมตร ทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในการทำคุกกี้ ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของแป้งข้าวหอมนิลพบว่า มีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต 8.18, 3.76, 10.27, 7.25, 1.18 และ 69.17 % ตามลำดับ เมื่อนำไปใช้ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 % ในการทำคุกกี้ พบว่าสามารถใช้ทดแทนได้มากที่สุดถึง 50 % โดยคุกกี้ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมนิลจะมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงกว่า มีสีเข้มกว่า แต่มีค่าความแข็งต่ำกว่าคุกกี้ที่ทำจากแป้งสาลีล้วน รุจิรา และคณะ (2543) ได้ทดลองใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีในการทำเค้กและคุกกี้ พบว่าเมื่อใช้แป้งข้าวผสมกับแป้งสาลี จะทำให้เค้กเหนียว

คะแนนการยอมรับทางประสาทลดลงตามปริมาณของแป้งข้าวที่เพิ่มขึ้น โดยการผสมแป้งข้าวลงในแป้งสาลี 20 % เค้กเนยจะยังคงได้รับการยอมรับใกล้เคียงกับเค้กเนยที่ทำจากแป้งสาลีล้วน และเมื่อเพิ่มความละเอียดของตะแกรงร่อนแป้งจาก 140 เมช เป็น 200 เมช พบว่าจะทำให้เค้กเนยมีคุณภาพดีขึ้น และการเติม SP 7 % จะช่วยให้เค้กที่ทำจากแป้งข้าวได้รับการยอมรับใกล้เคียงกับเค้กเนยที่ทำจากแป้งสาลีล้วน ส่วนการทดลองทำคุกกี้จากแป้งข้าวโดยใช้สูตรการค้า พบว่าสามารถนำแป้งข้าวมาผลิตเป็นคุกกี้ได้ แต่จะได้รับการยอมรับต่ำกว่าคุกกี้ที่ทำจากแป้งสาลีล้วน โดยคุกกี้แป้งข้าวจะมีเนื้อหยาบกว่าคุกกี้แป้งสาลีเล็กน้อย เมื่อวางทิ้งไว้ในห้องที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 77-84 % เป็นเวลา 6 ชั่วโมง คุกกี้แป้งข้าวจะอ่อนตัวเร็วกว่าคุกกี้แป้งสาลี ดังนั้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพคุกกี้แป้งข้าวจึงควรไม่แป้งให้ละเอียด และการเติมแป้งข้าวพรีเจลจะช่วยชะลอการอ่อนตัวของคุกกี้ให้ช้าลงได้ ภัทรภณ (2552) ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวสาลี และพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังโดยใช้แป้งข้าวสาลีทดแทนแป้งสาลีบางส่วน พบว่าแป้งข้าวสาลีมีปริมาณไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตสูงกว่า แต่มีปริมาณโปรตีน และแอมิโลสต่ำกว่าแป้งสาลี และยังพบอีกด้วยว่า แป้งข้าวสาลีมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าแป้งสาลีถึง 2.6 เท่า ส่วนผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพพบว่า แป้งข้าวสาลีมีค่าการละลายน้ำต่ำกว่า แต่มีค่ากำลังการพองตัวไม่แตกต่างจากแป้งสาลี และเมื่อนำแป้งข้าวสาลีไปใช้ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 0-50 % ในการทำขนมปัง พบว่าระดับการทดแทนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ขนมปังมีความความแข็ง มีความชื้นของกลั่นรสน้ำหนัก และกลั่นรสขมเพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณจำเพาะ และคะแนนการยอมรับในด้านต่างๆ ลดลง โดยระดับการทดแทนสูงสุดที่ผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคส่วนใหญ่คือ 30 %

ถั่วและธัญพืช เป็นพืชที่มีปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตสูง ดังนั้นจึงได้มีการนำมาผลิตเป็นแป้งเพื่อใช้ทดแทนแป้งสาลีด้วยเช่นกัน โดยภรณ์ (2540) ได้ทดลองนำแป้งถั่วเขียวผสมแป้งสาลีมาใช้ในการทำขนมอบ พบว่าแป้งผสมระหว่างแป้งถั่วเขียวกับแป้งสาลีมีความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน ความคงตัวของอิมัลชัน ความสามารถในการเกิดฟอง และความคงทนของฟองสูงกว่า แต่มีความสามารถในการเกิดเจล ค่าความหนืดสูงสุด ค่า setback และค่า consistency ต่ำกว่าแป้งสาลี เมื่อนำมาทำเป็นคุกกี้ พบว่าค่า spread factor และความแข็งของเนื้อสัมผัสไม่มีความแตกต่างกัน แต่จะมีค่า  $a^*$  ลดลง โดยคุกกี้ที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วเขียวที่ระดับ 10 % จะได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคไม่แตกต่างจากคุกกี้ที่ทำจากแป้งสาลีล้วน โดยองค์ประกอบทางเคมีของคุกกี้จะมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต 1.63, 5.63, 18.74, 1.76, 0.1 และ 72.14 % ตามลำดับ McWatters et al. (2003) ได้ศึกษาผลของการใช้แป้ง fonio และแป้งถั่วพุ่ม (cowpea) ทดแทนแป้งสาลีต่อลักษณะทางกายภาพและประสาทสัมผัสของคุกกี้ พบว่าคุกกี้ที่ทำจากแป้งสาลีล้วนมีการแผ่ขยายตัว

สูงสุด ขณะที่ลูกกึ่งที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วพุ่ม 25 % จะมีการแผ่ขยายตัวต่ำสุด และลูกกึ่งที่มีส่วนผสมของแป้งถั่วพุ่มจะมีความแข็งแรงมากกว่าลูกกึ่งที่มีส่วนผสมของแป้ง fonio เมื่อทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้ง fonio และแป้งถั่วพุ่ม ไม่มีผลต่อการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี และเนื้อสัมผัส แต่มีผลต่อการยอมรับด้านกลิ่นรส และความชอบโดยรวม โดยลูกกึ่งที่มีการใช้แป้ง fonio ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 50 % มีคะแนนการยอมรับไม่แตกต่างจากลูกกึ่งที่ทำจากแป้งสาลีล้วน นอกจากนี้ สมชาย และคณะ (2541) ยังได้ทดลองใช้แป้งถั่วเขียวผิวนั้น แป้งถั่วเขียวผิวดำ และแป้งถั่วมะแฮะทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 10, 20, 25 และ 30 % ในการทำลูกกึ่ง พบว่าลูกกึ่งที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวผิวนั้น 20 % แป้งถั่วเขียวผิวดำ 10 % และแป้งถั่วมะแฮะ 10 % มีคะแนนการยอมรับในด้านสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสสูงสุด เมื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี พบว่ามีปริมาณโปรตีน 8.49, 7.45 และ 7.56 % ตามลำดับ และมีปริมาณไขมัน 26.82, 32.84 และ 28.47 % ตามลำดับ

ผักและผลไม้ เป็นวัตถุดิบที่อุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุ ใยอาหาร และสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด ดังนั้นจึงได้มีการนำมาผลิตเป็นแป้งเพื่อใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น จีรภา และคณะ (2547) ได้ศึกษาการนำฟักทองผงที่ผลิตจากฟักทองพันธุ์คางคก ไปใช้ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 % ในการทำขนมปังแซนดวิช ขนมปังหวาน เล็กเนย ชิฟฟอนเค้ก ลูกกึ่ง และวอฟเฟิลล์ พบว่าสามารถใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลีได้มากที่สุดที่ระดับ 20 % ในการทำเค้กเนย และ 10 % ในการทำขนมปังหวาน ชิฟฟอนเค้ก ลูกกึ่ง และวอฟเฟิลล์ สุชาติ (2546) ได้ศึกษาการนำแป้งกล้วยน้ำว้ามาใช้ทดแทนแป้งสาลีในการทำขนมปังเล็ก และลูกกึ่ง พบว่าสามารถใช้แป้งกล้วยทดแทนแป้งสาลีในขนมปังได้ 15-20 % ส่วนเล็กและลูกกึ่งสามารถทดแทนได้ 70-90 % โดยขนมปังที่ได้จะมีสีเนื้อในคล้ำขึ้น มีปริมาณร่วนและความนุ่มลดลง เล็กที่ได้จะมีปริมาณร่วนและความนุ่มลดลง และลูกกึ่งที่ได้จะมีปริมาณร่วน ความกรอบ และการแผ่ขยายตัวลดลง แต่มีความหนาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาของศศิธร และอุไรวรรณ (2545) ที่ได้นำแป้งพรีเจลาติไนซ์เมล็ดขนุนมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในการทำลูกกึ่งเนย โดยนำเมล็ดขนุนไปคั่วที่อุณหภูมิ 100 °ซ 45 นาที ทำให้เย็นทันที ปอกเปลือกและหั่นบางๆ นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °ซ 5 ชั่วโมง บดเป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี พบว่ามีปริมาณโปรตีน ความชื้น ไขมัน เถ้า ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต 11.03, 9.29, 0.26, 2.89, 3.56 และ 72.96 % ตามลำดับ เมื่อนำไปใช้ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 0, 30, 50, 70 และ 100 % ในการทำลูกกึ่งเนย พบว่าที่ระดับการทดแทน 50 % จะได้รับการยอมรับมากที่สุด และการศึกษาของศศิวิมล (2552) ที่ได้ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งสาธูเปรียบเทียบกับแป้งสาลีอื่นนอกประสงค์ พบว่า แป้งสาธูมีองค์ประกอบทางเคมี ความสามารถในการพองตัว และ

สมบัติด้านความหนืด (pasting properties) แตกต่างจากแป้งสาลีอเนกประสงค์ โดยแป้งสาครมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า แต่มีความสามารถในการพองตัวสูงกว่า เมื่อนำแป้งสาครไปใช้ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 % ในการทำคุกกี้ก็ค้นพบพบว่า เมื่อระดับการทดแทนเพิ่มขึ้น คุกกี้จะมีระดับการแผ่ขยายตัว ความโปร่งของเนื้อ และความเปราะเพิ่มขึ้น แต่จะมีความหนาแน่น และความแข็งแรงลดลง จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า เมื่อระดับการทดแทนเพิ่มขึ้น คะแนนการยอมรับในด้านต่างๆ จะมีค่าลดลง โดยระดับการทดแทนสูงสุดที่ผลิตภัณฑ์ยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคส่วนใหญ่คือ 40 %



**บทที่ 3**  
**อุปกรณ์และวิธีการ**

**อุปกรณ์**

**1. วัตถุดิบ**

**1.1. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตฟักทอง เผือก และถั่วแดงผง**

- 1.1.1. ฟักทองญี่ปุ่น พันธุ์ดีลิการ์ (Delicar)
- 1.1.2. เผือกหอม
- 1.1.3. ถั่วแดง พันธุ์หมอกจ้าม (Mok Cham)

**1.2. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขนมปัง เค้กเนย และไส้ขนมปัง**

- 1.2.1. แป้งสาลี ตราหงส์ขาว ตราพัดโบก และตราว่าว
- 1.2.2. น้ำตาลทราย ตรามิตรผล
- 1.2.3. น้ำตาลทรายป่น ตราไดนาสดี
- 1.2.4. น้ำตาลทรายแดง ตราข้าวทอง
- 1.2.5. น้ำตาลปี๊บ ตรามิตรผล
- 1.2.6. แปะแซ ตราปลาแฟนซีคาร์ฟ
- 1.2.7. เกลือป่น ตราปรุททิพย์
- 1.2.8. ผงฟู ตราเบสท์ฟูดส์
- 1.2.9. ยีสต์ผง ตราเพอร์มิติน บราวน์
- 1.2.10. นมผง ตราสเปเชียล เบเกอร์
- 1.2.11. นมข้นจืด ตราคาร์เนชั่น
- 1.2.12. เนยสด ตราอลาเว่
- 1.2.13. เนยขาว ตราอิมพีเรียล
- 1.2.14. ไข่ไก่ ตราซีพี
- 1.2.15. สารอิมัลซิไฟเออร์ ตราอีซี 25 เค
- 1.2.16. กะทิ ตราชาวเกาะ
- 1.2.17. น้ำมันถั่วเหลือง ตราโอลีน

## 2. สารเคมี

### 2.1. วัตถุเจือปนอาหาร

- 2.1.1. โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS, food grade)
- 2.1.2. กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid, food grade)
- 2.1.3. กรดซิตริก (citric acid, food grade)
- 2.1.4. กรดออกซาลิก (oxalic acid, food grade)
- 2.1.5. โซเดียมเอริทอร์เบท (sodium erythorbate, food grade)
- 2.1.6. แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride, food grade)
- 2.1.7. แอลซิสเทอีน (*L*-cysteine, food grade)
- 2.1.8. โซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate, food grade)
- 2.1.9. มอลโตเดกซ์ตริน (maltodextrin, food grade)

### 2.2. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 2.2.1. กรดซัลฟูริก (sulfuric acid, A.R. grade)
- 2.2.2. กรดบอริก (boric acid, A.R. grade)
- 2.2.3. กรดอะซิติก (acetic acid, A.R. grade)
- 2.2.4. กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, A.R. grade)
- 2.2.5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, A.R. grade)
- 2.2.6. อะซิโตน (acetone, A.R. grade)
- 2.2.7. อะซิโตนไนไตรล์ (acetonitrile, HPLC grade)
- 2.2.8. เมทานอล (methanol, A.R. grade)
- 2.2.9. เอทานอล (ethanol, A.R. grade)
- 2.2.10. เฮกเซน (hexane, A.R. grade)
- 2.2.11. โบรโมคริสซอลกรีน (bromocresol green, A.R. grade)
- 2.2.12. เมทิลเรด (methyl red, A.R. grade)
- 2.2.13. เอนไซม์โปรตีเอส (protease)
- 2.2.14. เอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (amylglucosidase)
- 2.2.15. เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (Termamyl heat-stable  $\alpha$ -amylase)
- 2.2.16. เบต้าแคโรทีน ( $\beta$ -carotene)

- 2.2.17. แอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (potato amylose pure)
- 2.2.18. สารเร่งปฏิกิริยาสำเร็จรูปอัดเม็ด (Kjeldahl tablets, 5 g/tablet)
- 2.2.19. สารช่วยกรอง (Celite 545, A.R. grade)
- 2.2.20. ไอโอดีน (iodine, A.R. grade)
- 2.2.21. โซเดียมฟอสเฟตไดเบสิกแอนไฮไดรรัส (sodium phosphate dibasic anhydrous, A.R. grade)
- 2.2.22. โซเดียมฟอสเฟตโมโนเบสิกโมโนไฮเดรต (sodium phosphate monobasic monohydrate, A.R. grade)
- 2.2.23. เปปโตน (peptone water)
- 2.2.24. อาหารเลี้ยงเชื้อ (plate count agar; PCA)
- 2.2.25. อาหารเลี้ยงเชื้อ (potato dextrose agar; PDA)

### 3. เครื่องมือ

#### 3.1. เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตฟักทอง เผือก และถั่วแดงผง

- 3.1.1. เครื่องบดอาหาร (food processors) ยี่ห้อ Moulinex รุ่น AY46R4
- 3.1.2. หม้อนึ่งความดัน (autoclave) ยี่ห้อ All American รุ่น 1941X
- 3.1.3. เครื่องอบแห้งแบบถาด (tray dryer) ยี่ห้อ Termaks รุ่น TS8000
- 3.1.4. เครื่องบดแบบใช้แรงเหวี่ยง (ultra centrifugal mill) ยี่ห้อ Retsch รุ่น ZM1000
- 3.1.5. เครื่องร่อนแป้งพร้อมตะแกรง (sieve shaker) ยี่ห้อ Retsch รุ่น AS200 basic
- 3.1.6. อุปกรณ์งานครัว ประกอบด้วย มีดหั่น มีดปอก เขียงพลาสติก กระดาษมันสแตนเลส กระดาษพลาสติก ตะกร้าพลาสติก หม้อสแตนเลส ทัพพี กระชอน ช้อนตวง และถุงโพลีโพรพิลีน

#### 3.2. เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตขนมปัง เค้กเนย และไส้ขนมปัง

- 3.2.1. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (analytical balance) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น TE3102S
- 3.2.2. เครื่องผสมแบบตั้งโต๊ะ (stand mixer) ยี่ห้อ KitchenAid รุ่น K5SS

3.2.3. เตาอบไฟฟ้า (electric oven) ยี่ห้อ King Machines รุ่น BOI-1-2E

3.2.4. อุปกรณ์งานครัว ประกอบด้วย ช้อนตวง ถ้วยตวง ตะแกรงร่อน แป้ง ไม้คลึงแป้งแปรงสำหรับทาพิมพ์ พิมพ์ขนมปัง ขนาด 3×7×2.5 นิ้ว (กว้าง×ยาว×สูง) พายยาง พายไม้ ถาดอลูมิเนียม ตะแกรงสแตนเลส มีดหั่นขนมปัง ผ้าขาวบาง ถุงมือกันร้อนล้งถึง และ กระดาษทองเหลือง

### 3.3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.3.1. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical balance) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP224S

3.3.2. ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ยี่ห้อ Termaks รุ่น TS4115

3.3.3. เตาให้ความร้อน (hot plate) ยี่ห้อ Framo รุ่น M21/1

3.3.4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ยี่ห้อ Memmert รุ่น WNB22

3.3.5. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Mettler-Toledo รุ่น S20 SevenEasy

3.3.6. เครื่องปั่นเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ (centrifuge) ยี่ห้อ Sorvall รุ่น RC-5C Plus

3.3.7. เครื่องผสมสารละลาย (vortex mixture) ยี่ห้อ IKA รุ่น MS2 Minishaker

3.3.8. เครื่องวัดสี (Tri-stimulus colorimeter) ยี่ห้อ Juki รุ่น JC801

3.3.9. เครื่องวัดกิจกรรมของน้ำ (water activity meter) ยี่ห้อ AquaLab รุ่น 3TE

3.3.10. เครื่องเคลือบทอง (fine coater) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JFC-1200

3.3.11. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy; SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410LV

3.3.12. เครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว (rapid visco analyzer; RVA) ยี่ห้อ Newport Scientific รุ่น RVA-4

3.3.13. เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer) ยี่ห้อ Stable Microsystems รุ่น TA.XT Plus

3.3.14. ชุดวิเคราะห์โปรตีน (Kjeltech™ systems)

3.3.14.1. digester ยี่ห้อ Tecator รุ่น 2012

3.3.14.2. distilling unit ยี่ห้อ Tecator รุ่น 1026

3.3.15. เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxtec™ System HT)

3.3.15.1. extraction unit ยี่ห้อ Tecator รุ่น 1043

3.3.15.2. service unit ยี่ห้อ Tecator รุ่น 1046

3.3.16. ชุดวิเคราะห์ใยอาหาร (Fibertec™ System E)

3.3.16.1. filtration module ยี่ห้อ FOSS Tecator รุ่น 1023

3.3.16.2. shaking water bath ยี่ห้อ FOSS Tecator รุ่น 1024

3.3.17. เตาเผาอุณหภูมิสูง (muffle furnace) ยี่ห้อ Lenton รุ่น AWF130-12

3.3.18. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ยี่ห้อ

RAYLEIGH รุ่น VIS-723G

3.3.19. ชุดกรอง (syringe filter holder) ยี่ห้อ Whatman ขนาด 13 มม.

3.3.20. ชุดกรองสุญญากาศ (vacuum filter assembly) ยี่ห้อ Wheaton  
ขนาด 47 มม.

3.3.21. อ่างล้างความถี่สูง (ultrasonic bath) ยี่ห้อ Branson รุ่น B-5510E-  
MT

3.3.22. เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance  
liquid chromatography; HPLC) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น LC-20A พร้อมคอลัมน์ Inertsil ODS-3 ขนาด  
4.6×150 มม.

3.3.23. ตู้ปลอดเชื้อ (laminar flow) ยี่ห้อ Holten รุ่น HB2472

3.3.24. ตู้บ่ม (incubator) ยี่ห้อ Termaks รุ่น B8000

3.3.25. อุปกรณ์เครื่องแก้ว ประกอบด้วย หลอดทดลองฝาเกลียว หลอด  
ย่อย กระบอกตวง ปิเปต บิวเรต ขวดรูปชมพู่ บีกเกอร์ ขวดคูลเรน กรวยกรอง ขวดปรับปริมาตร แท่ง  
แก้วคนสาร จานเพาะเชื้อ และโถดูดความชื้น

3.3.26. อุปกรณ์อื่นๆ ประกอบด้วย กระจ่างอุณหภูมิเยือกพร้อมฝา คีมตัก  
ทิมเบิล ช้อนตักสาร ครุชเชิลกระเบื้อง ครุชเชิลแก้ว ลูกยางดูดสาร ขวดน้ำกลั่น ไมโครปิเปต  
กระดาศกรอง สำลี อะลูมิเนียมฟอยล์ เมล็ดงาคอย นาฬิกาจับเวลา ถุงซิปล้ำ แก้วน้ำ แบบทดสอบทาง  
ประสาทสัมผัส คอมพิวเตอร์ และโปรแกรม SPSS for Windows เวอร์ชัน 16.0

## วิธีการ

### 1. การศึกษากระบวนการผลิตฟักทอง เฝือก และฉั้วแดงผงที่เหมาะสม

#### 1.1. ผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของฟักทองผง

##### 1.1.1. ผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลต่อคุณภาพของฟักทองผง

นำฟักทองมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก หั่นให้มีขนาดหนา  $1.0 \pm 0.2$  ซม. แล้วแช่ในสารละลายป้องกันการเกิดสีน้ำตาล 7 ชนิด ได้แก่ โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ (KMS) 0.15 % 20 นาที กรดแอสคอร์บิก (AA) 0.30 % 20 นาที กรดซิตริก (CA) 0.10 % 40 นาที กรดออกซาลิก (OA) 0.20 % 20 นาที โซเดียมอีริธโรเบท (NaE) 0.50 % 20 นาที แคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) 1.00 % 40 นาที และแอล-ซิสเทอีน (L-cys) 0.05 % 40 นาที โดยมีฟักทองที่แช่ในน้ำกลั่น 40 นาที เป็นตัวอย่างควบคุม เหน้าที่ใส่แช่ทิ้ง นำฟักทองไปสับละเอียดด้วยเครื่องบดอาหาร เกลี่ยลงบนถาดอบขนาด  $40 \times 50$  ซม. (500 กรัมต่อถาดอบ) จำนวน 4 ถาด อบแห้งที่อุณหภูมิ  $65^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 9 ชั่วโมง บดให้เป็นผงด้วยเครื่อง ultra centrifugal mill ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช แล้วนำไปวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ ดังนี้

- (1) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่ากิจกรรมของน้ำ ( $a_w$ ) ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology) และสมบัติด้านความหนืด (pasting properties) (ภาคผนวก ข)
- (2) สมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่า pH ปริมาณความชื้น แอมิโลส และเบต้าแคโรทีน (ภาคผนวก ค)
- (3) สมบัติทางหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ (water absorption capacity; WAC) ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (oil absorption capacity; OAC) ดัชนีการละลายน้ำ (water solubility index; WSI) ความสามารถในการพองตัว (swelling capacity; SC) และความหนาแน่นจำเพาะ (bulk density; BD) (ภาคผนวก ง)

##### 1.1.2. ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของฟักทองผง

ทำการผลิตฟักทองผงตามวิธีการที่ดีที่สุดจากข้อ 1.1.1. โดยแปรระดับของอุณหภูมิอบแห้งเป็น 45, 55, 65, 75 และ  $85^\circ\text{C}$  อบจนตัวอย่างมีความชื้นสุดท้าย 6-8 % แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และหน้าที่ เช่นเดียวกับข้อ 1.1.1. ยกเว้นค่า pH

## 1.2. ผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของ เผือกผง

### 1.2.1. ผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลต่อคุณภาพของเผือกผง

นำเผือกหอมมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก หั่นให้มีความหนา  $1.0 \pm 0.2$  ซม. แล้วแช่ในสารละลายป้องกันการเกิดสีน้ำตาล 7 ชนิด ได้แก่ KMS 0.15 % 60 นาที AA 0.10 % 20 นาที CA 0.30 % 20 นาที OA 0.20 % 20 นาที NaE 0.10 % 20 นาที  $\text{CaCl}_2$  1.00 % 40 นาที และ L-cys 0.05 % 60 นาที โดยมีเผือกที่แช่ในน้ำกลั่น 60 นาที เป็นตัวอย่างควบคุม เทน้ำที่ใช้แช่ทิ้ง นำเผือกไปสับละเอียดด้วยเครื่องบดอาหาร เกลี่ยลงบนถาดอบขนาด  $40 \times 50$  ซม. (500 กรัม ต่อถาดอบ) จำนวน 4 ถาด อบแห้งที่อุณหภูมิ  $65^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 8 ชั่วโมง บดให้เป็นผงด้วยเครื่อง ultra centrifugal mill ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช แล้วนำไปวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ ดังนี้

- (1) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่ากิจกรรมของน้ำ ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสมบัติด้านความหนืด (ภาคผนวก ข)
- (2) สมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่า pH ปริมาณความชื้น แอมิโลส และแอนโทไซยานินทั้งหมด (ภาคผนวก ค)
- (3) สมบัติทางหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ดัชนีการละลายน้ำ ความสามารถในการพองตัว และความหนาแน่นจำเพาะ (ภาคผนวก ง)

### 1.2.2. ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของเผือกผง

ทำการผลิตเผือกผงตามวิธีการที่ดีที่สุดจากข้อ 1.2.1. โดยแปรระดับของอุณหภูมิอบแห้งเป็น 45, 55, 65, 75 และ  $85^\circ\text{C}$  อบจนตัวอย่างมีความชื้นสุดท้าย 4-6 % แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และหน้าที่ เช่นเดียวกับข้อ 1.2.1. ยกเว้นค่า pH

### 1.3. ผลของโซเดียมไบคาร์บอเนต วิธีการต้มสุก และอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของถั่วแดงผง

#### 1.3.1. ผลของโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อเวลาการต้มสุกถั่วแดง

ชั่งถั่วแดง 20 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ( $W_1$ ) ใส่ลงในกระบอกตวงขนาด 50 มล. เติมน้ำกลั่นให้ถึงขีดปริมาตรโดยใช้บิวเรต บันทึกปริมาตรน้ำที่ใช้ ( $V_1$ ) เทน้ำออก นำถั่วแดงไปแช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) ความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5 % ปริมาตร 100 มล. เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยมีถั่วแดงที่แช่ในน้ำกลั่นเป็นตัวอย่างควบคุม เทสารละลายที่ใส่แช่ลงในกระป๋องอลูมิเนียมพร้อมฝาที่ผ่านการอบแห้งและทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °ซ จนมีน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก เมื่อนำมาห้กลับด้วยน้ำหนักกระป๋องอลูมิเนียมพร้อมฝาจะได้เป็นน้ำหนักของแข็งที่มีในสารละลายหลังแช่ ( $S_{\text{sample}}$ ) ทำเบลงค์ (blank) โดยนำสารละลายก่อนแช่ 100 มล. ไปอบแห้งจนมีน้ำหนักคงที่ เมื่อนำมาห้กลับด้วยน้ำหนักกระป๋องอลูมิเนียมพร้อมฝาจะได้เป็นน้ำหนักของแข็งที่มีในสารละลายก่อนแช่ ( $S_{\text{blank}}$ ) นำถั่วแดงมาซับเบาๆ ด้วยผ้าสะอาดและกระดาดหยาบแล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ ) จากนั้นนำไปใส่ลงในกระบอกตวงขนาด 100 มล. เติมน้ำกลั่นให้ถึงขีดปริมาตรโดยใช้บิวเรต บันทึกปริมาตรน้ำที่ใช้ ( $V_2$ ) คำนวณค่าต่างๆ ได้แก่ การดูดซึมน้ำ (water absorption; WA) ปริมาณของแข็งที่ถูกปลดปล่อย (leached solids; LS) และกำลังการพองตัว (swelling power; SP) (ดัดแปลงจาก Uрга et al., 2006) จากสมการ

$$WA (\%) = \frac{(W_2 - W_1 - S_{\text{sample}} - S_{\text{blank}}) \times 100}{W_1 - S_{\text{sample}} - S_{\text{blank}}}$$

$$LS (\%) = \frac{(S_{\text{sample}} - S_{\text{blank}}) \times 100}{W_1}$$

$$SP (\text{ซม.}^3/100 \text{ กรัม}) = \frac{[(100 - V_2) - (50 - V_1)] \times 100}{W_1 - S_{\text{sample}} - S_{\text{blank}}}$$



จากนั้น นำถั่วแดงไปต้มในน้ำเดือดที่อัตราส่วนถั่วแดงต่อน้ำกลั่น 1:4 (w/v) สุ่มตัวอย่างออกมาทดสอบทุก 1 นาที (เริ่มจากนาทีที่ 12) เพื่อหาเวลาในการต้มสุก (cooking time) โดยใช้กระจกสไลด์ 2 แผ่นประกบเมล็ดถั่วแล้วกด ซึ่งถั่วที่ต้มสุกแล้วจะมีลักษณะนิ่ม กดให้แตกได้โดยง่าย และไม่มีส่วนที่เป็นเมล็ดแข็งหลงเหลืออยู่ (Narasimha and Desikachar, 1978)

### 1.3.2. ผลของโซเดียมไบคาร์บอเนตและวิธีการต้มสุกต่อคุณภาพของถั่วแดงผง

นำถั่วแดงมาล้างทำความสะอาด คัดแยกเมล็ดที่เน่าเสียออก แล้วแช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 % ที่อัตราส่วนถั่วแดงต่อสารละลาย 1:5 (w/v) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เทน้ำที่ใช้แช่ทิ้ง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 3 รอบ จากนั้นนำไปต้มสุกด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 ต้มในน้ำเดือดที่อัตราส่วนถั่วแดงต่อน้ำกลั่น 1:4 (w/v) โดยใช้เวลาในการต้มสุกจากข้อ 1.3.1. และวิธีที่ 2 ต้มภายใต้ความดัน 15 ปาสกาล 15 นาที ที่อัตราส่วนถั่วแดงต่อน้ำกลั่น 1:1.5 (w/v) (Jangchud and Bunnag, 2001) เทน้ำที่ใช้ต้มทิ้ง สับละเอียดด้วยเครื่องบดอาหาร เกลี่ยลงบนถาดอบขนาด 40×50 ซม. (500 กรัมต่อถาดอบ) จำนวน 4 ถาด อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °ซ 8 ชั่วโมง บดให้เป็นผงด้วยเครื่อง ultra centrifugal mill ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช แล้วนำไปวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ ดังนี้

- (1) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่ากิจกรรมของน้ำ ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสมบัติด้านความหนืด (ภาคผนวก ข)
- (2) สมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่า pH ปริมาณความชื้น โปรตีน แอมิโลส และแอนโทไซยานินทั้งหมด (ภาคผนวก ค)
- (3) สมบัติทางหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ดัชนีการละลายน้ำ ความสามารถในการพองตัว และความหนาแน่นจำเพาะ (ภาคผนวก ง)

### 1.3.3. ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของถั่วแดงผง

ทำการผลิตถั่วแดงผงตามวิธีการที่ดีที่สุดจากข้อ 1.3.2. โดยแปรระดับของอุณหภูมิอบแห้งเป็น 45, 55, 65, 75 และ 85 °ซ อบจนตัวอย่างมีความชื้นสุดท้าย 4-6 % แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และหน้าที่ เช่นเดียวกับข้อ 1.3.2. ยกเว้นค่า pH และปริมาณโปรตีน

#### 1.4. การศึกษาคุณภาพของฟักทอง ผีอก และถั่วแดงฝงเทียบกับแป้งสาลี

นำฟักทอง ผีอก และถั่วแดงฝงที่มีคุณภาพดีที่สุดจากข้อ 1.1.2., 1.2.2. และ 1.3.3. ตามลำดับ และแป้งสาลี 2 ชนิด คือ แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง คราหงส์ขาว และแป้งสาลีชนิดทำเค้ก ตราพัดโบก ของบริษัท ยูไนเต็ด ฟลาวมิลล์ จำกัด มาวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ ดังนี้

- (1) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่ากิจกรรมของน้ำ ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสมบัติด้านความหนืด (ภาคผนวก ข)
- (2) สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหารทั้งหมด คาร์โบไฮเดรต แอมิโลส เบต้าแคโรทีน (เฉพาะในฟักทองฝง) และแอนโทไซยานินทั้งหมด (เฉพาะในผีอกและถั่วแดงฝง) (ภาคผนวก ค)
- (3) สมบัติทางหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ดัชนีการละลายน้ำ ความสามารถในการพองตัว และความหนาแน่นจำเพาะ (ภาคผนวก ง)

## 2. การนำฟักทอง ผีอก และถั่วแดงฝง ไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ขนมอบและไส้ขนม

#### 2.1. การนำฟักทอง ผีอก และถั่วแดงฝงไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในขนมปัง

นำฟักทอง ผีอก และถั่วแดงฝงที่มีคุณภาพดีที่สุดจากข้อ 1.1.2., 1.2.2. และ 1.3.3. มาใช้ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 10, 20, 30, 40 และ 50 % ในการทำขนมปัง ตามสูตรในตาราง 7 และขั้นตอนการทำในภาพ 8 โดยมีขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีล้วนเป็นตัวอย่างควบคุม จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ ดังนี้

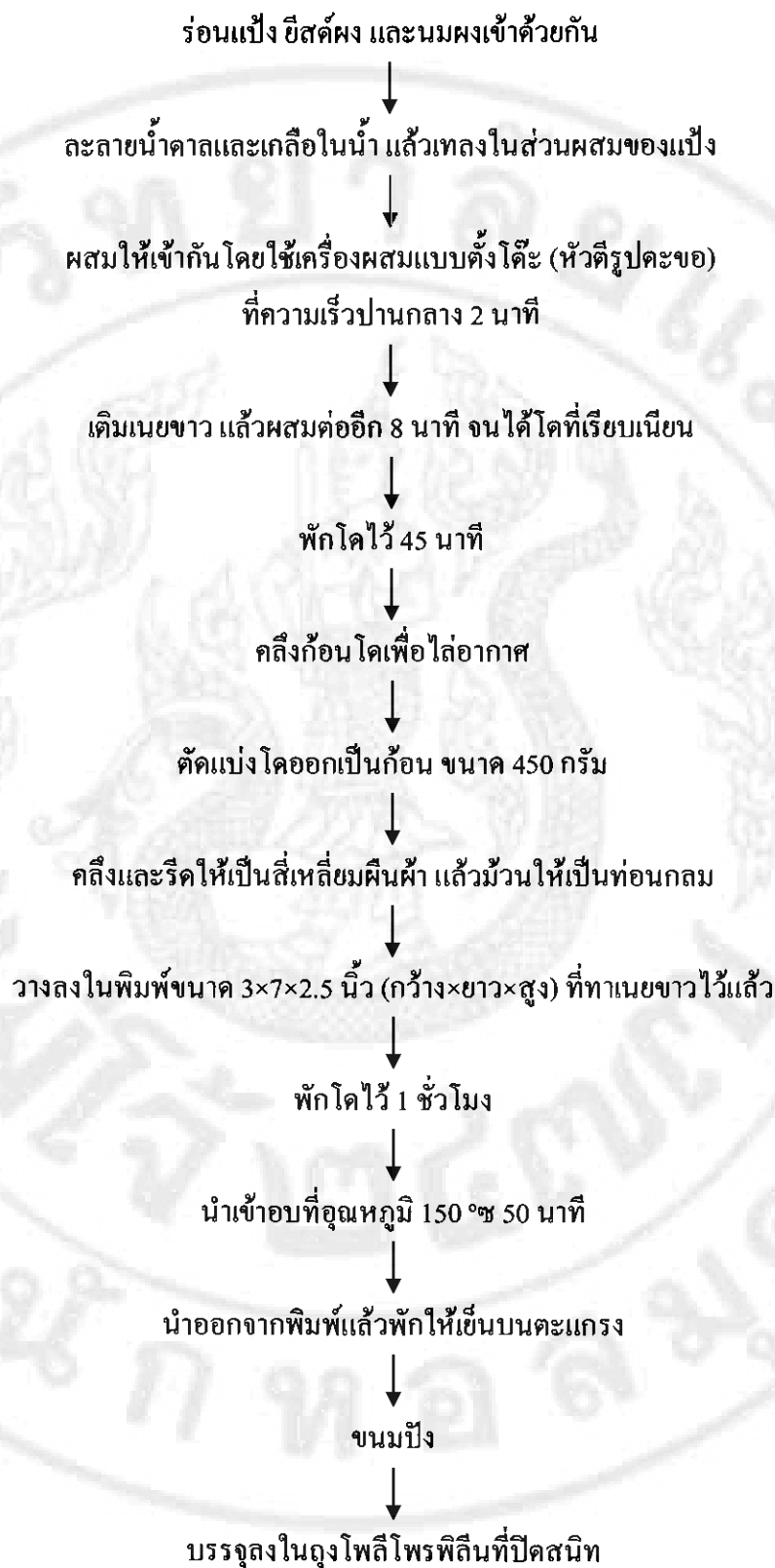
- (1) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาตรจำเพาะ (ภาคผนวก ข)
- (2) สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น (ภาคผนวก ค)
- (3) สมบัติทางหน้าที่ ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัส (ภาคผนวก ง)
- (4) การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ 9-point hedonic scale (ภาคผนวก ฉ)

ตาราง 7 สูตรขนมปัง

| ส่วนผสม    | ปริมาณ (%) โดยน้ำหนักแป้งสาลี) |
|------------|--------------------------------|
| น้ำ        | 55.00                          |
| น้ำตาลทราย | 6.50                           |
| เนยขาว     | 5.50                           |
| นมผง       | 3.00                           |
| ยีสต์ผง    | 1.05                           |
| เกลือป่น   | 0.75                           |

ที่มา: สุทธยา (2553)

หมายเหตุ ปริมาณความชื้นของแป้งสาลีชนิดทำขนมปัง เท่ากับ 12.66 %



ภาพ 8 ขั้นตอนการทำขนมปัง

## 2.2. การนำฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผงไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในเค้กเนย

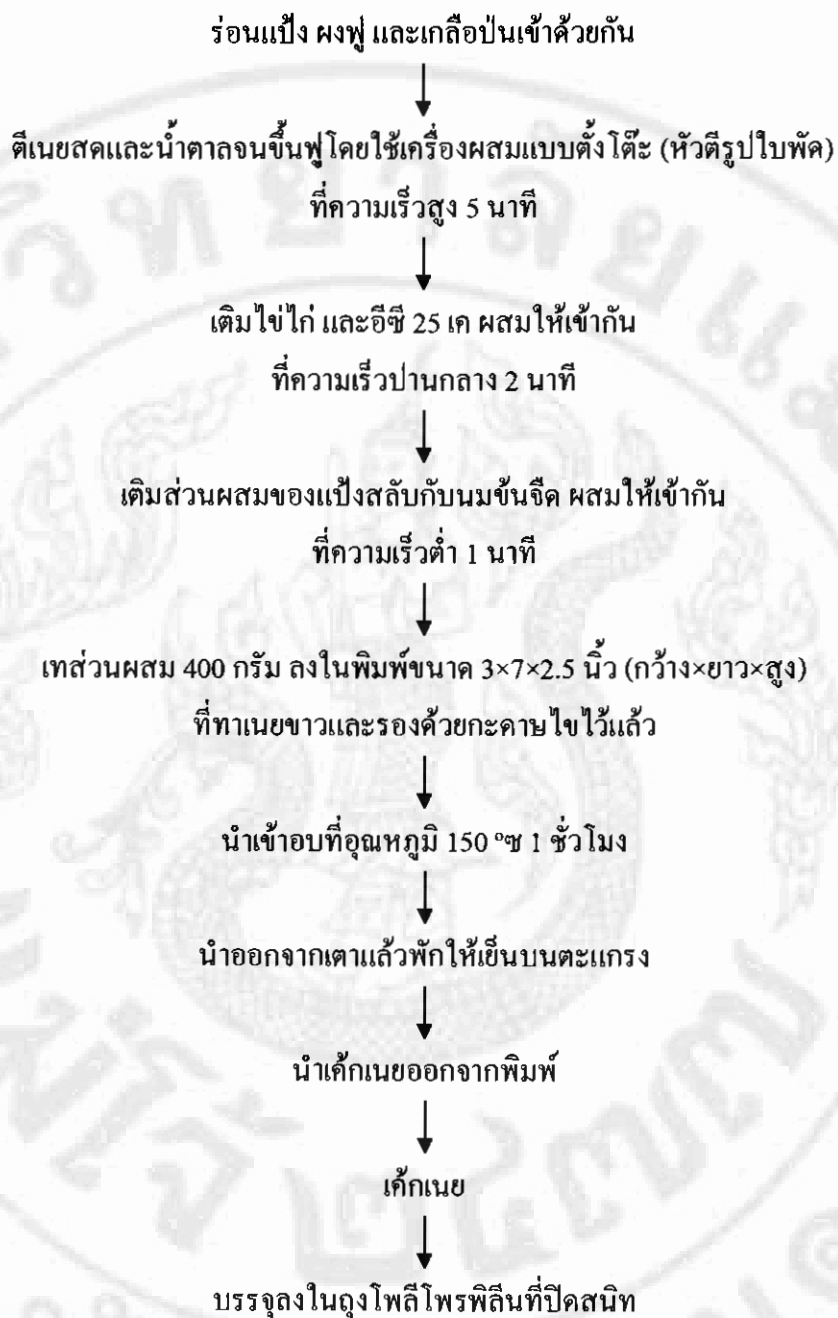
นำฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผงที่มีคุณภาพดีที่สุดจากข้อ 1.1.2., 1.2.2. และ 1.3.3. มาใช้ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 10, 20, 30, 40 และ 50 % ในการทำเค้กเนย ตามสูตรในตาราง 8 และ ขั้นตอนการทำในภาพ 9 โดยมีเค้กเนยที่ทำจากแป้งสาลีล้วนเป็นตัวอย่างควบคุม จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และหน้าที่ และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.1.

ตาราง 8 สูตรเค้กเนย

| ส่วนผสม       | ปริมาณ (%โดยน้ำหนักแป้งสาลี) |
|---------------|------------------------------|
| น้ำตาลทรายป่น | 106.67                       |
| เนยสด         | 73.33                        |
| ไข่ไก่        | 66.67                        |
| นมข้นจืด      | 60.00                        |
| อีซี 25 เค    | 12.00                        |
| เกลือป่น      | 4.00                         |

ที่มา: สุรยา (2553)

หมายเหตุ ปริมาณความชื้นของแป้งสาลีชนิดทำเค้ก เท่ากับ 11.95 %



ภาพ 9 ขั้นตอนการทำเค้กเนย

## 2.3. การนำฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผง ไปคืนรูปเพื่อผลิตเป็นไส้ฟักทอง

### 2.3.1. การนำฟักทองผงไปคืนรูปเพื่อผลิตเป็นไส้ฟักทอง

คัดเลือกสูตรไส้ฟักทอง โดยนำฟักทองสดมาผลิตเป็นไส้ฟักทอง 4 สูตร ซึ่งมีส่วนผสมดังแสดงในตาราง 9 และขั้นตอนการทำดังแสดงในภาพ 10 จำนวนต้นทุนการผลิต แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ ดังนี้

- (1) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี และค่ากิจกรรมของน้ำ (ภาคผนวก ข)
- (2) สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น (ภาคผนวก ค)
- (3) สมบัติทางหน้าที่ ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัส (ภาคผนวก ง)
- (4) การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ 9-point hedonic scale

(ภาคผนวก จ)

ตาราง 9 สูตรไส้ฟักทอง

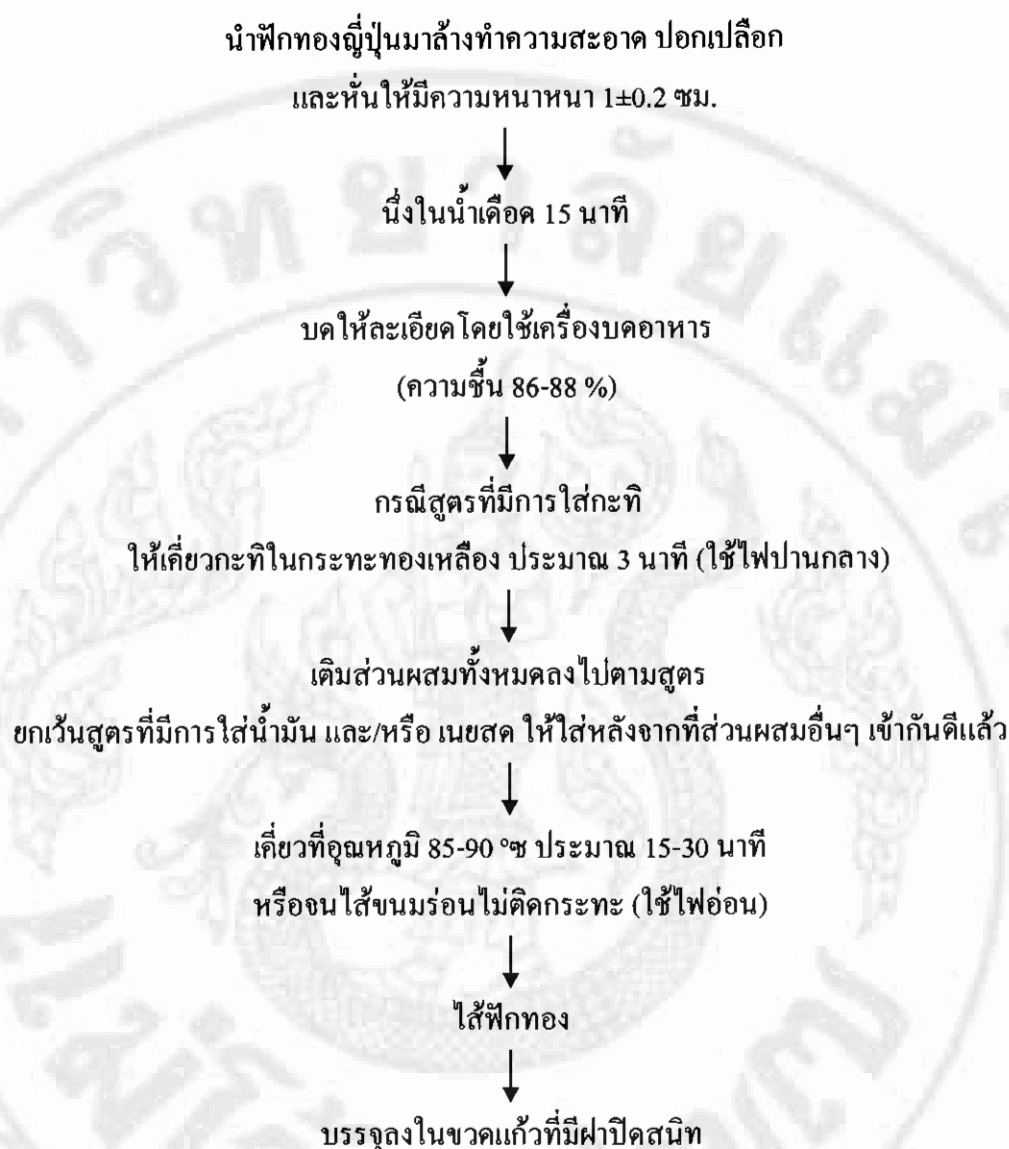
| ส่วนผสม (%)            | สูตร 1 | สูตร 2 | สูตร 3 | สูตร 4 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|
| ฟักทองนึ่งสุกบดละเอียด | 48.84  | 79.20  | 58.04  | 39.95  |
| น้ำตาลทราย             | 13.02  | 18.76  | 14.50  | -      |
| น้ำตาลปีบ              | -      | -      | -      | 19.98  |
| นมข้นจืด               | 37.98  | -      | 11.61  | -      |
| เนยสด                  | -      | 1.88   | 3.48   | -      |
| น้ำมันถั่วเหลือง       | -      | -      | 3.48   | -      |
| กะทิ                   | -      | -      | -      | 39.95  |
| เกลือป่น               | 0.16   | 0.16   | 0.18   | 0.12   |
| แป้งสาลีอเนกประสงค์    | -      | -      | 8.71   | -      |

ที่มา: สูตร 1 (ดัดแปลงจาก โรงเรียนสอนการผลิตอาหารและขนมมาตรฐาน, ม.ป.ป. ก)

สูตร 2 (ดัดแปลงจาก โรงเรียนสอนการผลิตอาหารและขนมมาตรฐาน, ม.ป.ป. ข)

สูตร 3 (ดัดแปลงจาก นมเนยเบเกอรี่, 2554)

สูตร 4 (ดัดแปลงจาก ไทยเอสเอ็มอีแฟรนไชส์, 2554)



ภาพ 10 ขั้นตอนการทำไส้ฟักทอง

จากนั้นนำสูตรไส้ฟักทองที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับมากที่สุดและมีต้นทุนการผลิตต่ำสุด มาใช้ในการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไส้ฟักทองที่ทำจากฟักทองผงคั้นรูป โดยนำฟักทองผงที่มีคุณภาพดีที่สุดจากข้อ 1.1.2. ซึ่งมี 2 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช (วิธีการผลิตแสดงในภาคผนวก ก) และตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านการร่อน (คือ ตัวอย่างที่แยกออกมาก่อนจะนำไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช) มาคั้นรูปให้มีความชื้นเท่ากับฟักทองนึ่งสุกบดละเอียด (ความชื้น 86-88 %) โดยการเติมน้ำร้อน (อุณหภูมิ  $95 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) และคนให้เข้ากันจนตัวอย่างมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน (ใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที) จากนั้นจึงนำมาผลิตเป็นไส้ฟักทองตาม



สูตรที่ได้รับการคัดเลือก โดยมีไส้ฟักทองที่ทำจากฟักทองสดเป็นตัวอย่างควบคุม แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และหน้าที่ และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับการคัดเลือกสูตร

### 2.3.2. การนำเผือกผงไปคั้นรูปเพื่อผลิตเป็นไส้เผือก

คัดเลือกสูตรไส้เผือก โดยนำเผือกสดมาผลิตเป็นไส้เผือก 4 สูตร ซึ่งมีส่วนผสมดังแสดงในตาราง 10 และขั้นตอนการทำดังแสดงในภาพ 11 คำนวณต้นทุนการผลิต แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และหน้าที่ และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.3.1.

ตาราง 10 สูตรไส้เผือก

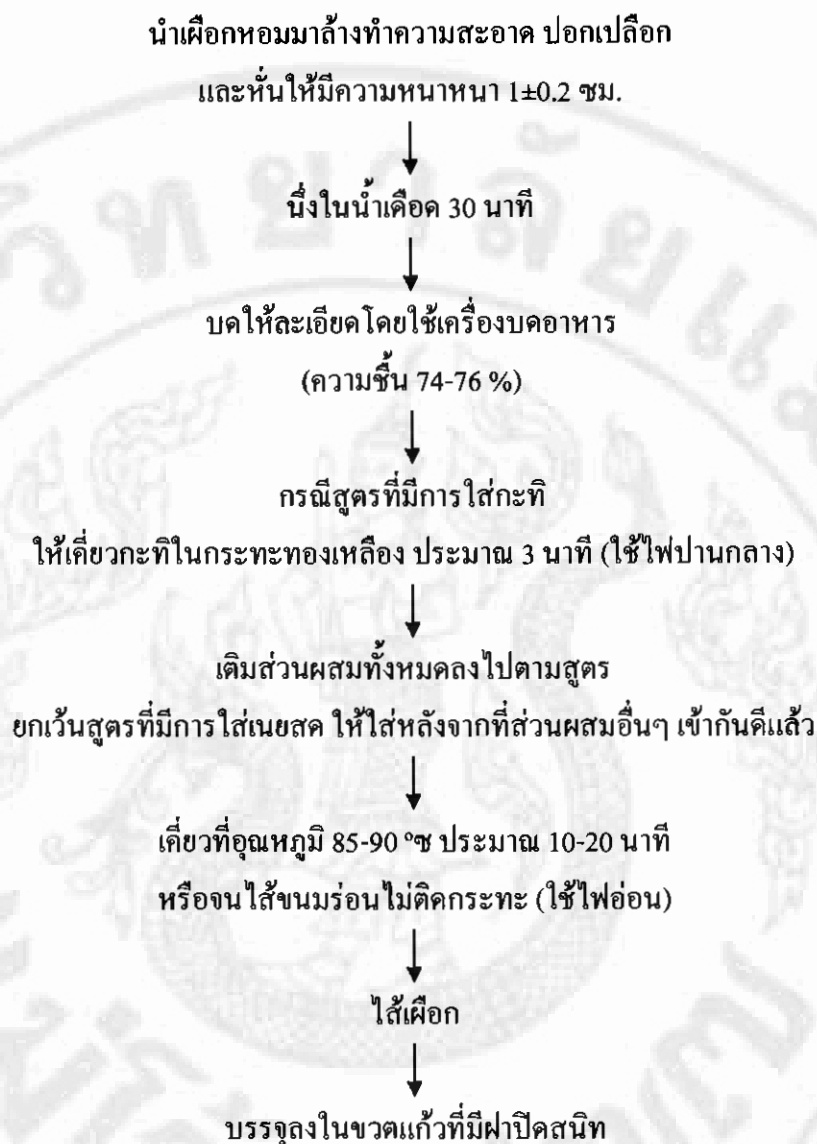
| ส่วนผสม (%)           | สูตร 1 | สูตร 2 | สูตร 3 | สูตร 4 |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|
| เผือกนึ่งสุกบดละเอียด | 60.58  | 49.91  | 63.51  | 56.88  |
| น้ำตาลทราย            | 27.02  | 37.43  | 17.03  | 29.86  |
| เนยสด                 | 12.28  | 6.24   | 3.45   | -      |
| นมข้นจืด              | -      | 6.24   | 5.52   | -      |
| กะทิ                  | -      | -      | -      | 13.15  |
| เกลือป่น              | 0.12   | 0.19   | 0.14   | 0.11   |
| น้ำสะอาด              | -      | -      | 10.35  | -      |

ที่มา: สูตร 1 (คัดแปลงจาก โรงเรียนสอนการผลิตอาหารและขนมมาตรฐาน, ม.ป.ป. ก.)

สูตร 2 (คัดแปลงจาก โรงเรียนสอนการผลิตอาหารและขนมมาตรฐาน, ม.ป.ป. ข.)

สูตร 3 (คัดแปลงจาก อี แอล เอส ฟู้ดคลับ, 2535)

สูตร 4 (คัดแปลงจาก รนศักดิ์, 2551)



ภาพ 11 ขั้นตอนการทำไส้เผือก

จากนั้นนำสูตรไส้เผือกที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับมากที่สุดและมีต้นทุนการผลิตต่ำสุด มาใช้ในการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไส้เผือกที่ทำจากเผือกผงคั้นรูป โดยนำเผือกผงที่มีคุณภาพดีที่สุดจากข้อ 1.2.2. ซึ่งมี 2 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช (วิธีการผลิตแสดงในภาคผนวก ก) และตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านการร่อน (คือ ตัวอย่างที่แยกออกมา ก่อนจะนำไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช) มาคั้นรูปให้มีความชื้นเท่ากับเผือกนึ่งสุกบดละเอียด (ความชื้น 74-76 %) โดยการเติมน้ำร้อน (อุณหภูมิ  $95 \pm 2$  °ซ) และคนให้เข้ากันจนตัวอย่างมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน (ใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที) จากนั้นจึงนำมาผลิตเป็นไส้เผือกตามสูตรที่ได้รับการ

คัดเลือก โดยมีไส้เผือกที่ทำจากเผือกสดเป็นตัวอย่างควบคุม แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพเคมี และหน้าที่ และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.3.1.

### 2.3.3. การนำถั่วแดงผงไปขึ้นรูปเพื่อผลิตเป็นไส้ถั่วแดง

คัดเลือกสูตรไส้ถั่วแดง โดยนำเมล็ดถั่วแดงมาผลิตเป็นไส้ถั่วแดง 4 สูตร ซึ่งมีส่วนผสมดังแสดงในตาราง 11 และขั้นตอนการทำดังแสดงในภาพ 12 คำนวณต้นทุนการผลิต แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และหน้าที่ และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.3.1.

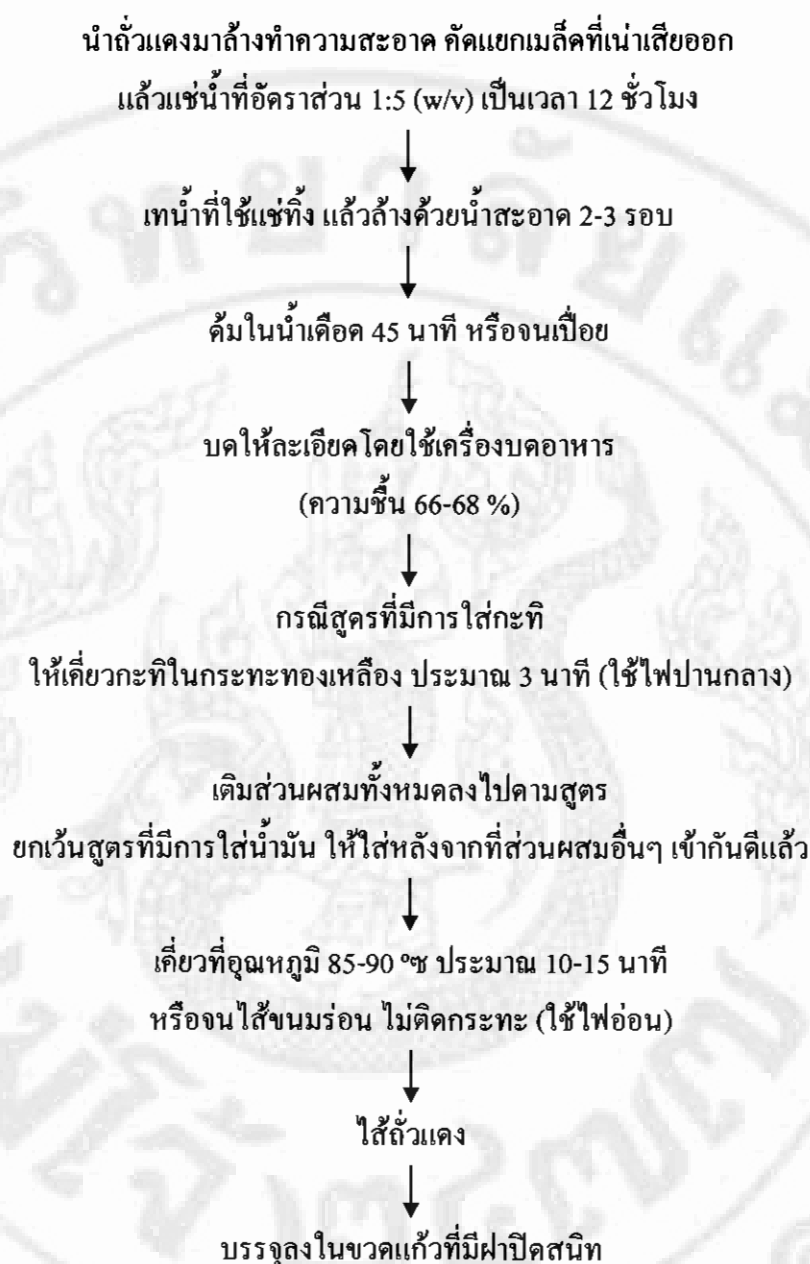
ตาราง 11 สูตรไส้ถั่วแดง

| ส่วนผสม (%)            | สูตร 1 | สูตร 2 | สูตร 3 | สูตร 4 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|
| ถั่วแดงต้มสุกบดละเอียด | 80.00  | 61.25  | 69.23  | 55.00  |
| น้ำตาลทราย             | 14.10  | 26.98  | 15.40  | 24.85  |
| เบะแซ                  | -      | -      | 3.80   | 10.00  |
| น้ำมันถั่วเหลือง       | 5.71   | 11.67  | -      | -      |
| กะทิ                   | -      | -      | 7.60   | 10.00  |
| เกลือป่น               | 0.19   | 0.10   | 0.17   | 0.15   |
| มอลโตเด็คซ์ทริน        | -      | -      | 3.80   | -      |

ที่มา: สูตร 1 (ดัดแปลงจาก อี แอล เอส ฟู๊ดคลับ, 2535)

สูตร 2 (ดัดแปลงจาก สำนักพิมพ์แสงแดด, 2548)

สูตร 3 และ 4 (ดัดแปลงจาก เฉลิมพล, 2547)



ภาพ 12 ขั้นตอนการทำไข่ด้วแดง

จากนั้นนำสูตรไข่ด้วแดงที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับมากที่สุดและมีต้นทุนการผลิตต่ำสุด มาใช้ในการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไข่ด้วแดงที่ทำจากด้วแดงผงคั้นรูป โดยนำด้วแดงผงที่มีคุณภาพดีที่สุดจากข้อ 1.3.3. ซึ่งมี 2 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช (วิธีการผลิตแสดงในภาคผนวก ก) และตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านการร่อน (คือ ตัวอย่างที่แยกออกมาก่อนจะนำไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช) มาคั้นรูปให้มีปริมาณขึ้นเท่ากับด้วแดงคัมน้ำ

สุกบดละเอียด (ความชื้น 66-68 %) โดยการเติมน้ำร้อน (อุณหภูมิ  $95 \pm 2$  °ซ) และคนให้เข้ากันจนตัวอย่างมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน (ใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที) จากนั้นจึงนำมาผลิตเป็นไส้ถั่วแดงตามสูตรที่ได้รับการคัดเลือก โดยมีไส้ถั่วแดงที่ทำจากเมล็ดถั่วแดงเป็นตัวอย่างควบคุม แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และหน้าที่ และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.3.1.

### 3. การศึกษาอายุการเก็บรักษาของฟักทอง เผือก และถั่วแดงผง

นำฟักทอง เผือก และถั่วแดงผงที่มีคุณภาพดีที่สุดจากข้อ 1.1.2., 1.2.2. และ 1.3.3. ไปทำการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ถุงโพลีโพรพิลีนชนิดหนา ขนาด  $4 \times 6$  นิ้ว ความหนา 0.07 มม. และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ขนาด  $4 \times 6$  นิ้ว ความหนา 0.1 มม. ทำการบรรจุ 2 สภาวะ คือ สภาวะที่มีอากาศ และสภาวะสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในที่ที่มีแสงส่องถึง เป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยสุ่มตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์ เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี และจุลชีววิทยา ดังนี้

- (1) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี และค่ากิจกรรมของน้ำ (ภาคผนวก ข)
- (2) สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น เบต้าแคโรทีน (เฉพาะในฟักทองผง) และแอนโทไซยานินทั้งหมด (เฉพาะในเผือกและถั่วแดงผง) (ภาคผนวก ค)
- (3) สมบัติทางจุลชีววิทยา ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) และปริมาณยีสต์และรา (yeast and mold) (ภาคผนวก จ)

### 4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ( $p < 0.05$ ) ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows version 16.0

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและวิจารณ์

#### 1. การศึกษากระบวนการผลิตฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผงที่เหมาะสม

##### 1.1. ผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและอนุมูลอิสระต่อคุณภาพของฟักทองผง

###### 1.1.1. ผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลต่อคุณภาพของฟักทองผง

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของฟักทองผง (ตาราง 12) พบว่าการแช่ฟักทองในสารละลายป้องกันการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 7 ชนิด มีผลต่อค่าสี pH และปริมาณเบต้าแคโรทีนของฟักทองผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ไม่มีผลต่อค่ากิจกรรมของน้ำ ปริมาณความชื้น และแอมิโลส ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.306-0.320, 7.09-7.79 % และ 27.60-28.00 % ตามลำดับ โดยปริมาณแอมิโลสในฟักทองผงที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองนี้มีค่ามากกว่ารายงานของ สุลาถลักษณ์ (2549) ที่ตรวจพบปริมาณแอมิโลสในฟักทองผงเพียง 8.00 %

ค่าสี  $L^*$  เป็นค่าความสว่าง ถ้าค่า  $L^*$  เข้าใกล้ 0 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างน้อยหรือมีสีคล้ำ แต่ถ้าค่า  $L^*$  เข้าใกล้ 100 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างมากจนเป็นสีขาวหรือสีจาง (จิตรนา และคณะ, 2546) จากผลการทดลองในตาราง 12 พบว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลายป้องกันการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 7 ชนิด มีค่า  $L^*$  สูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย KMS และ  $\text{CaCl}_2$  มีค่า  $L^*$  สูงสุด เท่ากับ 86.32 และ 86.43 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก KMS จะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO) โดยทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซิง (reducing agent) ซึ่งจะรีดิวซ์สาร *o*-quinone ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารโพลีฟีนอลเนื่องจากการดำเนินกิจกรรมของ PPO ให้กลับไปอยู่ในรูปของสารประกอบฟีนอลิกดั้งเดิม ก่อนที่สาร *o*-quinone จะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็นสารสีน้ำตาล (Duangmal and Apenten, 1999; Kaaber et al., 2002) นอกจากนี้ KMS ยังช่วยลดปริมาณออกซิเจน และทำให้โมเลกุลของ PPO มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปจนไม่สามารถดำเนินกิจกรรมได้ (Tipton and Dixon, 1979; Sayavedra-Soto and Montgomery, 1986) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ See et al. (2007) ที่พบว่าการแช่ฟักทองในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.2 % (w/v) 45 นาที สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของแป้งฟักทองได้ ส่วน  $\text{CaCl}_2$  มีสมบัติเป็นสารจับโลหะ (chelating agents) โดยสามารถจับกับคิวพริกไอออน (cupric ion;  $\text{Cu}^{2+}$ ) ที่บริเวณเร่งของ PPO (Duangmal and Apenten, 1999; Ibrahim et al., 2004) นอกจากนี้

แคลเซียมไอออนจะช่วยทำให้ผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของพืชมีความแข็งแรงมากขึ้น เอนไซม์จึงมีโอกาสดำเนินปฏิกิริยากับสารตั้งต้นลดลง (Kukura et al., 1998) และ  $\text{CaCl}_2$  ยังทำให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพธรรมชาติ (denatured) จนไม่สามารถเข้าจับกับสารตั้งต้นได้ (Luna-Gutzman et al., 1999) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Bolin and Huxsoll (1989) และ Saper and Miller (1995) ที่พบว่า  $\text{CaCl}_2$  สามารถลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ได้หลายชนิด

ค่าสี  $a^*$  เป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มของสีแดงและสีเขียว ถ้าค่า  $a^*$  เป็นบวก หมายถึง ตัวอย่างเป็นสีแดง แต่ถ้าค่า  $a^*$  เป็นลบ หมายถึง ตัวอย่างเป็นสีเขียว (จิตรนา และคณะ, 2546) จากผลการทดลองในตาราง 12 พบว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย AA, CA, OA และ NaE มีค่า  $a^*$  เท่ากับ 11.08, 10.56, 10.70 และ 10.94 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างควบคุม (10.24) ขณะที่ตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย KMS,  $\text{CaCl}_2$  และ L-cys มีค่า  $a^*$  เท่ากับ 9.63, 9.68 และ 9.74 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่าฟักทองผงที่ผ่านการแช่ในสารละลาย AA, CA, OA และ NaE มีความเข้มของสีแดงมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ โดยการที่ฟักทองผงมีค่า  $a^*$  สูง อาจแสดงให้เห็นถึงความเข้มของสารสีเบต้าแคโรทีน หรืออาจแสดงให้เห็นถึงการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ (Sapers et al., 1987)

ค่าสี  $b^*$  เป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มของสีเหลืองและสีน้ำเงิน ถ้าค่า  $b^*$  เป็นบวก หมายถึง ตัวอย่างเป็นสีเหลือง แต่ถ้าค่า  $b^*$  เป็นลบ หมายถึง ตัวอย่างเป็นสีน้ำเงิน (จิตรนา และคณะ, 2546) จากผลการทดลองในตาราง 12 พบว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลายป้องกันการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 7 ชนิด มีค่า  $b^*$  สูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย CA มีค่า  $b^*$  สูงสุด เท่ากับ 69.20 ทำให้ฟักทองผงที่ได้มีความเข้มของสีเหลืองมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ Wu and Jin (1998) และ จิรภา และคณะ (2547) รายงานว่า ค่าสี  $b^*$  ที่พบในฟักทองผงส่วนใหญ่เป็นสารสีเบต้าแคโรทีน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในตาราง 12 ที่พบว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลายป้องกันการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 7 ชนิด มีค่าสี  $b^*$  และปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่าสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 7 ชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและ/หรือ ไอโซเมอไรเซชันของสารเบต้าแคโรทีนในระหว่างกระบวนการผลิตฟักทองผงได้

การแช่ฟักทองในสารละลาย AA, CA และ OA ทำให้ฟักทองผงมีค่า pH เท่ากับ 6.49, 6.47 และ 6.32 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในการทดลองนี้ใช้สารละลาย AA, CA และ OA ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ จึงไม่มีผลต่อรสชาติของฟักทองผง

ตาราง 12 สมบัติทางกายภาพและเคมีของฟักทองผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ

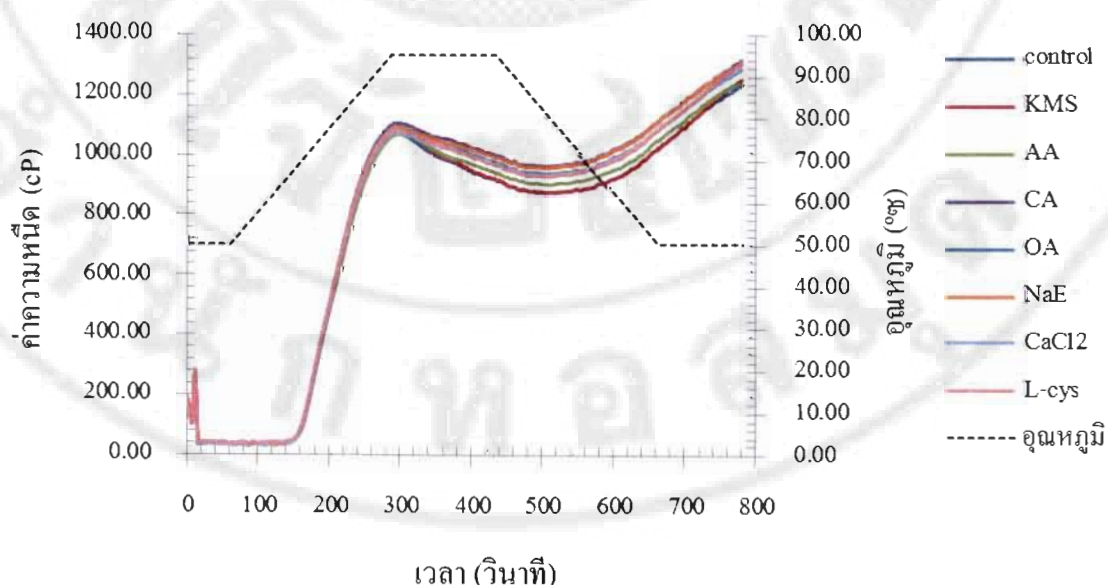
| ตัวอย่าง                         | ค่าสี                    |                           |                          | $a_w^{ns}$  | ความชื้น <sup>ns</sup><br>(%) | pH                      | แอมิโลส <sup>ns</sup><br>(%) | เบต้าแคโรทีน<br>(มก./100 กรัม) |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------------------|
|                                  | L*                       | a*                        | b*                       |             |                               |                         |                              |                                |
| control                          | 83.62 <sup>c</sup> ±0.18 | 10.24 <sup>d</sup> ±0.55  | 65.61 <sup>g</sup> ±0.32 | 0.306±0.010 | 7.09±0.68                     | 6.62 <sup>a</sup> ±0.04 | 28.00±0.33                   | 14.69 <sup>c</sup> ±0.13       |
| KMS 0.15 % 20 นาที               | 86.32 <sup>a</sup> ±0.47 | 9.63 <sup>c</sup> ±0.62   | 66.90 <sup>c</sup> ±0.45 | 0.319±0.012 | 7.20±0.71                     | 6.65 <sup>a</sup> ±0.05 | 27.84±0.57                   | 15.68 <sup>a</sup> ±0.20       |
| AA 0.30 % 20 นาที                | 84.20 <sup>d</sup> ±0.10 | 11.08 <sup>a</sup> ±0.09  | 68.90 <sup>b</sup> ±0.11 | 0.316±0.017 | 7.15±0.69                     | 6.49 <sup>b</sup> ±0.03 | 27.60±0.28                   | 15.65 <sup>ab</sup> ±0.21      |
| CA 0.10 % 40 นาที                | 85.85 <sup>b</sup> ±0.16 | 10.56 <sup>c</sup> ±0.17  | 69.20 <sup>a</sup> ±0.16 | 0.320±0.019 | 7.23±0.66                     | 6.47 <sup>b</sup> ±0.02 | 27.80±0.32                   | 15.72 <sup>a</sup> ±0.20       |
| OA 0.20 % 20 นาที                | 85.11 <sup>c</sup> ±0.69 | 10.70 <sup>bc</sup> ±0.20 | 66.41 <sup>f</sup> ±0.43 | 0.320±0.016 | 7.79±0.87                     | 6.32 <sup>c</sup> ±0.03 | 27.74±0.49                   | 15.46 <sup>ab</sup> ±0.18      |
| NaE 0.50 % 20 นาที               | 84.29 <sup>d</sup> ±0.06 | 10.94 <sup>ab</sup> ±0.24 | 67.68 <sup>d</sup> ±0.16 | 0.316±0.017 | 7.67±0.71                     | 6.58 <sup>a</sup> ±0.03 | 27.84±0.29                   | 15.33 <sup>ab</sup> ±0.09      |
| CaCl <sub>2</sub> 1.00 % 40 นาที | 86.43 <sup>a</sup> ±0.14 | 9.68 <sup>c</sup> ±0.64   | 68.31 <sup>c</sup> ±0.38 | 0.317±0.016 | 7.22±0.65                     | 6.57 <sup>a</sup> ±0.03 | 27.97±0.27                   | 15.71 <sup>a</sup> ±0.13       |
| L-cys 0.05 % 40 นาที             | 85.85 <sup>b</sup> ±0.15 | 9.74 <sup>c</sup> ±0.20   | 66.47 <sup>f</sup> ±0.27 | 0.320±0.018 | 7.11±0.68                     | 6.59 <sup>a</sup> ±0.05 | 27.73±0.26                   | 15.25 <sup>b</sup> ±0.13       |

- หมายเหตุ
- อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสคริปต์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )
  - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )



การศึกษาสมบัติด้านความหนืด (pasting properties) ของฟักทองผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ ด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว (rapid visco analyzer; RVA) พบว่าฟักทองผงมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดดังแสดงในภาพ 13 และมีค่าความหนืดดังแสดงในตาราง 13 ซึ่งจะเห็นได้ว่าทุกตัวอย่างมีค่า peak viscosity, holding strength, breakdown, final viscosity และ pasting temperature ไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1070.33-1109.50 cP, 883.50-968.00 cP, 119.83-189.50 cP, 1236.67-1310.00 cP และ 69.51-69.96 °ซ ตามลำดับ แต่ตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย CA จะมีค่า setback ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่าฟักทองผงที่ผ่านการแช่ในสารละลาย CA มีอัตราการคืนตัวหรือการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Jiugao et al. (2005) ที่พบว่า CA สามารถป้องกันการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าวโพด (corn starch) ได้ เนื่องจาก CA จะจับกับสตาร์ชด้วยพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรง จึงช่วยป้องกันการคืนตัวของสตาร์ช

สมบัติด้านความหนืดของฟักทองผงจากการทดลองนี้มีค่าแตกต่างจากรายงานของ Saeleaw and Schleining (2011) ที่พบว่าแป้งฟักทองมีค่า peak viscosity, holding strength, breakdown, final viscosity, setback และ pasting temperature เท่ากับ 1050.60 cP, 1011.96 cP, 38.64 cP, 1691.04 cP, 678.96 cP และ 45.50 °ซ ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นเพราะความแตกต่างของพันธุ์ฟักทอง วิธีการผลิต และระดับของการเกิดเจลลิต์ในเซชัน เป็นต้น



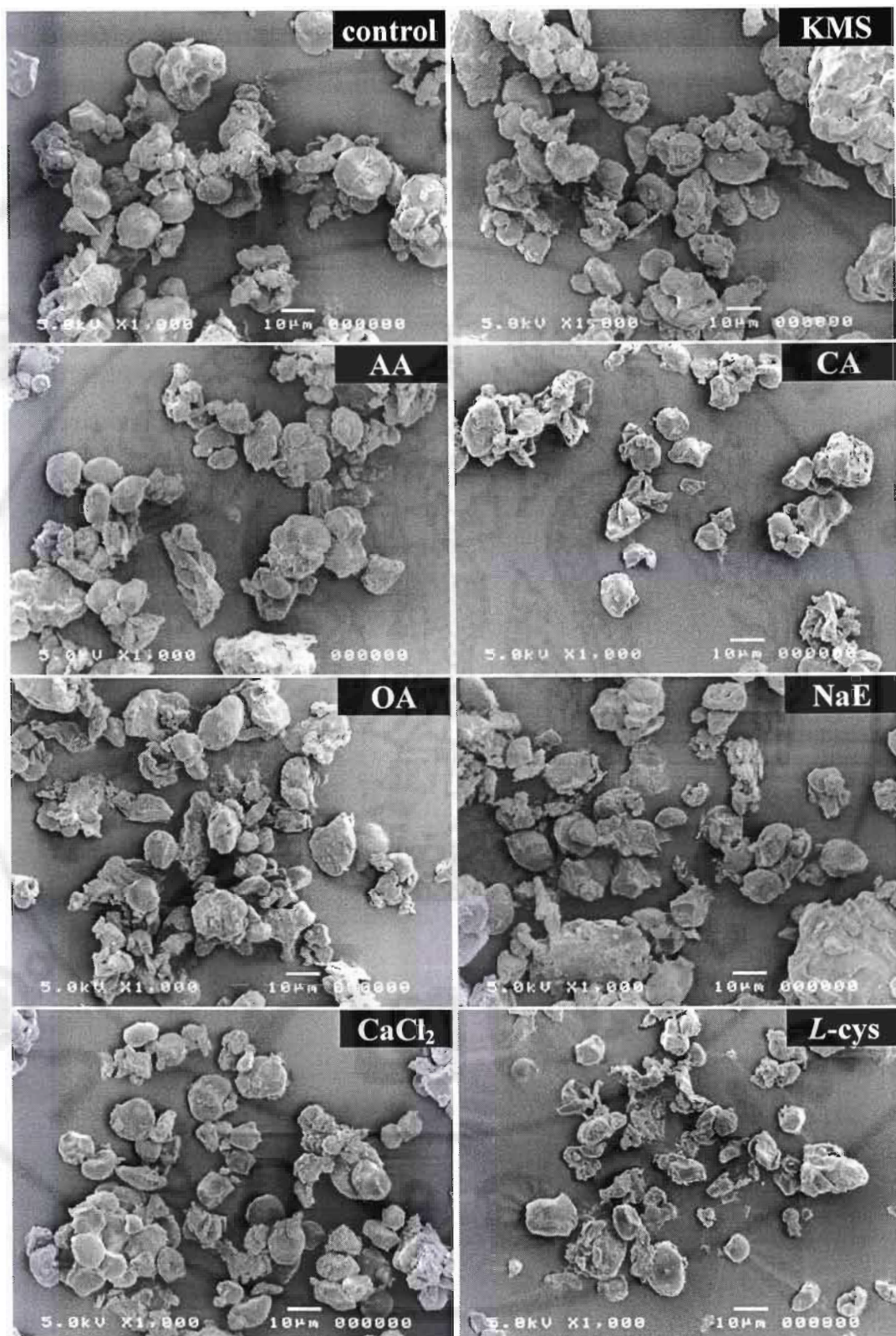
ภาพ 13 กราฟความหนืดของฟักทองผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ

ตาราง 13 สมบัติด้านความหนืดของฟักทองผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ

| ตัวอย่าง                         | Peak viscosity <sup>ns</sup><br>(cP) | Holding strength <sup>ns</sup><br>(cP) | Breakdown <sup>ns</sup><br>(cP) | Final viscosity <sup>ns</sup><br>(cP) | Setback<br>(cP)            | Pasting temperature <sup>ns</sup><br>(°C) |
|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|
| control                          | 1073.00±29.70                        | 883.50±37.48                           | 189.50±67.18                    | 1236.67±41.96                         | 353.17±4.48 <sup>a</sup>   | 69.53±0.19                                |
| KMS 0.15 % 20 นาที               | 1086.33±10.84                        | 906.50±70.00                           | 179.83±80.85                    | 1254.00±66.47                         | 347.50±3.54 <sup>ab</sup>  | 69.53±0.19                                |
| AA 0.30 % 20 นาที                | 1070.33±25.93                        | 950.50±12.02                           | 119.83±13.91                    | 1291.83±16.73                         | 341.33±4.71 <sup>ab</sup>  | 69.93±0.45                                |
| CA 0.10 % 40 นาที                | 1109.50±28.99                        | 962.50±53.03                           | 147.00±24.04                    | 1301.17±49.26                         | 338.67±3.77 <sup>b</sup>   | 69.96±0.41                                |
| OA 0.20 % 20 นาที                | 1094.33±22.16                        | 968.00±16.97                           | 126.33±15.19                    | 1308.50±10.61                         | 340.50±6.36 <sup>ab</sup>  | 69.96±0.41                                |
| NaE 0.50 % 20 นาที               | 1084.09±21.80                        | 945.75±19.55                           | 138.33±12.26                    | 1287.42±15.30                         | 341.67±4.24 <sup>ab</sup>  | 69.79±0.24                                |
| CaCl <sub>2</sub> 1.00 % 40 นาที | 1076.00±18.38                        | 931.50±19.19                           | 144.50±27.58                    | 1271.17±16.84                         | 339.67±2.36 <sup>ab</sup>  | 69.51±0.22                                |
| L-cys 0.05 % 40 นาที             | 1085.83±10.14                        | 957.50±22.12                           | 128.33±18.01                    | 1310.00±12.73                         | 352.50±10.60 <sup>ab</sup> | 69.51±0.22                                |

- หมายเหตุ
- อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )
  - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟักทองผงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy; SEM) ที่ความต่างศักย์ 5.0 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 1,000 เท่า พบว่าการแช่ฟักทองในสารละลายป้องกันการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 7 ชนิด ไม่มีผลต่อลักษณะเม็ดแป้ง (starch granules) ของฟักทองผง ดังแสดงในภาพ 14 ซึ่งจะเห็นได้ว่า เม็ดแป้งของฟักทองผงมีรูปร่างไม่แน่นอน คือ มีทั้งแบบทรงกลม ทรงรี และหลายเหลี่ยม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-18 ไมโครเมตร บางเม็ดมีรอยบุ๋ม ลักษณะพื้นผิวมีทั้งแบบเรียบและขรุขระ ไม่มีรอยแตก และมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่เม็ดแป้ง เช่น โปรตีน และเส้นใย กระจายตัวอยู่โดยรอบ สอดคล้องกับรายงานของ Saeleaw and Schleining (2011) ที่พบว่าเม็ดแป้งของฟักทองมีรูปร่างไม่แน่นอน และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-15 ไมโครเมตร



ภาพ 14 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิกลองผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ

เมื่อนำตัวอย่างฟักทองผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ มาวิเคราะห์สมบัติทางหน้าที่ พบว่าทุกตัวอย่างมีความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAC) ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (OAC) ดัชนีการละลายน้ำ (WSI) ความสามารถในการพองตัว (SC) และความหนาแน่นจำเพาะ (BD) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 190.92-193.98 %, 81.74-83.96 %, 16.59-18.00 %, 18.85-19.55 และ 0.78-0.80 กรัม/ซม.<sup>3</sup> ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 14 แต่ความสามารถในการดูดซับน้ำ และดัชนีการละลายน้ำของฟักทองผงที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่ารายงานของ Saeleaw and Schleinig (2011) ที่พบว่าแป้งฟักทองมีความสามารถในการดูดซับน้ำ และดัชนีการละลายน้ำเท่ากับ 491.75 และ 27.58 % ตามลำดับ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมี และวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตาราง 14 สมบัติทางหน้าที่ของฟักทองผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ<sup>ns</sup>

| ตัวอย่าง                         | WAC<br>(%)  | OAC<br>(%) | WSI<br>(%) | SC         | BD<br>(กรัม/ซม. <sup>3</sup> ) |
|----------------------------------|-------------|------------|------------|------------|--------------------------------|
| control                          | 191.38±3.36 | 81.74±1.72 | 17.31±1.86 | 19.55±0.63 | 0.78±0.01                      |
| KMS 0.15 % 20 นาที               | 191.16±4.43 | 83.21±0.63 | 16.59±1.90 | 19.01±1.04 | 0.78±0.02                      |
| AA 0.30 % 20 นาที                | 193.00±3.42 | 83.82±2.94 | 17.87±1.05 | 18.88±0.54 | 0.79±0.02                      |
| CA 0.10 % 40 นาที                | 193.98±3.72 | 81.82±3.26 | 18.00±1.44 | 18.87±1.08 | 0.78±0.03                      |
| OA 0.20 % 20 นาที                | 192.72±4.29 | 82.63±1.92 | 16.98±1.29 | 19.22±0.47 | 0.79±0.03                      |
| NaE 0.50 % 20 นาที               | 191.53±4.29 | 83.96±3.09 | 17.96±1.44 | 18.85±1.57 | 0.79±0.01                      |
| CaCl <sub>2</sub> 1.00 % 40 นาที | 193.30±4.95 | 83.40±3.70 | 17.88±1.10 | 19.12±1.24 | 0.80±0.02                      |
| L-cys 0.05 % 40 นาที             | 190.92±4.14 | 82.52±2.40 | 17.43±0.83 | 18.86±1.05 | 0.78±0.02                      |

หมายเหตุ <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า การแช่ฟักทองในสารละลาย KMS และ CaCl<sub>2</sub> จะทำให้ได้ฟักทองผงที่มีค่าความสว่าง (L\*) และปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงสุด ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร แต่การใช้ KMS อาจมีผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ ส่วนการแช่ฟักทองในสารละลาย CaCl<sub>2</sub> พบว่าจะทำให้ได้ฟักทองอบแห้งที่มีลักษณะเหนียวและแข็งมากกว่า



ตัวอย่างอื่นๆ จึงทำให้ยากต่อการบด ขณะที่ตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย CA ถึงแม้จะมีค่าความสว่างต่ำกว่า และมีค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) สูงกว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย KMS และ  $\text{CaCl}_2$  แต่ก็มีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงสุดไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) นอกจากนี้ยังมีค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) สูงสุด และมีค่า setback ต่ำสุด ด้วยเหตุนี้ การทดลองต่อไปจึงเลือกใช้วิธีการแช่ฟักทองในสารละลาย CA 0.10 % 40 นาที ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของฟักทองผง

#### 1.1.2. ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของฟักทองผง

การอบแห้งฟักทองสับละเอียด 500 กรัมต่อถาดอบ จำนวน 4 ถาด ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45-85 °ซ เพื่อให้ได้ฟักทองอบแห้งที่มีความชื้น 6-8 % พบว่าต้องใช้เวลาในการอบแห้ง 5.0-18.5 ชั่วโมง โดยที่อุณหภูมิ 85 °ซ ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ 5.0 ชั่วโมง รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 75, 65, 55 และ 45 °ซ ซึ่งต้องใช้เวลาเท่ากับ 7.0, 9.0, 13.0 และ 18.5 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่างเร็วขึ้น จึงใช้เวลาในการอบแห้งลดลง (Kaleemullah and Kailappan, 2005; Di Scala and Crapiste, 2007; Vega et al., 2007; Wiriya et al., 2009)

สมบัติทางกายภาพและเคมีของฟักทองผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 45-85 °ซ แสดงในตาราง 15 พบว่าทุกอย่างมีค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณแอมิโลสไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.230-0.253 และ 26.94-27.43 % ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ด้านค่าสี (ตาราง 15) พบว่า ตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 85 °ซ มีค่า  $L^*$  ต่ำสุด แต่มีค่า  $a^*$  สูงสุด ซึ่งอาจเป็นผลของการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Feng and Teng, 1998) เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง โมเลกุลของสตาร์ชจะถูกย่อย (starch hydrolysis) ได้เป็นน้ำตาลอิสระ (free sugars) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนอิสระ (free amino acids) เกิดเป็นสารสีน้ำตาล (Njintang and Mbofung, 2003) นอกจากนี้ ตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 45 °ซ จะมีค่า  $L^*$  ต่ำกว่าตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 55, 65 และ 75 °ซ ซึ่งอาจเป็นเพราะการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้เอนไซม์ในฟักทองยังคงมีการดำเนินกิจกรรมอยู่ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 65 และ 75 °ซ จะให้ตัวอย่างที่มีค่า  $L^*$  สูงสุด และ  $a^*$  ต่ำสุด ทำให้ฟักทองผงมีสีไม่คล้ำ เมื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก

ค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ที่พบในฟักทองผงส่วนใหญ่เป็นสารสีเบต้าแคโรทีน (จิรภา และคณะ, 2547; See et al., 2007) จากการผลิตฟักทองผงโดยใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ 45-85 °ซ พบว่าฟักทองผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 85 °ซ มีค่า  $b^*$  และปริมาณเบต้าแคโรทีนต่ำสุด (ตาราง 15) ซึ่งอาจเป็นเพราะการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะเร่งให้เบต้าแคโรทีนเกิดการสลายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative degradation) นอกจากนี้ความร้อนยังทำให้เบต้าแคโรทีนเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (isomerization) จาก *all-trans*-beta-carotene เป็น *9-cis* และ/หรือ *13-cis*-beta-carotene ซึ่งเบต้าแคโรทีนในรูปของ *all-trans* isomers จะมีชีวประสิทธิผล (bioavailability) มากกว่าในรูปของ *cis* isomers โดย *9-cis* และ *13-cis*-beta-carotene จะมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้เท่ากับ 38 และ 53 % ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ *all-trans*-beta-carotene (Castenmiller and West, 1998; Kopsell and Kopsell, 2006)

ตาราง 15 สมบัติทางกายภาพและเคมีของฟักทองผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ

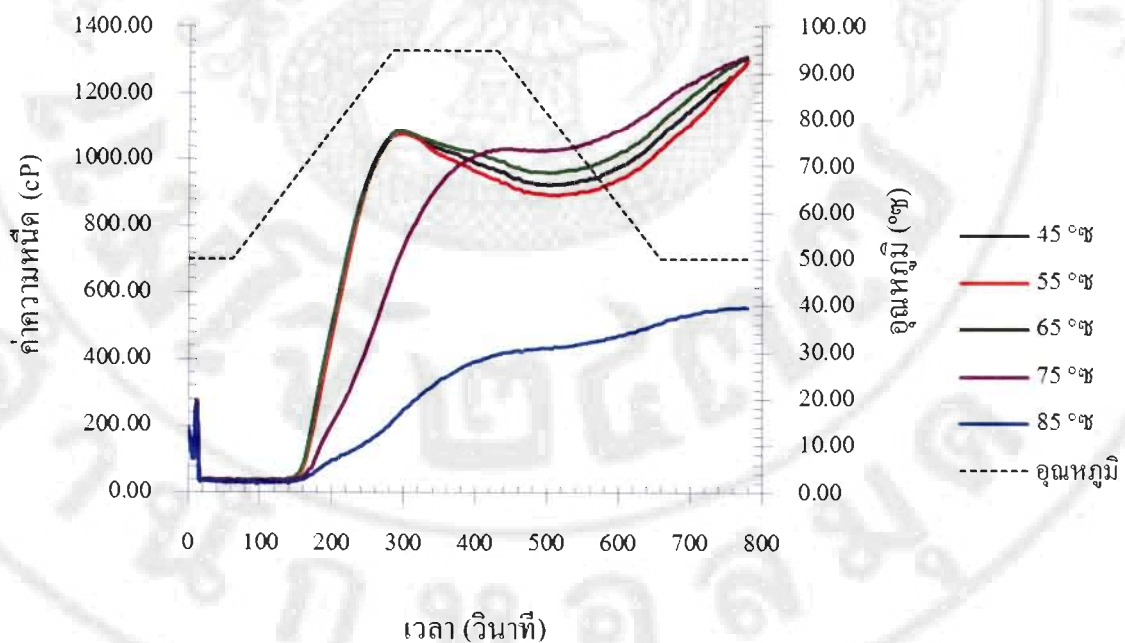
| อุณหภูมิอบแห้ง<br>(°ซ) | ค่าสี                    |                          |                          | $a_w^{ns}$  | ความชื้น <sup>ns</sup><br>(%) | แอมิโลส <sup>ns</sup><br>(%) | เบต้าแคโรทีน<br>(มก./100 กรัม) |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
|                        | L*                       | a*                       | b*                       |             |                               |                              |                                |
| 45                     | 83.52 <sup>b</sup> ±0.18 | 8.14 <sup>a</sup> ±0.18  | 60.77 <sup>b</sup> ±0.22 | 0.230±0.024 | 7.52±0.84                     | 26.94±0.40                   | 13.07 <sup>b</sup> ±0.35       |
| 55                     | 84.48 <sup>a</sup> ±0.23 | 8.34 <sup>a</sup> ±0.21  | 62.57 <sup>a</sup> ±0.25 | 0.246±0.021 | 7.45±0.60                     | 27.28±0.32                   | 13.99 <sup>a</sup> ±0.33       |
| 65                     | 84.76 <sup>a</sup> ±0.20 | 8.05 <sup>a</sup> ±0.23  | 60.68 <sup>b</sup> ±0.19 | 0.253±0.018 | 7.42±0.61                     | 26.98±0.19                   | 13.18 <sup>b</sup> ±0.44       |
| 75                     | 84.63 <sup>a</sup> ±0.22 | 8.39 <sup>a</sup> ±0.21  | 56.29 <sup>c</sup> ±0.47 | 0.249±0.020 | 6.95±0.57                     | 27.43±0.28                   | 12.92 <sup>b</sup> ±0.23       |
| 85                     | 82.40 <sup>c</sup> ±0.21 | 10.14 <sup>b</sup> ±0.22 | 55.21 <sup>d</sup> ±0.48 | 0.244±0.016 | 6.66±0.45                     | 27.08±0.32                   | 12.05 <sup>c</sup> ±0.20       |

- หมายเหตุ
- อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสคริปต์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )
  - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )



ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของฟักทองผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 45-85 °ซ แสดงในภาพ 15 และตาราง 16 พบว่าเมื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น ฟักทองผงจะมีค่า peak viscosity, holding strength, breakdown, final viscosity และ setback ลดลง แต่มีค่า pasting temperature เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลของการเกิดเจลลาติไนเซชัน สอดคล้องกับรายงานของกุหลาบ (2551) ที่พบว่าแป้งข้าวพรีเจลจะมีค่า peak viscosity และ final viscosity ต่ำกว่าแป้งข้าวดิบ

ฟักทองผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 45, 55 และ 65 °ซ มีสมบัติด้านความหนืดไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) แต่เนื่องจากฟักทองสดมีปริมาณความชื้นสูง (ประมาณ 86-88 %) เมื่อนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจึงทำให้เม็ดแป้งบางส่วนเกิดการเจลลาติไนเซชัน ซึ่งจากผลการศึกษาสมบัติด้านความหนืดของฟักทองผงในข้อ 1.1.1. พบว่า ฟักทองผงมีอุณหภูมิในการเกิดเจลหรือ pasting temperature อยู่ในช่วง 69.51-69.96 °ซ ด้วยเหตุนี้ เมื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 และ 85 °ซ ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจล ตัวอย่างจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืดดังผลการทดลอง



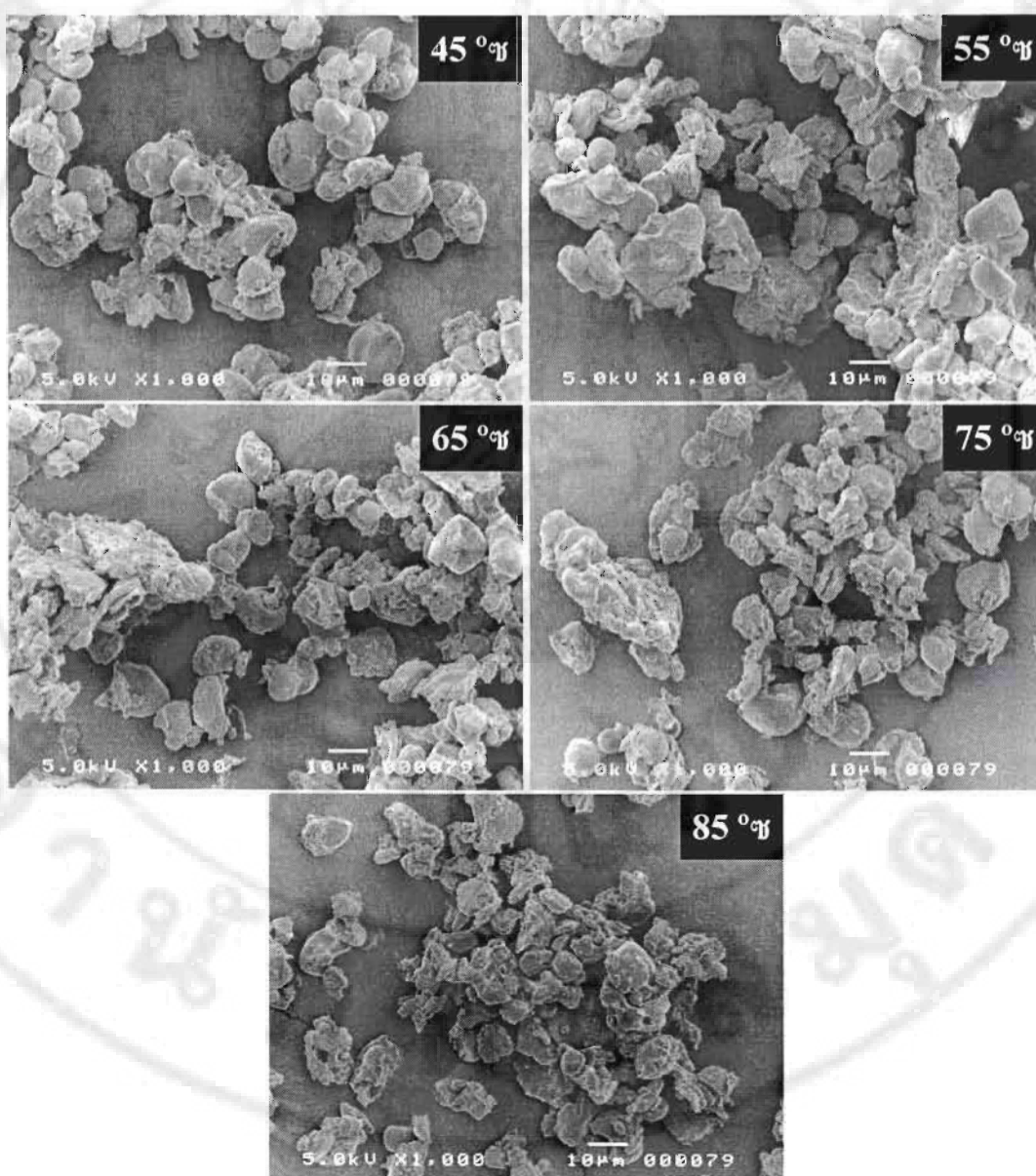
ภาพ 15 กราฟความหนืดของฟักทองผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ

ตาราง 16 สมบัติด้านความหนืดของฟักทองผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ

| อุณหภูมิอบแห้ง*<br>(°ซ) | Peak viscosity<br>(cP)      | Holding strength<br>(cP)   | Breakdown<br>(cP)          | Final viscosity<br>(cP)     | Setback<br>(cP)            | Pasting temperature<br>(°ซ) |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 45                      | 1088.00 <sup>a</sup> ±18.29 | 963.33 <sup>a</sup> ±19.55 | 124.67 <sup>a</sup> ±10.73 | 1299.67 <sup>a</sup> ±21.73 | 336.00 <sup>a</sup> ±16.24 | 69.37 <sup>c</sup> ±0.38    |
| 55                      | 1078.67 <sup>a</sup> ±23.18 | 956.00 <sup>a</sup> ±13.53 | 122.67 <sup>a</sup> ±13.58 | 1301.00 <sup>a</sup> ±18.73 | 345.00 <sup>a</sup> ±6.24  | 69.67 <sup>c</sup> ±0.51    |
| 65                      | 1088.67 <sup>a</sup> ±23.80 | 959.00 <sup>a</sup> ±21.00 | 129.67 <sup>a</sup> ±4.51  | 1303.67 <sup>a</sup> ±24.01 | 344.67 <sup>a</sup> ±13.32 | 69.62 <sup>c</sup> ±0.38    |
| 75                      | 1026.00 <sup>a</sup> ±56.29 | 961.00 <sup>a</sup> ±51.39 | 65.00 <sup>b</sup> ±7.94   | 1311.67 <sup>a</sup> ±70.74 | 350.67 <sup>a</sup> ±20.84 | 71.87 <sup>b</sup> ±1.49    |
| 85                      | 408.33 <sup>b</sup> ±12.50  | 353.67 <sup>b</sup> ±11.55 | 54.67 <sup>b</sup> ±1.53   | 554.00 <sup>b</sup> ±25.51  | 200.33 <sup>b</sup> ±14.36 | 94.53 <sup>a</sup> ±0.23    |

- หมายเหตุ
- \* ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 6.66-7.52 %
  - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ภาพ 16 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟีกทองผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่าเม็ดแป้งของตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ (45 และ 55 °ซ) มีลักษณะคล้ายกับผลการศึกษาในข้อ 1.1.1. แต่เมื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น (65-85 °ซ) เม็ดแป้งจะมีรูปร่างเปลี่ยนไปและมีผิวเป็นรอยย่นมากขึ้น ซึ่งเป็นผลของการเกิดเจลลิตไนเซชัน โดยเม็ดแป้งที่เกิดเจลแล้วเมื่อนำมาผ่านการทำแห้งจะไม่สามารถฟื้นกลับมาอยู่ในรูปของเม็ดแป้งดิบได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้อาจส่งผลต่อสมบัติด้านความหนืด และสมบัติทางหน้าที่ของฟีกทองผง



ภาพ 16 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟีกทองผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางหน้าที่ของฟักทองผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 45-85 °ซ ในตาราง 17 พบว่าอุณหภูมิอบแห้งไม่มีผลต่อความหนาแน่นจำเพาะ แต่จะมีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ดัชนีการละลายน้ำ และความสามารถในการพองตัวของฟักทองผง ( $p \leq 0.05$ ) โดยเมื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น ตัวอย่างจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ดัชนีการละลายน้ำ และความสามารถในการพองตัวลดลง ซึ่งอาจเป็นเพราะการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ และทำให้เม็ดแป้งมีลักษณะโครงสร้างที่เปลี่ยนไป (ภาพ 16) โดยสมบัติทางหน้าที่จะมีความสัมพันธ์กับสมบัติด้านความหนืด (ภาพ 15 และตาราง 16) คือ ฟักทองผงจะมีสมบัติด้านความหนืดลดลงตามความสามารถในการดูดซับน้ำ และความสามารถในการพองตัว สอดคล้องกับรายงานของ Sefa-Dedeh and Stanley (1979) และ Njintang and Mbofung (2006) ที่ได้ทำการศึกษาในแป้งถั่วพุ่ม และแป้งเผือก ตามลำดับ

ตาราง 17 สมบัติทางหน้าที่ของฟักทองผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ

| อุณหภูมิอบแห้ง*<br>(°ซ) | WAC<br>(%)                | OAC<br>(%)                | WSI<br>(%)               | SC                       | BD <sup>ns</sup><br>(กรัม/ซม. <sup>3</sup> ) |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|
| 45                      | 298.24 <sup>a</sup> ±3.79 | 125.72 <sup>a</sup> ±2.33 | 19.87 <sup>a</sup> ±1.31 | 18.61 <sup>a</sup> ±0.64 | 0.81±0.02                                    |
| 55                      | 298.46 <sup>a</sup> ±3.79 | 126.93 <sup>a</sup> ±2.33 | 19.93 <sup>a</sup> ±1.09 | 18.47 <sup>a</sup> ±0.81 | 0.80±0.02                                    |
| 65                      | 294.28 <sup>a</sup> ±1.78 | 111.44 <sup>b</sup> ±2.44 | 18.79 <sup>a</sup> ±0.45 | 18.63 <sup>a</sup> ±1.17 | 0.79±0.02                                    |
| 75                      | 285.01 <sup>b</sup> ±1.80 | 108.43 <sup>b</sup> ±1.57 | 16.73 <sup>b</sup> ±1.61 | 16.24 <sup>a</sup> ±0.31 | 0.80±0.01                                    |
| 85                      | 285.09 <sup>b</sup> ±3.31 | 96.33 <sup>c</sup> ±2.09  | 16.45 <sup>b</sup> ±1.99 | 11.91 <sup>b</sup> ±0.88 | 0.81±0.02                                    |

- หมายเหตุ
- \* ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 6.66-7.52 %
  - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสมมติแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )
  - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากผลการทดลอง จึงเลือกการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °ซ เพื่อใช้ในการผลิตฟักทองผง เนื่องจากจะทำให้ได้ฟักทองผงที่มีค่า L\*, b\* และปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงสุด นอกจากนี้ยังมีสมบัติด้านความหนืดและสมบัติทางหน้าที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ

## 1.2. ผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและอนุมูลอิสระต่อคุณภาพของเผือกผง

### 1.2.1. ผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลต่อคุณภาพของเผือกผง

การแช่เผือกในสารละลายป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ มีผลต่อค่าสี pH และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของเผือกผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ไม่มีผลต่อค่ากิจกรรมของน้ำ ปริมาณความชื้น และแอมิโลส ดังแสดงในตาราง 18 โดยพบว่าเผือกผงมีค่ากิจกรรมของน้ำ ปริมาณความชื้น และแอมิโลสอยู่ในช่วง 0.163-0.194, 5.14-5.74 % และ 22.95-23.30 % ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแอมิโลสในเผือกผงที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Njintang et al. (2007) ที่ได้ทำการศึกษาในเผือก 5 พันธุ์ (Country Ekona, Ibo Ekona, Country Ngdere, Kwanfre Ngdere และ Sosso Chad) และ Aboubakar et al. (2008) ที่ได้ทำการศึกษาในเผือก 6 พันธุ์ (WCN, WCE, RIE, RIN, KW1 และ KW2) ซึ่งพบว่าเผือกมีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วง 22.8-35.7 % และ 14.70-26.05 % ตามลำดับ แต่มีค่าสูงกว่ารายงานของรองรัตน์ (2546) และปิ่นทริญาร์ (2549) ที่พบว่าเผือกมีปริมาณแอมิโลสเท่ากับ 19.98 และ 16.47 % ตามลำดับ โดยความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้อาจมีสาเหตุจากความแก่อ่อน และความแตกต่างของพันธุ์เผือกที่นำมาใช้ในการทดลอง

เผือกผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายป้องกันการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 7 ชนิด มีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) สูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจาก KMS, AA, CA, OA, NaE,  $\text{CaCl}_2$  และ  $L$ -cys สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ได้ โดยสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลแต่ละชนิดจะมีกลไกการยับยั้งที่แตกต่างกัน คือ สารเพิ่มความเป็นกรด (acidulants) เช่น CA และ OA จะทำให้ PPO สูญเสียคิวปริกไอออน ( $\text{Cu}^{2+}$ ) ที่บริเวณเร่งและช่วยปรับค่า pH ของอาหารให้อยู่ในสถานะที่ไม่เหมาะสมต่อการดำเนินกิจกรรมของ PPO (Suttirak and Manurakchinakorn, 2010) สารรีดิวซิง (reducing agents) เช่น KMS, AA และ NaE จะรีดิวซ์สาร  $o$ -quinone ซึ่งมีสีน้ำตาลให้กลับไปเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่มีสีดั้งเดิม และรีดิวซ์คิวปริกไอออนที่บริเวณเร่งของ PPO ให้กลายเป็นคิวปรัสไอออน (cuprous ion;  $\text{Cu}^+$ ) (Iyengar and McEvily, 1992; Whitaker, 1995; Martinez and Whitaker, 1995; Lee and Whitaker, 1995) สารจับโลหะ (chelating agents) เช่น AA, CA, OA และ  $\text{CaCl}_2$  จะจับกับคิวปริกไอออนแล้วกำจัดออกจากบริเวณเร่งของ PPO (Suttirak and Manurakchinakorn, 2010) สารที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน (complexing agents) เช่น  $\text{CaCl}_2$  และ  $L$ -cys จะแย่งจับกับสารตั้งต้นของ PPO ทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลลดลง (เกียรติศักดิ์, 2551; Wiriya et al., 2009) และสารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inhibition) เช่น  $\text{CaCl}_2$  จะทำให้ PPO เกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติจนไม่สามารถเข้าจับ

สารตั้งต้นได้ (Suttirak and Manurakchinakorn, 2010) จากผลการทดลองพบว่า เนื้ออกหมูมีค่าความสว่างสูง โดยมีค่า  $L^*$  อยู่ในช่วง 85.10-87.43 จึงทำให้มีสีค่อนข้างขาว ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ รองรัตน์ (2546) ปิ่นทริญาร์ (2549) และ Aboubakar et al. (2008) ที่พบว่าเนื้ออกหมูมีค่า  $L^*$  เท่ากับ 90.05, 90.55 และ 84.40-93.63 ตามลำดับ

ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) ในเนื้ออกหมูส่วนใหญ่เกิดจากสารแอนโทไซยานิน และบางส่วนอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลทั้งแบบที่เกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ จากผลการทดลองในตาราง 18 พบว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย OA และ *L*-cys มีค่า  $a^*$  สูงสุด ขณะที่ตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย KMS, AA, CA, NaE และ  $CaCl_2$  มีค่า  $a^*$  ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ( $p>0.05$ ) โดยเนื้ออกหมูที่ได้จากการทดลองนี้มีค่า  $a^*$  อยู่ในช่วง 8.79-9.34 ซึ่งสูงกว่ารายงานของ รองรัตน์ (2546) ปิ่นทริญาร์ (2549) และ Aboubakar et al. (2008) ที่พบว่าเนื้ออกหมูมีค่า  $a^*$  เท่ากับ 1.38, 0.85 และ 1.45-5.67 ตามลำดับ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากความแตกต่างของพันธุ์เนื้ออกที่นำมาใช้ รวมถึงความแก่อ่อนของเนื้ออก และวิธีการเตรียมตัวอย่าง เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง และขนาดอนุภาค เป็นต้น

เนื้ออกหมูที่มีคุณภาพดีควรมีค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) ต่ำ เนื่องจากค่า  $b^*$  ที่สูงจะแสดงให้เห็นถึงการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ จากผลการทดลองในตาราง 18 พบว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย CA, OA,  $CaCl_2$  และ *L*-cys มีค่า  $b^*$  ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ( $p>0.05$ ) แต่ตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย AA และ NaE มีค่า  $b^*$  สูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) ซึ่งอาจเป็นเพราะในระหว่างการอบแห้ง AA และ NaE อาจเกิดการสลายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้เป็นสาร *L*-dehydroascorbic acid (DHAA) ที่เมื่อรวมตัวกับกรดอะมิโนแล้วจะได้เป็นสารจำพวกเฟอรูรัล (furfural) ซึ่งเป็นสารสีน้ำตาล (Arroyo-Lopez et al., 2008) และ/หรือ อาจได้เป็น 2,3-diketogluconic acids ซึ่งเป็นสารที่ไม่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ได้อีกต่อไป โดยการสลายตัวนี้จะเกิดได้ดีในสภาวะที่มีอากาศและความร้อนสูง (Eskin et al., 1971) นอกจากนี้ จากผลการศึกษาของ Choi et al. (2002) ยังพบอีกด้วยว่า AA และ NAE อาจทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานิน ซึ่งจะทำให้อาหารมีสีคล้ำขึ้น และมีคุณค่าทางโภชนาการลดลง จากการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย KMS มีค่า  $b^*$  ต่ำสุด แสดงให้เห็นว่าการแช่เนื้ออกในสารละลาย KMS มีประสิทธิภาพในการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ดีที่สุด โดยเนื้ออกหมูที่ได้จากการทดลองนี้มีค่า  $b^*$  อยู่ในช่วง -0.81-0.94 ซึ่งต่ำกว่ารายงานของ รองรัตน์ (2546) ปิ่นทริญาร์ (2549) และ Aboubakar et al. (2008) ที่พบว่าเนื้ออกหมูมีค่า  $b^*$  เท่ากับ 5.16, 5.83 และ 8.86-13.91 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของเปลือกผง พบว่า ตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย KMS, CA, OA,  $\text{CaCl}_2$  และ *L*-cys มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่าการแช่เปลือกในสารละลายป้องกันการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 5 ชนิดนี้ สามารถป้องกันการสลายตัวของแอนโทไซยานินในระหว่างกระบวนการผลิตเปลือกผงได้ ขณะที่ตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย AA และ NaE มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ( $p > 0.05$ ) Shipp and Abdel-Aal (2010) รายงานว่า แอนโทไซยานินอาจเกิดการสลายตัวได้เนื่องจากหลายๆ ปัจจัย เช่น ความร้อน ออกซิเจน แสง กรดแอสคอร์บิก โลหะไอออน และเอนไซม์ เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าการแช่เปลือกในสารละลาย AA และ NaE ไม่สามารถรักษาระดับปริมาณแอนโทไซยานินของเปลือกผงได้ นอกจากนี้ยังทำให้เปลือกผงมีสีค่อนข้างเหลืองอีกด้วย

การแช่เปลือกในสารละลาย CA และ OA จะทำให้เปลือกผงมีค่า pH ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเปลือกผงจะมีค่า pH ค่อนมาทางกรดเล็กน้อย เนื่องจากในห้วเปลือกมีการออกซาลิกเป็นองค์ประกอบ (Noonan and Savage, 1999)



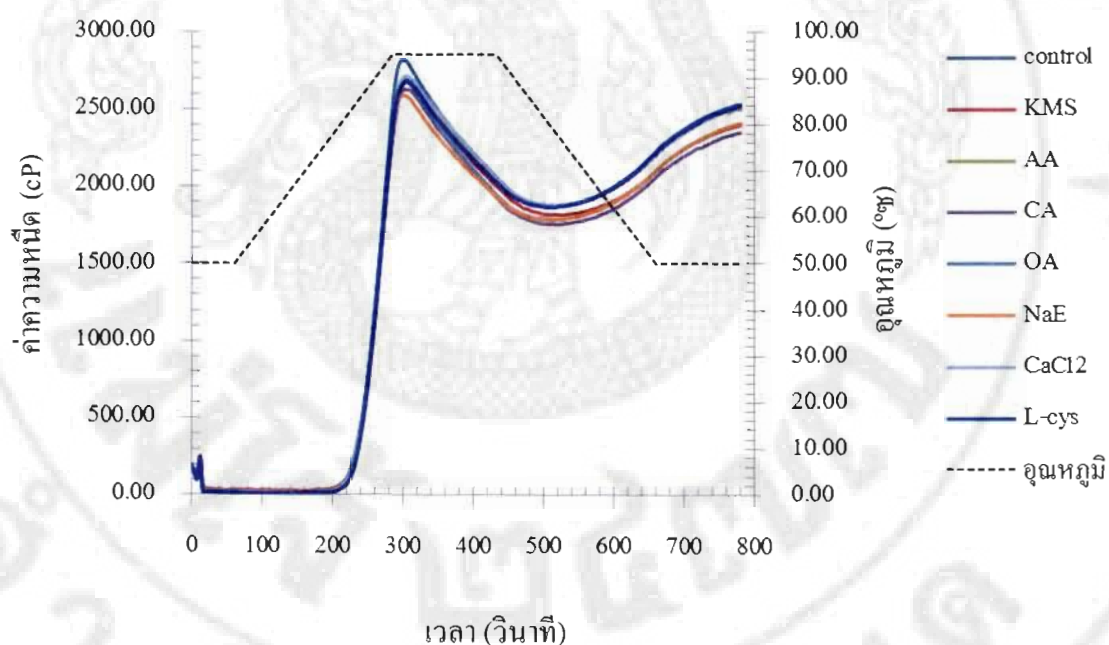
ตาราง 18 สมบัติทางกายภาพและเคมีของเนื้ออกผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ

| ตัวอย่าง                         | ค่าสี                    |                           |                           | $a_w^{ns}$  | ความชื้น <sup>ns</sup><br>(%) | pH                       | แอมิโลส <sup>ns</sup><br>(%) | แอนโทไซยานิน<br>(มก./100 กรัม) |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------------|
|                                  | L*                       | a*                        | b*                        |             |                               |                          |                              |                                |
| Control                          | 85.10 <sup>f</sup> ±0.24 | 8.86 <sup>bc</sup> ±0.71  | -0.49 <sup>cd</sup> ±0.43 | 0.163±0.019 | 5.14±0.62                     | 6.39 <sup>ab</sup> ±0.06 | 23.30±0.22                   | 4.89 <sup>c</sup> ±0.17        |
| KMS 0.15 % 60 นาที               | 87.43 <sup>a</sup> ±0.21 | 8.89 <sup>bc</sup> ±0.37  | -1.03 <sup>c</sup> ±0.44  | 0.173±0.018 | 5.51±0.99                     | 6.24 <sup>b</sup> ±0.05  | 23.17±0.29                   | 5.39 <sup>a</sup> ±0.09        |
| AA 0.10 % 20 นาที                | 85.78 <sup>c</sup> ±0.35 | 8.79 <sup>c</sup> ±0.59   | 0.94 <sup>a</sup> ±1.20   | 0.193±0.027 | 5.55±0.79                     | 6.23 <sup>b</sup> ±0.08  | 23.27±0.19                   | 4.89 <sup>c</sup> ±0.11        |
| CA 0.30 % 20 นาที                | 86.62 <sup>c</sup> ±0.66 | 9.21 <sup>ab</sup> ±0.55  | -0.67 <sup>cd</sup> ±0.37 | 0.184±0.035 | 5.54±0.89                     | 5.94 <sup>c</sup> ±0.07  | 23.18±0.35                   | 5.35 <sup>ab</sup> ±0.16       |
| OA 0.20 % 20 นาที                | 86.18 <sup>d</sup> ±0.53 | 9.34 <sup>a</sup> ±0.81   | -0.45 <sup>c</sup> ±0.53  | 0.188±0.031 | 5.36±0.69                     | 6.03 <sup>c</sup> ±0.08  | 23.10±0.28                   | 5.37 <sup>ab</sup> ±0.09       |
| NaE 0.10 % 20 นาที               | 85.83 <sup>c</sup> ±0.47 | 8.79 <sup>c</sup> ±0.54   | 0.51 <sup>b</sup> ±0.76   | 0.187±0.018 | 5.72±0.71                     | 6.37 <sup>b</sup> ±0.10  | 22.95±0.25                   | 5.01 <sup>bc</sup> ±0.19       |
| CaCl <sub>2</sub> 1.00 % 40 นาที | 86.94 <sup>b</sup> ±0.44 | 9.00 <sup>abc</sup> ±0.62 | -0.81 <sup>dc</sup> ±0.33 | 0.173±0.011 | 5.42±0.85                     | 6.50 <sup>a</sup> ±0.08  | 23.04±0.13                   | 5.28 <sup>ab</sup> ±0.16       |
| L-cys 0.05 % 60 นาที             | 85.83 <sup>c</sup> ±0.38 | 9.32 <sup>a</sup> ±0.84   | -0.40 <sup>c</sup> ±0.40  | 0.194±0.014 | 5.74±0.64                     | 6.47 <sup>a</sup> ±0.10  | 23.12±0.37                   | 5.26 <sup>ab</sup> ±0.18       |

- หมายเหตุ
- อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสมรค์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )
  - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )



สมบัติด้านความหนืดของเฟือกผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ แสดงในภาพ 17 และตาราง 19 พบว่าทุกตัวอย่างมีค่า peak viscosity, holding strength, breakdown, final viscosity, setback และ pasting temperature ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2600.00-2761.50 cP, 1749.75-1878.88 cP, 819.00-913.25 cP, 2350.75-2522.50 cP, 585.25-645.00 cP และ 80.49-81.49 °ซ ตามลำดับ ซึ่ง เฟือกผงที่ได้จากการทดลองนี้มีค่า peak viscosity, holding strength, breakdown, final viscosity และ setback สูงกว่าแต่มีค่า pasting temperature ต่ำกว่ารายงานของ รองรัตน์ (2546) และ ปันทรวิญญ์ (2549) ที่พบว่าเฟือกผงมีค่า peak viscosity, holding strength, breakdown, final viscosity, setback และ pasting temperature อยู่ในช่วง 1610.52-1682.40 cP, 1191.60-1174.56 cP, 435.96-490.80 cP, 1624.80-1653.48 cP, 433.20-479.04 cP และ 83.55-85.58 °ซ ตามลำดับ



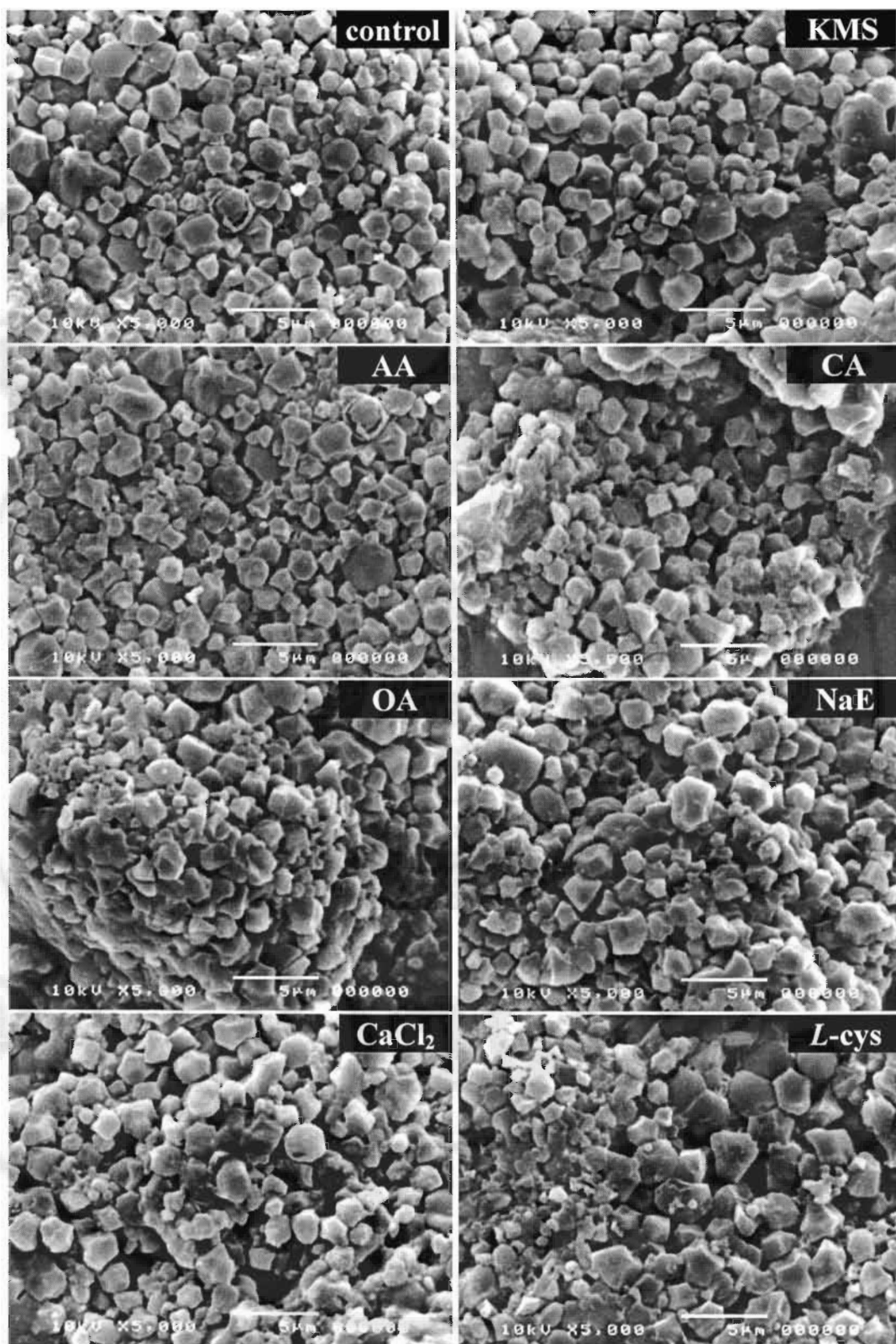
ภาพ 17 กราฟความหนืดของเฟือกผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ

ตาราง 19 สมบัติด้านความหนืดของเฟือกผงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ<sup>ns</sup>

| ตัวอย่าง                         | Peak viscosity<br>(cP) | Holding strength<br>(cP) | Breakdown<br>(cP) | Final viscosity<br>(cP) | Setback<br>(cP) | Pasting temperature<br>(°C) |
|----------------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------------|
| Control                          | 2761.50±143.95         | 1848.25±30.86            | 913.25±64.81      | 2493.25±73.19           | 645.00±52.33    | 80.88±0.88                  |
| KMS 0.15 % 60 นาที               | 2674.75±112.19         | 1815.50±36.36            | 859.25±55.82      | 2400.75±58.13           | 585.25±22.77    | 80.89±0.27                  |
| AA 0.10 % 20 นาที                | 2706.00±182.43         | 1869.00±66.17            | 837.00±78.60      | 2500.75±121.98          | 631.75±25.81    | 81.34±0.23                  |
| CA 0.30 % 20 นาที                | 2633.25±146.43         | 1749.75±76.40            | 883.50±71.63      | 2350.75±89.04           | 601.00±15.56    | 80.64±1.18                  |
| OA 0.20 % 20 นาที                | 2688.50±101.53         | 1784.25±40.15            | 904.25±81.73      | 2409.25±25.10           | 625.00±45.25    | 80.86±0.37                  |
| NaE 0.10 % 20 นาที               | 2600.00±109.30         | 1781.00±61.92            | 819.00±71.23      | 2409.50±150.61          | 628.50±58.69    | 81.28±0.88                  |
| CaCl <sub>2</sub> 1.00 % 40 นาที | 2718.44±178.81         | 1878.88±36.95            | 839.56±45.76      | 2515.69±95.19           | 636.81±58.25    | 80.49±0.30                  |
| L-cys 0.05 % 60 นาที             | 2714.50±89.09          | 1862.50±79.71            | 852.00±58.70      | 2522.50±169.41          | 660.00±29.70    | 81.49±1.08                  |

หมายเหตุ <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเผือกผงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่ความต่างศักย์ 10 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 5,000 เท่า พบว่าทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพ 18 โดยเผือกผงจะประกอบด้วยเม็ดแป้งขนาดเล็กจำนวนมากที่เกาะรวมกันเป็นกลุ่ม และมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่เม็ดแป้งปนอยู่บ้างเล็กน้อย เม็ดแป้งของเผือกผงมีรูปร่างหลายเหลี่ยม (polygonal) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-3 ไมโครเมตร ลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบไม่มีรอยแตก สอดคล้องกับรายงานของ Jane et al. (1992), Aboubakar et al. (2008) และ Huang (2009) ที่พบว่า เผือกมีปริมาณสตาร์ชมากถึง 73.0-76.1, 66.5-86.6 และ 80.62 % ตามลำดับ โดยเม็ดแป้งมีรูปร่างหลายเหลี่ยม และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-5 ไมโครเมตร เนื่องจากเผือกมีเม็ดแป้งขนาดเล็กจึงเป็นอาหารที่ย่อยง่าย ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเผือกไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับเด็กและทารกในประเทศแถบทวีปอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ (Nip, 1997)



ภาพ 18 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลือกหอยที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ

ตาราง 20 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางหน้าที่ของเปลือกพืงที่ผ่านการแช่ในสารละลายป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ พบว่าตัวอย่างที่แช่ในสารละลาย AA, CA, OA และ NaE มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตาม การแช่เปลือกในสารละลายป้องกันการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 7 ชนิด ไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมัน คัดสีการละลายน้ำ ความสามารถในการพองตัว และความหนาแน่นจำเพาะของเปลือกพืง โดยเปลือกพืงที่ได้จากการทดลองนี้มีความสามารถในการดูดซับน้ำอยู่ในช่วง 253.07-267.91 % ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Njintang et al. (2007) แต่มากกว่าผลการศึกษาของ Tagodoe and Nip (1994) ที่พบว่าแป้งเปลือกมีความสามารถในการดูดซับน้ำอยู่ในช่วง 270-375 % และ 150-180 % ตามลำดับ โดยความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้อาจเป็นเพราะตัวอย่างมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน และ/หรือ ใช้สภาวะในการวิเคราะห์ที่ไม่เหมือนกัน

ตาราง 20 สมบัติทางหน้าที่ของเปลือกพืงที่ผ่านการแช่ในสารละลายชนิดต่างๆ

| ตัวอย่าง                         | WAC<br>(%)                 | OAC <sup>ns</sup><br>(%) | WSI <sup>ns</sup><br>(%) | SC <sup>ns</sup> | BD <sup>ns</sup><br>(กรัม/ซม. <sup>3</sup> ) |
|----------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|----------------------------------------------|
| control                          | 253.07 <sup>c</sup> ±1.14  | 118.54±7.83              | 49.88±1.10               | 12.18±0.93       | 0.77±0.01                                    |
| KMS 0.15 % 60 นาที               | 253.90 <sup>bc</sup> ±1.68 | 118.33±9.96              | 49.65±1.09               | 12.22±0.33       | 0.78±0.02                                    |
| AA 0.10 % 20 นาที                | 262.83 <sup>ab</sup> ±4.82 | 114.75±1.58              | 49.60±0.71               | 12.60±0.74       | 0.76±0.01                                    |
| CA 0.30 % 20 นาที                | 267.91 <sup>a</sup> ±2.80  | 116.02±6.81              | 50.22±0.95               | 12.10±0.35       | 0.77±0.02                                    |
| OA 0.20 % 20 นาที                | 266.62 <sup>a</sup> ±2.00  | 116.27±0.92              | 50.43±0.59               | 12.16±0.76       | 0.77±0.03                                    |
| NaE 0.10 % 20 นาที               | 266.53 <sup>a</sup> ±2.66  | 112.29±4.44              | 49.49±0.70               | 12.64±0.53       | 0.77±0.02                                    |
| CaCl <sub>2</sub> 1.00 % 40 นาที | 259.42 <sup>bc</sup> ±2.97 | 115.68±7.78              | 50.01±0.94               | 12.10±0.96       | 0.78±0.02                                    |
| L-cys 0.05 % 60 นาที             | 255.43 <sup>bc</sup> ±1.44 | 116.59±5.48              | 49.76±1.36               | 12.38±0.82       | 0.77±0.01                                    |

- หมายเหตุ
- อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )
  - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )



การทดลองต่อไปจะเลือกใช้วิธีการแช่เปลือกในสารละลาย KMS 0.15 % 60 นาที ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของเปลือกพวง เนื่องจากวิธีการนี้สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล และช่วยลดการสลายตัวของแอนโทไซยานินในเปลือกพวงได้ดีที่สุด

#### 1.2.2. ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของเปลือกพวง

เมื่อนำเปลือกที่ผ่านการแช่ในสารละลาย KMS 0.15 % 60 นาที มาทำการสับละเอียด (ความชื้นเท่ากับ 74-75 %) และอบแห้งที่อุณหภูมิ 45, 55, 65, 75 และ 85 °C จนมีความชื้นสุดท้าย 4-6 % พบว่าต้องใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 15.0, 11.0, 8.0, 6.0 และ 4.5 ชั่วโมง ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Njintang and Mbofung (2006) ที่พบว่า การอบแห้งเปลือก (หั่นให้มีขนาดหนา 0.5 ซม.) ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 °C จนมีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 10 % จะต้องใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 4310, 2100 และ 1305 นาที ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (80 °C) จะทำให้เปลือกมีความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (50 °C) (Njintang and Mbofung, 2003)

จากผลการทดลองในตาราง 21 พบว่าเปลือกพวงมีค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วง 0.141-0.179 และ 23.38-24.07 % ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในทุกตัวอย่าง ( $p>0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตามการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกันจะมีผลต่อค่าสี และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของเปลือกพวง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เมื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นตัวอย่างจะมีค่า  $L^*$  ลดลง แต่มีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  เพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 55 และ 65 °C มีค่า  $L^*$  สูงกว่า แต่มีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  ต่ำกว่าตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 75 และ 85 °C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) ซึ่งอาจเป็นเพราะการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้คาร์โบไฮเดรตในเปลือกเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดโดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Ahmed et al., 2010) ส่วนตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 45 °C จะมีค่า  $L^*$  ต่ำกว่าตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 55 และ 65 °C ซึ่งอาจเป็นเพราะเอนไซม์ในเปลือกบางส่วนยังคงมีการดำเนินกิจกรรมอยู่เมื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

การสลายตัวของแอนโทไซยานินอาจเกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น ความร้อน แสง ออกซิเจน กรดแอสคอร์บิก โลหะไอออน และเอนไซม์ เป็นต้น (Shipp and Abdel-Aal, 2010) ผลการทดลองในตาราง 21 พบว่าตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 45, 75 และ 85 °C มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดต่ำกว่าตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 55 และ 65 °C อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งสามารถอธิบายได้ 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 การอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (45 °ซ) ต้องใช้เวลาในการอบแห้งนาน จึงทำให้แอนโทไซยานินมีการสัมผัสกับอากาศ และเกิดการสลายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันมากขึ้น (Erbay and Icier, 2009; Wiriya et al., 2009) และกรณีที่ 2 การอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (75 และ 85 °ซ) จะทำให้แอนโทไซยานินเกิดการสลายตัวได้ง่าย และเร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากโครงสร้างของแอนโทไซยานินจะไม่เสถียรในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง สอดคล้องกับรายงานของ Tello-Ireland et al. (2011) ที่พบว่า สาหร่าย *Gracilaria* ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 °ซ จะมีปริมาณไฟโคอีริทริน (phycoerythrin) และไฟโคไซยานิน (phycocyanin) สูงกว่าตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 40, 60 และ 70 °ซ โดยไฟโคอีริทริน และไฟโคไซยานิน คือ รงควัตถุสีแดง และสีน้ำเงินที่พบในสาหร่าย *Gracilaria* ตามลำดับ และรายงานของ Wiriya et al. (2009) ที่พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °ซ สามารถรักษาระดับสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของพริกแห้งได้ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 70 °ซ

ตาราง 21 สมบัติทางกายภาพและเคมีของเปลือกผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ

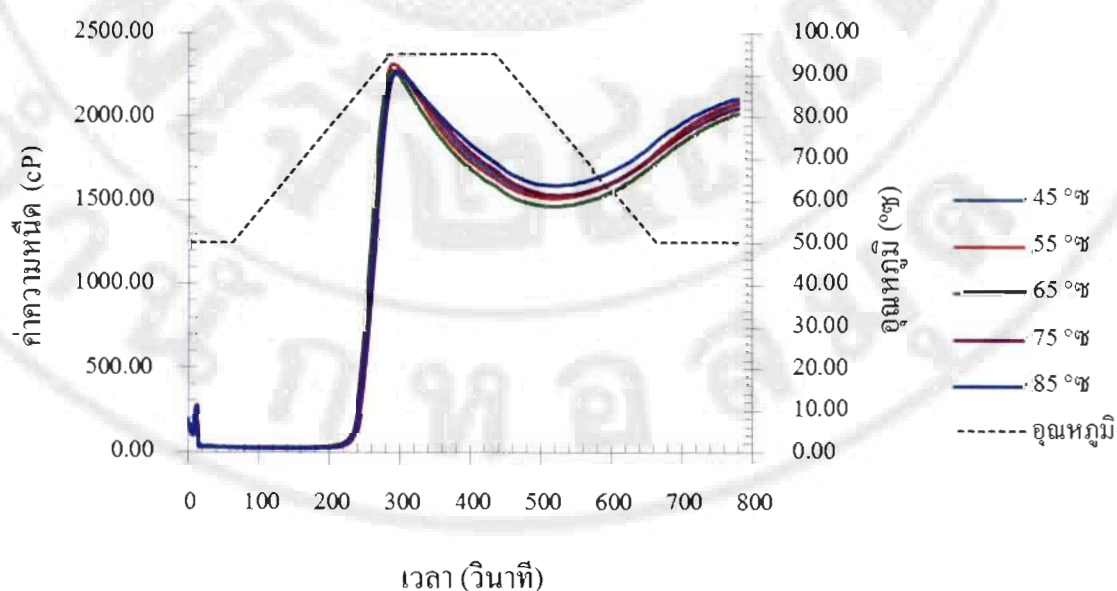
| อุณหภูมิอบแห้ง<br>(°ซ) | ค่าสี                    |                         |                          | $a_w^{ns}$  | ความชื้น <sup>ns</sup><br>(%) | แอมิโลส <sup>ns</sup><br>% | แอนโทไซยานิน<br>(มก./100 กรัม) |
|------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
|                        | L*                       | a*                      | b*                       |             |                               |                            |                                |
| 45                     | 90.43 <sup>b</sup> ±0.12 | 7.62 <sup>c</sup> ±0.14 | -1.14 <sup>c</sup> ±0.13 | 0.179±0.033 | 5.55±0.72                     | 24.02±0.27                 | 5.98 <sup>b</sup> ±0.05        |
| 55                     | 91.73 <sup>a</sup> ±0.12 | 7.58 <sup>c</sup> ±0.14 | -1.26 <sup>c</sup> ±0.13 | 0.174±0.028 | 5.44±0.88                     | 23.38±0.52                 | 6.24 <sup>a</sup> ±0.05        |
| 65                     | 91.63 <sup>a</sup> ±0.11 | 7.46 <sup>c</sup> ±0.17 | -1.42 <sup>d</sup> ±0.13 | 0.175±0.029 | 5.47±0.91                     | 23.69±0.30                 | 6.17 <sup>a</sup> ±0.07        |
| 75                     | 90.24 <sup>b</sup> ±0.11 | 8.19 <sup>b</sup> ±0.13 | -1.01 <sup>b</sup> ±0.06 | 0.147±0.029 | 4.58±0.92                     | 24.07±0.43                 | 5.95 <sup>b</sup> ±0.06        |
| 85                     | 89.57 <sup>c</sup> ±0.12 | 8.45 <sup>a</sup> ±0.13 | -0.66 <sup>a</sup> ±0.05 | 0.141±0.027 | 4.41±0.83                     | 23.51±0.29                 | 6.00 <sup>b</sup> ±0.04        |

หมายเหตุ - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสมรค์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
- <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )



เผือกผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 45-85 °ซ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดไม่แตกต่างกันดังแสดงในภาพ 19 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายเผือกผงจนถึงอุณหภูมิในการเกิดเจล (pasting temperature) ซึ่งอยู่ในช่วง 83.12-84.25 °ซ พบว่าความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของเม็ดแป้ง สายพอลิเมอร์ของแอมิโลสและอะมิโลเพกตินที่อัดแน่นอยู่ในเม็ดแป้งจึงเกิดการคลายตัวและรวมกับน้ำที่อยู่ล้อมรอบ เม็ดแป้งจึงเกิดการพองตัว และมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเผือกผงจะมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากในเผือกผงประกอบด้วยเม็ดแป้งขนาดเล็กจำนวนมาก จึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงและพองตัวได้ดี อีกทั้งเม็ดแป้งในเผือกผงจะเกาะชิดกันเป็นกลุ่มก้อน จึงทำให้สามารถทนแรงเฉือนที่เกิดจากการกระทำของใบพัดได้มาก เผือกผงจึงมีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่อนข้างสูง (2276.67-2323.67 cP) แต่เมื่อมีการให้ความร้อนต่อไปเม็ดแป้งก็จะแตกออกทำให้สารละลายมีความหนืดลดลง ซึ่งจะมีค่าความหนืดต่ำสุด (holding strength) เท่ากับ 1466.00-1591.00 cP จากนั้นเมื่อสารละลายถูกทำให้เย็นตัวลง โมเลกุลของแอมิโลสและอะมิโลเพกตินก็จะเชื่อมต่อกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยจะจับน้ำที่เคยจับอยู่ออกจากโมเลกุล (syneresis) จึงทำให้เกิดเป็นผลึกใหม่ซึ่งมีความหนืดสุดท้าย (final viscosity) อยู่ในช่วง 2023.33-2114.00 cP

จากตาราง 22 พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งไม่มีผลต่อค่า peak viscosity, holding strength, final viscosity, setback และ pasting temperature ของเผือกผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้เผือกผงมีค่า breakdown ลดลงเล็กน้อย



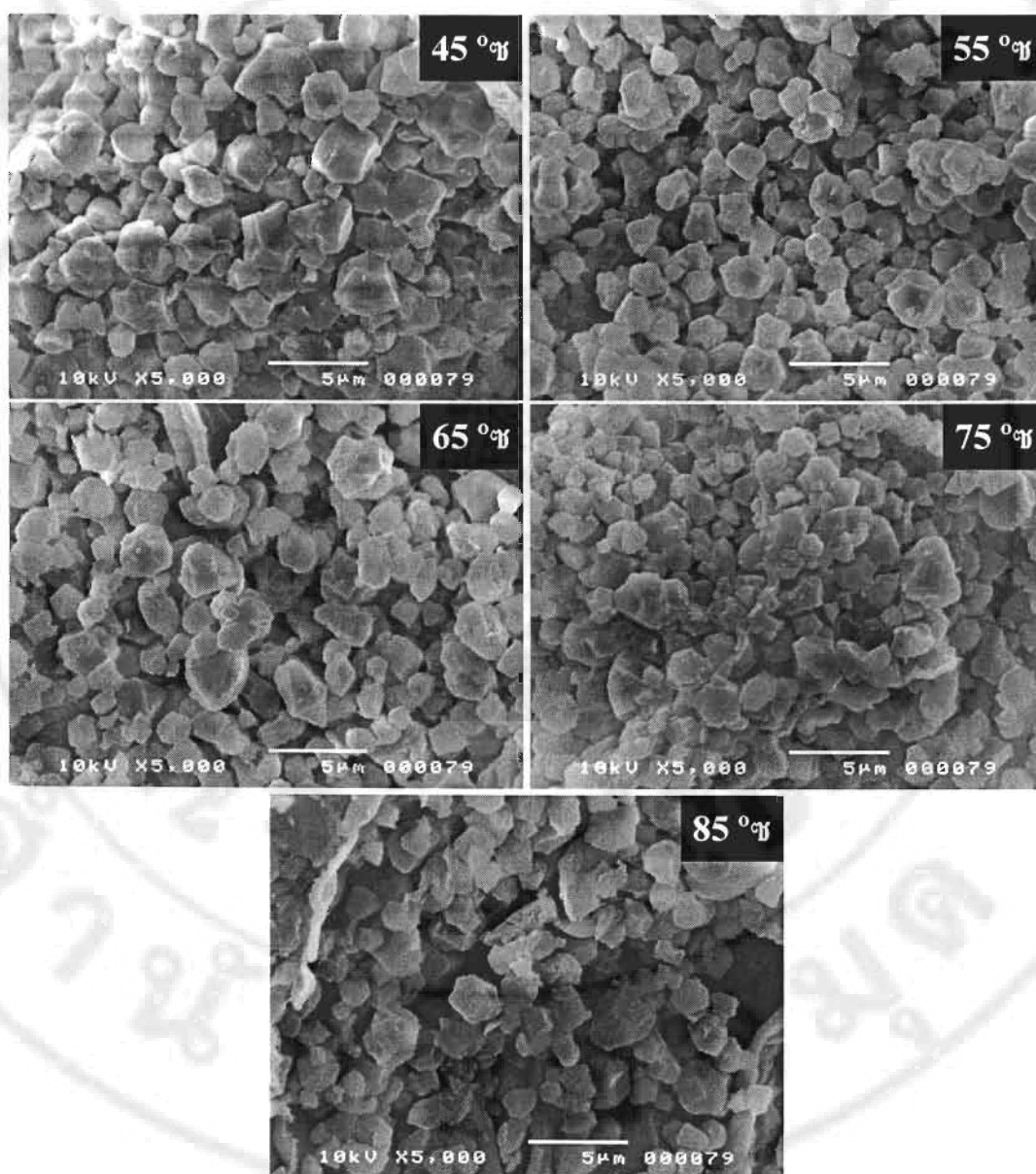
ภาพ 19 กราฟความหนืดของเผือกผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ

ตาราง 22 สมบัติด้านความหนืดของเฟือกผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ

| อุณหภูมิอบแห้ง <sup>*</sup><br>(°ซ) | Peak viscosity <sup>ns</sup><br>(cP) | Holding strength <sup>ns</sup><br>(cP) | Breakdown<br>(cP)           | Final viscosity <sup>ns</sup><br>(cP) | Setback <sup>ns</sup><br>(cP) | Pasting temperature <sup>ns</sup><br>(°ซ) |
|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|
| 45                                  | 2291.33±21.73                        | 1525.00±85.13                          | 766.33 <sup>a</sup> ±61.86  | 2070.00±83.76                         | 545.00±28.29                  | 83.72±0.48                                |
| 55                                  | 2323.67±144.20                       | 1513.33±89.49                          | 810.33 <sup>a</sup> ±56.59  | 2091.00±124.76                        | 577.67±38.37                  | 83.65±0.48                                |
| 65                                  | 2284.33±29.69                        | 1466.00±45.13                          | 818.33 <sup>a</sup> ±32.59  | 2023.33±72.34                         | 557.33±28.29                  | 83.72±0.98                                |
| 75                                  | 2281.00±149.50                       | 1532.33±93.38                          | 748.67 <sup>ab</sup> ±56.31 | 2054.67±127.21                        | 522.33±34.15                  | 84.25±0.48                                |
| 85                                  | 2276.67±62.08                        | 1591.00±22.65                          | 685.67 <sup>b</sup> ±41.96  | 2114.00±48.57                         | 523.00±26.00                  | 83.12±0.88                                |

- หมายเหตุ
- <sup>\*</sup> ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 4.41-5.55 %
  - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสมกรม์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )
  - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ภาพ 20 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลือกหอยที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่าเม็ดแป้งของเปลือกหอยที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 45-65 °ซ มีลักษณะเช่นเดียวกับผลการศึกษาในข้อ 1.2.1. คือ มีรูปร่างหลายเหลี่ยม ผิวค่อนข้างเรียบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-3 ไมโครเมตร แต่เม็ดแป้งของเปลือกหอยที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงขึ้น (75-85 °ซ) จะมีลักษณะค่อนข้างแบน



ภาพ 20 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลือกหอยที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ

การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงอาจทำให้ลักษณะทางกายภาพ และโครงสร้างทางเคมีของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ทำให้สูญเสียความสมบูรณ์ของเนื้อเยื่อ สูญเสียความชื้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงของพันธะไฮโดรเจน และพันธะไดซัลไฟด์ เป็นต้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้จะมีผลต่อสมบัติทางหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Patel et al., 2004; Dissa et al., 2010) จากผลการทดลองในตาราง 23 พบว่าอุณหภูมิอบแห้งไม่มีผลต่อความหนาแน่นจำเพาะของเปลือกพวง ( $p>0.05$ ) แต่การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เปลือกพวงมีความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ดัชนีการละลายน้ำ และความสามารถในการพองตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตาม เปลือกพวงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 45-65 °ซ จะมีความสัมพันธ์ทางหน้าที่ไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) โดยมีความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ดัชนีการละลายน้ำ และความสามารถในการพองตัวอยู่ในช่วง 199.52-204.19 %, 103.95-109.91 %, 47.70-52.70 % และ 11.62-12.98 ตามลำดับ

ตาราง 23 สมบัติทางหน้าที่ของเปลือกพวงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ

| อุณหภูมิอบแห้ง*<br>(°ซ) | WAC<br>(%)                 | OAC<br>(%)                 | WSI<br>(%)                | SC                        | BD <sup>ns</sup><br>(กรัม/ซม. <sup>3</sup> ) |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------------------------|
| 45                      | 203.66 <sup>a</sup> ±3.40  | 105.83 <sup>ab</sup> ±2.19 | 51.95 <sup>a</sup> ±2.33  | 12.98 <sup>a</sup> ±0.38  | 0.77±0.02                                    |
| 55                      | 204.19 <sup>a</sup> ±3.44  | 109.91 <sup>a</sup> ±3.37  | 52.70 <sup>a</sup> ±4.33  | 12.77 <sup>a</sup> ±0.56  | 0.75±0.01                                    |
| 65                      | 199.52 <sup>ab</sup> ±4.10 | 103.95 <sup>ab</sup> ±2.45 | 47.70 <sup>ab</sup> ±3.23 | 11.62 <sup>ab</sup> ±0.73 | 0.76±0.02                                    |
| 75                      | 189.35 <sup>b</sup> ±3.76  | 106.77 <sup>ab</sup> ±2.51 | 40.70 <sup>bc</sup> ±2.60 | 10.48 <sup>bc</sup> ±0.12 | 0.77±0.02                                    |
| 85                      | 192.71 <sup>b</sup> ±3.40  | 99.73 <sup>b</sup> ±2.86   | 35.70 <sup>c</sup> ±4.06  | 10.02 <sup>c</sup> ±0.63  | 0.75±0.01                                    |

- หมายเหตุ
- \* ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 4.41-5.55 %
  - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสคม์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )
  - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

การอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 และ 65 °ซ จะทำให้ได้เปลือกพวงที่มีลักษณะไม่แตกต่างกัน คือ มีค่า L\* ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ดัชนีการละลายน้ำ และความสามารถในการพองตัวสูงสุด แต่มี

ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  ค่าสุด ซึ่งเป็นสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบและไส้ขนม แต่เนื่องจากที่อุณหภูมิ 65 °ซ จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่า ทำให้ประหยัดต้นทุนและเวลาในการผลิต ดังนั้นจึงเลือกเผือกผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 65 °ซ ไปใช้ในการศึกษาต่อไป

### 1.3. ผลของโซเดียมไบคาร์บอเนต วิธีการต้มสุก และอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของถั่วแดงผง

#### 1.3.1. ผลของโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อเวลาการต้มสุกถั่วแดง

เมื่อทดลองแช่ถั่วแดงในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 % เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วทำการวิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำ (water absorption; WA) ปริมาณของแข็งที่ถูกปลดปล่อย (leached solids; LS) กำลังการพองตัว (swelling power; SP) และเวลาที่ใช้ในการต้มสุก (cooking time) ผลการทดลองที่ได้แสดงในตาราง 24 พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตไม่มีผลต่อค่าการดูดซับน้ำ ( $p>0.05$ ) แต่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ถูกปลดปล่อย กำลังการพองตัว และเวลาที่ใช้ในการต้มสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตจะทำให้ปริมาณของแข็งที่ถูกปลดปล่อย และกำลังการพองตัวมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากโซเดียมไบคาร์บอเนตจะช่วยให้ไฮลัม (hilum) และไมโครไพล์ (micropyle) มีความสามารถในการให้น้ำซึมผ่าน (permeability) มากขึ้น (Urga et al., 2006) โดย Varriano and Jackson (1980) และ Deshpande and Cheryan (1986) กล่าวว่าไฮลัม และไมโครไพล์ คือโครงสร้างที่สำคัญที่สุดของเมล็ดถั่วที่ทำหน้าที่ให้น้ำซึมผ่าน นอกจากนี้ไอออนบวกในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตยังทำให้สารประกอบเพคติน (pectin substances) ละลายน้ำได้มากขึ้น และไอออนลบจะช่วยให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพได้ง่ายขึ้น โดยคาร์บอเนตไอออน ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) สามารถลดอุณหภูมิที่ทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติได้มากกว่า 10 °ซ (del Valle et al., 1992) ด้วยเหตุนี้เปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) และโคติเลดอน (cotyledon) ของถั่วแดงจึงสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น เมื่อนำไปต้มสุกในน้ำเดือดที่อัตราส่วน 1:4 (w/v) จึงพบว่าการแช่ถั่วแดงในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5 % จะใช้เวลาในการต้มสุก 24, 18 และ 16 นาที ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าเวลาที่ใช้ในการต้มสุกถั่วแดงที่แช่ในน้ำกลั่นที่ต้องต้มนานถึง 32 นาที สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Urga et al. (2006) ที่พบว่าการแช่ถั่วกลาส (glass pea) ในสารละลายผสมระหว่างไบคาร์บอเนต 1.5 % โซดาแอส 0.5 % และกรดซิตริก 0.75 % เป็นเวลา 12 ชั่วโมง สามารถลดเวลาในการต้มสุกได้ถึง 46 %

การแช่และการต้มสุกถั่วแดงก่อนนำไปผลิตเป็นถั่วแดงผง มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณสารต้านโภชนาการต่างๆ เช่น แรฟฟิโนส (raffinose) สตาเคิโอส (stachyose) และ

เวอร์บาสโคส (verbascoe) ซึ่งเป็นน้ำตาลโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ แต่แบคทีเรียบางชนิดในลำไส้ใหญ่สามารถนำไปใช้และทำให้เกิดก๊าซในทางเดินอาหารได้ (Ekvall et al., 2007) สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริปซิน (trypsin inhibitor) ที่ทำให้เอนไซม์ทริปซินในลำไส้เล็กมีประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนลดลง และไฟเตท (phytate) ที่อาจขัดขวางการดูดซึมเกลือแร่ของร่างกาย เป็นต้น (Jangchud and Bunnag, 2001; Queiroz et al., 2002)

**ตาราง 24** ผลของการแช่ถั่วแดงในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่างๆ

| ความเข้มข้น (%) | WA <sup>ns</sup> (%) | LS (%)                  | SP (ชม. <sup>3</sup> /100 กรัม) | เวลาการต้มสุก (นาที)     |
|-----------------|----------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 0               | 105.28±0.52          | 3.70 <sup>d</sup> ±0.11 | 105.69 <sup>c</sup> ±0.61       | 32.00 <sup>a</sup> ±1.15 |
| 0.5             | 105.38±0.26          | 4.20 <sup>c</sup> ±0.10 | 107.87 <sup>b</sup> ±0.50       | 24.00 <sup>b</sup> ±2.00 |
| 1.0             | 105.33±0.29          | 4.81 <sup>b</sup> ±0.11 | 109.54 <sup>a</sup> ±0.56       | 18.00 <sup>c</sup> ±1.15 |
| 1.5             | 105.32±0.34          | 5.06 <sup>a</sup> ±0.12 | 110.12 <sup>a</sup> ±0.48       | 16.00 <sup>c</sup> ±2.15 |

- หมายเหตุ - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสมมุติแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )
- <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

### 1.3.2. ผลของโซเดียมไบคาร์บอเนตและวิธีการต้มสุกต่อคุณภาพของถั่วแดงผง

เมื่อนำถั่วแดงที่แช่ในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 % มาต้มสุกด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 ต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 32, 24, 18 และ 16 นาที ตามลำดับ และวิธีที่ 2 ต้มภายใต้ความดัน 15 ปาสกาล (121 °ซ) 15 นาที เท่ากัน ทุกตัวอย่าง จากนั้นนำมาผลิตเป็นถั่วแดงผง แล้วทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี ซึ่งได้ผลดังแสดงในตาราง 25 พบว่าตัวอย่างที่ต้มสุกในน้ำเดือดมีค่า L\* สูงกว่า แต่มีค่า a\* และ b\* ต่ำกว่าตัวอย่างที่ต้มสุกภายใต้ความดันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่าถั่วแดงผงที่ผ่านการต้มสุกภายใต้ความดันจะมีสีคล้ำกว่า ซึ่งอาจเป็นเพราะการต้มสุกภายใต้ความดันจะต้องใช้อุณหภูมิและความดันสูง จึงทำให้สีของเปลือกหุ้มเมล็ดถูกสกัดออกมาในน้ำต้มได้มากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตไม่มีผลต่อค่า a\* แต่จะมีผลต่อค่า

$L^*$  และ  $b^*$  กล่าวคือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ค่า  $L^*$  และ  $b^*$  ของตัวอย่างที่ต้มสุกในน้ำเดือดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ขณะที่ค่า  $L^*$  ของตัวอย่างที่ต้มภายใต้ความดันจะมีแนวโน้มลดลง แต่ค่า  $b^*$  จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะการแช่ถั่วแดงในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตจะทำให้สีของเปลือกหุ้มเมล็ดถูกสกัดได้ง่ายขึ้น และเมล็ดถั่วมีการดูดซับน้ำในระหว่างการต้มสุกได้มากขึ้น เมื่อพิจารณาจากค่า pH ของตัวอย่าง พบว่าวิธีการต้มสุกไม่มีผลต่อค่า pH ของถั่วแดงผง แต่การแช่ถั่วแดงในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้ถั่วแดงผงมีค่า pH สูงขึ้นตามลำดับ เนื่องจากโซเดียมไบคาร์บอเนตมีสถานะเป็นด่าง โดยจากการทดลองพบว่า ถั่วแดงผงมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.46-7.05 ส่วนผลการวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นของตัวอย่างถั่วแดงผงพบว่า ตัวอย่างที่ต้มสุกภายใต้ความดันมีค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นสูงกว่าตัวอย่างที่ต้มสุกในน้ำเดือดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากการต้มสุกภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง ถั่วแดงจะสามารถดูดซับน้ำและเกิดการพองตัวได้มากขึ้น จึงทำให้มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นก่อนทำการอบแห้งสูงกว่าตัวอย่างที่ต้มสุกในน้ำเดือด นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตจะมีผลต่อค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่ต้มสุกภายใต้ความดัน โดยพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตสูงขึ้น จะทำให้ถั่วแดงผงมีค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีน แอมิโลส และแอนโทไซยานินทั้งหมด แต่วิธีการต้มสุกมีผลต่อปริมาณโปรตีน และแอมิโลสของถั่วแดงผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยตัวอย่างที่ต้มสุกภายใต้ความดันจะมีปริมาณแอมิโลสสูงกว่า แต่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าตัวอย่างที่ต้มสุกในน้ำเดือด เนื่องจากการต้มสุกภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง อาจทำให้แอมิโลสถูกสกัดได้มากขึ้น ในการวิเคราะห์จึงพบแอมิโลสในตัวอย่างที่ต้มสุกภายใต้ความดันมากกว่าตัวอย่างที่ต้มสุกในน้ำเดือด แต่ในทางกลับกันที่ความดันและอุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติมากขึ้น และสูญเสียไปพร้อมกับน้ำที่ใช้ต้ม ด้วยเหตุนี้ตัวอย่างที่ต้มสุกภายใต้ความดันจึงมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าตัวอย่างที่ต้มสุกในน้ำเดือด สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wu et al. (1994) ที่พบว่าการต้มสุกถั่วแดงในน้ำเดือด (100 °ซ) เป็นเวลา 120 นาที จะได้แป้งถั่วแดงที่มีคุณภาพโปรตีนสูงกว่าการต้มสุกภายใต้ความดันที่อุณหภูมิ 121 °ซ เป็นเวลา 40, 60 และ 90 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) นอกจากนี้ Audu and Aremu (2011) ยังพบด้วยว่าการเพิ่มเวลาการต้มสุกจะทำให้ถั่วแดงมีปริมาณโปรตีนลดลง อย่างไรก็ตาม จากการทดลองนี้พบว่าการต้มสุกทั้ง 2 วิธี จะทำให้ได้ถั่วแดงผงที่มีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ )

ตาราง 25 สมบัติทางกายภาพและเคมีของถั่วแดงผงที่เตรียมด้วยวิธีต่างๆ

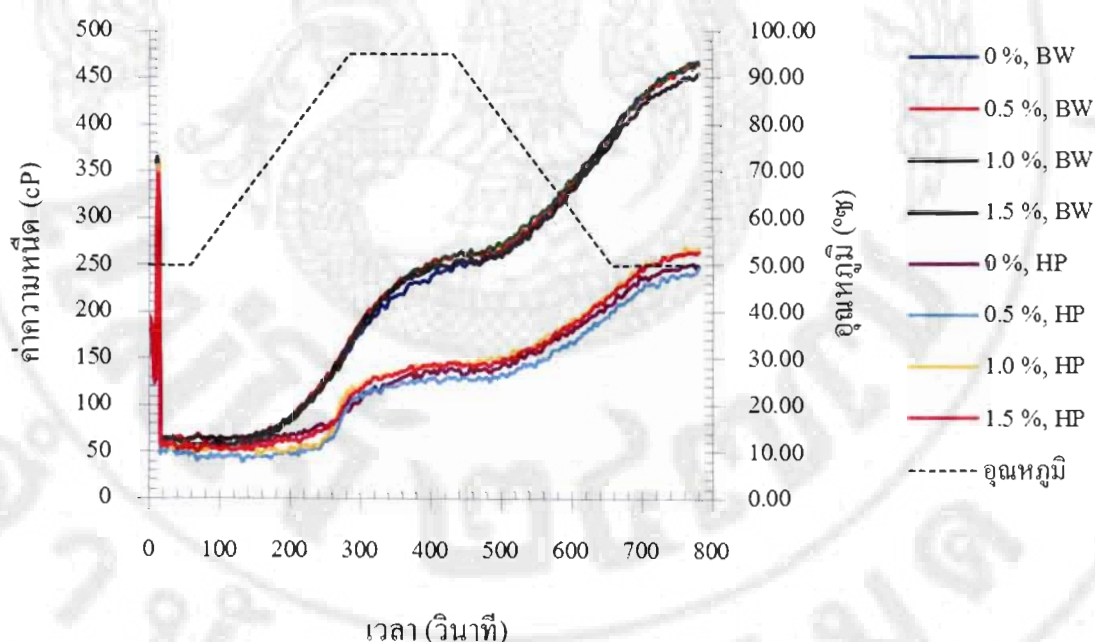
| ตัวอย่าง                     | ค่าสี                     |                          |                          | $a_w$                     | pH                      | ความชื้น (%)            | โปรตีน (%)               | แอมิโลส (%)              | แอนโทไซยานิน <sup>ns</sup> (มก./100 กรัม) |
|------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------------|
|                              | L*                        | a*                       | b*                       |                           |                         |                         |                          |                          |                                           |
| NaHCO <sub>3</sub> 0 %, BW   | 78.62 <sup>b</sup> ±0.14  | 9.67 <sup>b</sup> ±0.36  | 3.29 <sup>d</sup> ±0.22  | 0.211 <sup>d</sup> ±0.007 | 6.46 <sup>d</sup> ±0.02 | 5.83 <sup>d</sup> ±0.25 | 22.28 <sup>a</sup> ±0.14 | 29.96 <sup>b</sup> ±0.23 | 1.61±0.09                                 |
| NaHCO <sub>3</sub> 0.5 %, BW | 78.80 <sup>ab</sup> ±0.42 | 9.37 <sup>b</sup> ±0.35  | 3.31 <sup>cd</sup> ±0.15 | 0.212 <sup>d</sup> ±0.006 | 6.57 <sup>c</sup> ±0.02 | 6.00 <sup>d</sup> ±0.10 | 22.30 <sup>a</sup> ±0.19 | 29.83 <sup>b</sup> ±0.22 | 1.63±0.10                                 |
| NaHCO <sub>3</sub> 1.0 %, BW | 79.10 <sup>a</sup> ±0.43  | 9.42 <sup>b</sup> ±0.32  | 3.46 <sup>c</sup> ±0.14  | 0.213 <sup>d</sup> ±0.008 | 6.87 <sup>b</sup> ±0.04 | 6.14 <sup>d</sup> ±0.15 | 22.25 <sup>a</sup> ±0.14 | 29.89 <sup>b</sup> ±0.24 | 1.62±0.13                                 |
| NaHCO <sub>3</sub> 1.5 %, BW | 78.85 <sup>ab</sup> ±0.30 | 9.47 <sup>b</sup> ±0.37  | 3.40 <sup>cd</sup> ±0.17 | 0.215 <sup>d</sup> ±0.005 | 7.03 <sup>a</sup> ±0.08 | 6.13 <sup>d</sup> ±0.09 | 22.20 <sup>a</sup> ±0.07 | 29.95 <sup>b</sup> ±0.16 | 1.56±0.07                                 |
| NaHCO <sub>3</sub> 0 %, HP   | 70.62 <sup>c</sup> ±0.74  | 11.04 <sup>a</sup> ±0.41 | 5.87 <sup>b</sup> ±0.19  | 0.239 <sup>c</sup> ±0.010 | 6.49 <sup>d</sup> ±0.04 | 6.55 <sup>c</sup> ±0.20 | 21.83 <sup>b</sup> ±0.10 | 31.26 <sup>a</sup> ±0.09 | 1.49±0.06                                 |
| NaHCO <sub>3</sub> 0.5 %, HP | 70.21 <sup>d</sup> ±0.52  | 11.07 <sup>a</sup> ±0.24 | 5.90 <sup>b</sup> ±0.16  | 0.266 <sup>b</sup> ±0.009 | 6.62 <sup>c</sup> ±0.08 | 6.94 <sup>b</sup> ±0.08 | 21.80 <sup>b</sup> ±0.09 | 31.07 <sup>a</sup> ±0.16 | 1.45±0.02                                 |
| NaHCO <sub>3</sub> 1.0 %, HP | 69.99 <sup>d</sup> ±0.33  | 10.91 <sup>a</sup> ±0.26 | 6.26 <sup>a</sup> ±0.10  | 0.298 <sup>a</sup> ±0.018 | 6.85 <sup>b</sup> ±0.05 | 7.38 <sup>a</sup> ±0.33 | 21.69 <sup>b</sup> ±0.02 | 30.98 <sup>a</sup> ±0.26 | 1.44±0.04                                 |
| NaHCO <sub>3</sub> 1.5 %, HP | 70.01 <sup>d</sup> ±0.20  | 10.94 <sup>a</sup> ±0.29 | 6.12 <sup>a</sup> ±0.20  | 0.296 <sup>a</sup> ±0.016 | 7.05 <sup>a</sup> ±0.03 | 7.31 <sup>a</sup> ±0.33 | 21.71 <sup>b</sup> ±0.08 | 31.00 <sup>a</sup> ±0.23 | 1.44±0.07                                 |

หมายเหตุ - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสทมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

- <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )



ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของถั่วแดงผงดังแสดงในภาพ 21 และตาราง 26 พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตไม่มีผลต่อสมบัติด้านความหนืดของถั่วแดงผง แต่การต้มสุกภายใต้ความดันจะทำให้ถั่วแดงผงมีค่า peak viscosity, holding strength, breakdown, final viscosity และ setback ต่ำกว่าตัวอย่างที่ต้มสุกในน้ำเดือดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งอาจเป็นผลของปริมาณโปรตีน และเอมิโลสที่แตกต่างกัน (ตาราง 25) และการต้มสุกภายใต้ความดันอาจทำให้เม็ดแป้งเกิดการเจลาติไนเซชันได้มากกว่าการต้มสุกในน้ำเดือด แต่อย่างไรก็ตาม การต้มสุกทั้ง 2 วิธี ไม่มีผลต่อ pasting temperature ของถั่วแดงผง โดยจากการทดลองพบว่า ถั่วแดงผงที่ผ่านการต้มสุกในน้ำเดือดมีค่า peak viscosity, holding strength, breakdown, final viscosity, setback และ pasting temperature อยู่ในช่วง 245.50-261.00 cP, 224.50-237.00 cP, 21.00-24.00 cP, 454.50-467.50 cP, 227.75-240.00 cP และ 53.88-54.20 °ซ ตามลำดับ



ภาพ 21 กราฟความหนืดของถั่วแดงผงที่เตรียมด้วยวิธีต่างๆ

ตาราง 26 สมบัติด้านความหนืดของข้าวแดงผงที่เตรียมด้วยวิธีต่างๆ

| ตัวอย่าง                     | Peak viscosity<br>(cP)     | Holding strength<br>(cP)    | Breakdown<br>(cP)          | Final viscosity<br>(cP)    | Setback<br>(cP)            | Pasting temperature <sup>ns</sup><br>(°C) |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|
| NaHCO <sub>3</sub> 0 %, BW   | 245.50 <sup>a</sup> ±72.50 | 224.50 <sup>ab</sup> ±60.50 | 21.00 <sup>ab</sup> ±12.00 | 464.50 <sup>a</sup> ±22.50 | 240.00 <sup>a</sup> ±32.00 | 53.88±0.41                                |
| NaHCO <sub>3</sub> 0.5 %, BW | 258.00 <sup>a</sup> ±64.00 | 236.00 <sup>a</sup> ±67.00  | 22.00 <sup>ab</sup> ±3.00  | 464.00 <sup>a</sup> ±17.00 | 228.00 <sup>a</sup> ±40.00 | 54.12±0.42                                |
| NaHCO <sub>3</sub> 1.0 %, BW | 261.00 <sup>a</sup> ±81.00 | 237.00 <sup>a</sup> ±71.00  | 24.00 <sup>a</sup> ±10.00  | 467.50 <sup>a</sup> ±39.50 | 230.50 <sup>a</sup> ±38.50 | 54.20±0.50                                |
| NaHCO <sub>3</sub> 1.5 %, BW | 250.75 <sup>a</sup> ±27.22 | 226.75 <sup>a</sup> ±22.98  | 24.00 <sup>a</sup> ±4.24   | 454.50 <sup>a</sup> ±16.26 | 227.75 <sup>a</sup> ±16.72 | 53.96±0.51                                |
| NaHCO <sub>3</sub> 0 %, HP   | 140.00 <sup>b</sup> ±23.00 | 128.00 <sup>c</sup> ±20.00  | 12.00 <sup>ab</sup> ±3.00  | 248.00 <sup>b</sup> ±33.00 | 120.00 <sup>b</sup> ±13.00 | 54.18±0.42                                |
| NaHCO <sub>3</sub> 0.5 %, HP | 132.50 <sup>b</sup> ±15.50 | 121.50 <sup>c</sup> ±15.50  | 11.00 <sup>b</sup> ±0.00   | 247.50 <sup>b</sup> ±39.50 | 126.00 <sup>b</sup> ±24.00 | 54.20±0.42                                |
| NaHCO <sub>3</sub> 1.0 %, HP | 146.00 <sup>b</sup> ±39.00 | 135.50 <sup>bc</sup> ±38.50 | 10.50 <sup>b</sup> ±0.50   | 269.00 <sup>b</sup> ±73.00 | 133.50 <sup>b</sup> ±34.50 | 53.88±0.52                                |
| NaHCO <sub>3</sub> 1.5 %, HP | 146.00 <sup>b</sup> ±16.97 | 133.00 <sup>c</sup> ±15.56  | 13.00 <sup>ab</sup> ±1.41  | 253.50 <sup>b</sup> ±26.16 | 120.50 <sup>b</sup> ±10.61 | 53.92±0.51                                |

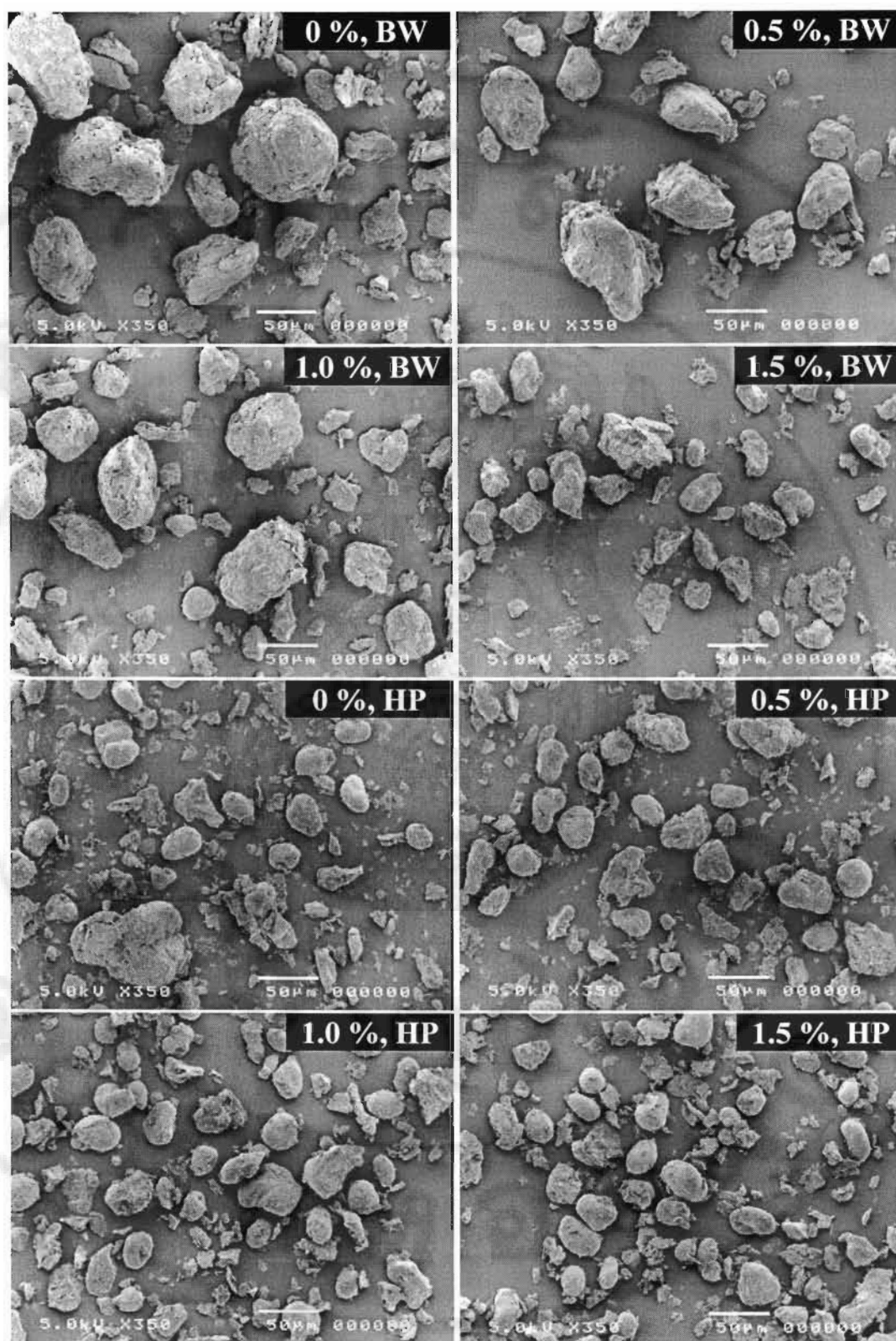
หมายเหตุ - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสมมติแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
- <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของถั่วแดงผงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่ความต่างศักย์ 5.0 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 350 เท่า พบว่าจะสังเกตเห็นเม็ดแป้งในตัวอย่างที่ต้มสุกภายใต้ความดันชัดเจนกว่าตัวอย่างที่ต้มในน้ำเดือด ซึ่งอาจเป็นเพราะการต้มสุกภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงจะทำให้องค์ประกอบต่างๆ แยกตัวออกจากกันมากขึ้น (ภาพ 22)

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของถั่วแดงผงที่ผ่านการต้มสุกในน้ำเดือดมีความแตกต่างจากตัวอย่างที่ต้มสุกภายใต้ความดันอย่างชัดเจน โดยพบว่าจะไม่สังเกตเห็นเม็ดแป้งในตัวอย่างที่ต้มสุกในน้ำเดือด เนื่องจากจะถูกองค์ประกอบอื่นๆ เช่น โปรตีน และเส้นใยล้อมรอบไว้ (Liu et al., 1993) ดังนั้นขนาดและรูปร่างของอนุภาคส่วนใหญ่จึงขึ้นอยู่กับการบด และตะแกรงที่ใช้ร่อน แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น จะทำให้องค์ประกอบต่างๆ แยกตัวออกจากกันมากขึ้น ดังแสดงในภาพ 22

เมื่อพิจารณาลักษณะของตัวอย่างที่ต้มสุกภายใต้ความดัน พบว่าเม็ดแป้งของถั่วแดงผงจะอยู่ในรูปเม็ดเดี่ยวๆ ที่ถูกล้อมรอบด้วยโปรตีน เส้นใย และแร่ธาตุต่างๆ ที่กระจายตัวอยู่เนื่องจากการบด และบางส่วนจะเกาะอยู่ที่ผิวของเม็ดแป้ง (Aguilera et al., 2009; Sotomayor et al., 1999; Ma et al., 2011) เม็ดแป้งของถั่วแดงผงมีรูปร่างไม่แน่นอน ส่วนมากเป็นทรงรี บางเม็ดมีรอยบุ๋ม ลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบ มีขนาดความกว้างและความยาวประมาณ 14-28 และ 24-40 ไมโครเมตร ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Chung et al. (2008) ที่พบว่าเม็ดแป้งของถั่วแดงมีขนาดความกว้างและความยาวประมาณ 23-32 และ 24-47 ไมโครเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบด้วยว่าเม็ดแป้งบางส่วนจะมีรอยแตก และได้รับความเสียหายเนื่องจากการบด

การให้ความร้อนขึ้น เช่น การต้ม โปรตีนและแป้งที่เกิดเจลบางส่วนจะเกิดการรวมตัวกันเป็นผลึก ซึ่งจะมีขนาดและรูปร่างขึ้นอยู่กับวิธีการบดและขนาดของตะแกรงที่ใช้ร่อน (Blaszczyk et al., 2007) แต่จากการทดลองจะเห็นได้ว่ายังพบส่วนของเม็ดแป้งอยู่ เนื่องจากการต้มถั่วทั้งเมล็ด เม็ดแป้งและโปรตีนจะถูกล้อมรอบไว้ด้วยผนังเซลล์ ซึ่งจะช่วยป้องกันการเชื่อมกันระหว่างโมเลกุลได้ (Ma et al., 2011)



ภาพ 22 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของถั่วแดงผงที่เตรียมด้วยวิธีต่างๆ

การศึกษาสมบัติทางหน้าที่ของถั่วแดงผงที่เตรียมด้วยวิธีการแตกต่างกัน พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตไม่มีผลต่อสมบัติทางหน้าที่ของถั่วแดงผง ( $p>0.05$ ) แต่การต้มสุกในน้ำเดือดจะทำให้ถั่วแดงผงที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำ ดัชนีการละลายน้ำ และความสามารถในการพองตัว สูงกว่าตัวอย่างที่ต้มสุกภายใต้ความดันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) ดังแสดงในตาราง 27 เนื่องจากการต้มสุกภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติและสูญเสียความสามารถในการจับกับน้ำ ซึ่งจากการทดลองพบว่า ถั่วแดงผงมีความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ดัชนีการละลายน้ำ และความสามารถในการพองตัวอยู่ในช่วง 276.45-293.01 %, 86.22-88.44 %, 11.72-13.17 % และ 6.57-7.09 ตามลำดับ แตกต่างจากรายงานของ Shimelis et al. (2006) ที่พบว่าแป้งถั่วแดงมีความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ดัชนีการละลายน้ำ และความสามารถในการพองตัวอยู่ในช่วง 214.00-245.00 %, 249.00-352.00 %, 33.47-37.77 % และ 9.17-11.27 ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นเพราะความแตกต่างของพันธุ์ถั่วแดง วิธีการเตรียมตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์ เป็นต้น

ตาราง 27 สมบัติทางหน้าที่ของถั่วแดงผงที่เตรียมด้วยวิธีต่างๆ

| ตัวอย่าง                     | WAC<br>(%)                | OAC <sup>ns</sup><br>(%) | WSI<br>(%)                | SC                       | BD <sup>ns</sup><br>(กรัม/ชม. <sup>3</sup> ) |
|------------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|
| NaHCO <sub>3</sub> 0 %, BW   | 293.01 <sup>a</sup> ±2.58 | 88.44±2.14               | 12.66 <sup>b</sup> ±0.16  | 7.09 <sup>a</sup> ±0.12  | 0.82±0.02                                    |
| NaHCO <sub>3</sub> 0.5 %, BW | 291.81 <sup>a</sup> ±2.00 | 87.76±1.92               | 12.86 <sup>ab</sup> ±0.06 | 7.02 <sup>a</sup> ±0.06  | 0.81±0.01                                    |
| NaHCO <sub>3</sub> 1.0 %, BW | 292.07 <sup>a</sup> ±1.94 | 87.04±1.47               | 13.17 <sup>a</sup> ±0.20  | 6.94 <sup>ab</sup> ±0.16 | 0.81±0.01                                    |
| NaHCO <sub>3</sub> 1.5 %, BW | 291.07 <sup>a</sup> ±0.42 | 86.69±0.98               | 12.90 <sup>ab</sup> ±0.18 | 6.92 <sup>ab</sup> ±0.14 | 0.83±0.01                                    |
| NaHCO <sub>3</sub> 0 %, HP   | 281.14 <sup>b</sup> ±1.93 | 86.22±1.52               | 12.04 <sup>c</sup> ±0.17  | 6.57 <sup>c</sup> ±0.11  | 0.82±0.02                                    |
| NaHCO <sub>3</sub> 0.5 %, HP | 278.11 <sup>b</sup> ±2.93 | 86.48±1.28               | 11.72 <sup>c</sup> ±0.26  | 6.61 <sup>bc</sup> ±0.18 | 0.82±0.01                                    |
| NaHCO <sub>3</sub> 1.0 %, HP | 278.07 <sup>b</sup> ±1.21 | 87.00±0.54               | 11.82 <sup>c</sup> ±0.10  | 6.57 <sup>c</sup> ±0.14  | 0.81±0.01                                    |
| NaHCO <sub>3</sub> 1.5 %, HP | 276.45 <sup>b</sup> ±1.96 | 87.17±0.92               | 12.10 <sup>c</sup> ±0.25  | 6.67 <sup>bc</sup> ±0.09 | 0.82±0.02                                    |

- หมายเหตุ - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสมมติแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )
- <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

### 1.3.3. ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของถั่วแดงผง

จากการทดลองพบว่า เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้เวลาในการอบแห้งลดลง โดยการอบแห้งถั่วแดงต้มสุกสับละเอียด (ความชื้นเท่ากับ 63-64 %) ที่อุณหภูมิ 45, 55, 65, 75 และ 85 °ซ จนมีความชื้นสุดท้าย 4-6 % ต้องใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 16, 11, 8, 6 และ 4.5 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะช่วยให้อัตราเร็วในการอบแห้งเพิ่มขึ้น (Simal et al., 2000; Desmorieux and Decaen, 2005; Garau et al., 2006; Garau et al., 2007; Ait Mohamed et al., 2008; Lemus et al., 2008; Tello-Ireland et al., 2011) อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาของ Garau et al. (2007) พบว่า อัตราเร็วในการอบแห้งของเกล็ดส้มที่อุณหภูมิ 80 และ 90 °ซ ไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้เกิดลักษณะแข็งที่ผิวหน้า (case-hardening effect) จึงทำให้น้ำในอาหารระเหยได้ช้าลง (Demirel and Turhan, 2003; Femenia et al., 2003)

จากผลการทดลองในตาราง 28 พบว่าอุณหภูมิอบแห้งไม่มีผลต่อค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณแอมิโนสของถั่วแดงผง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.132-0.197 และ 29.64-30.01 % ตามลำดับ แต่จะมีผลต่อค่าสีและปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของถั่วแดงผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อพิจารณาด้านค่าสีพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น ถั่วแดงผงจะมีค่า  $L^*$  ลดลง แต่มีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  เพิ่มขึ้น ทำให้ตัวอย่างมีสีคล้ำขึ้น โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45-75 °ซ จะได้ถั่วแดงผงที่มีค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 77.24-77.38, 9.09-9.26 และ 4.46-4.70 ตามลำดับ ขณะที่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 85 °ซ จะได้ถั่วแดงผงที่มีค่า  $L^*$  ต่ำสุด แต่มีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  สูงสุด ซึ่งอาจเป็นผลของการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดในสถานะที่มีความร้อนสูง

การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงนอกจากจะทำให้ถั่วแดงผงมีสีคล้ำขึ้นแล้วยังส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของถั่วแดงผง โดยจะทำให้แอนโทไซยานินเกิดการสลายตัวมากขึ้นเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ/หรือ ไอโซเมอไรเซชัน (Ahmed et al., 2010) ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองที่พบว่า ตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 85 °ซ จะมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดต่ำสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.12 มก./100 กรัม

ตาราง 28 สมบัติทางกายภาพและเคมีของถั่วแดงฝงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ

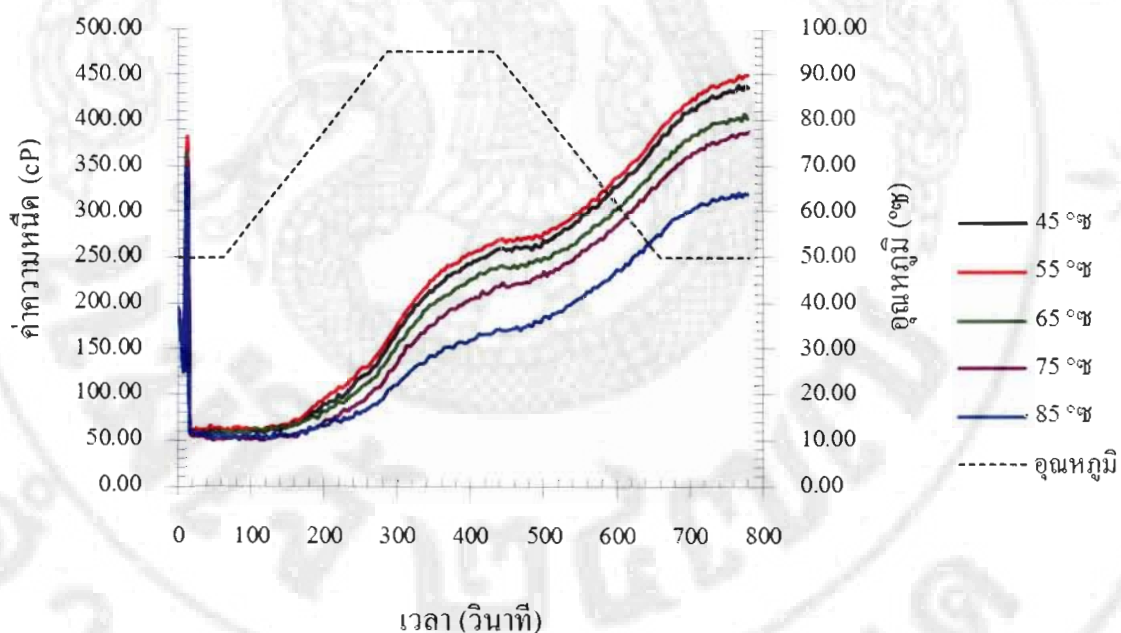
| อุณหภูมิอบแห้ง<br>(°ซ) | ค่าสี                     |                         |                         | $a_w^{ns}$  | ความชื้น <sup>ns</sup><br>(%) | แอมิโลส <sup>ns</sup><br>(%) | แอนโทไซยานิน<br>(มก./100 กรัม) |
|------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
|                        | L*                        | a*                      | b*                      |             |                               |                              |                                |
| 45                     | 77.38 <sup>a</sup> ±0.14  | 9.19 <sup>b</sup> ±0.10 | 4.54 <sup>b</sup> ±0.21 | 0.196±0.037 | 5.78±0.85                     | 30.01±0.42                   | 1.66 <sup>a</sup> ±0.02        |
| 55                     | 77.35 <sup>a</sup> ±0.13  | 9.09 <sup>b</sup> ±0.12 | 4.46 <sup>b</sup> ±0.23 | 0.197±0.040 | 5.65±0.92                     | 29.66±0.41                   | 1.64 <sup>a</sup> ±0.02        |
| 65                     | 77.24 <sup>ab</sup> ±0.14 | 9.26 <sup>b</sup> ±0.12 | 4.61 <sup>b</sup> ±0.17 | 0.171±0.031 | 5.66±0.71                     | 29.60±0.29                   | 1.49 <sup>ab</sup> ±0.04       |
| 75                     | 77.28 <sup>ab</sup> ±0.16 | 9.21 <sup>b</sup> ±0.10 | 4.70 <sup>b</sup> ±0.11 | 0.152±0.027 | 4.87±0.88                     | 29.76±0.26                   | 1.38 <sup>b</sup> ±0.08        |
| 85                     | 77.01 <sup>b</sup> ±0.20  | 9.50 <sup>a</sup> ±0.14 | 5.17 <sup>a</sup> ±0.21 | 0.132±0.031 | 4.76±0.79                     | 29.64±0.30                   | 1.12 <sup>c</sup> ±0.06        |

หมายเหตุ - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสคริปต์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
- <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )



การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ถั่วแดงผงมีสมบัติด้านความหนืดลดลง ดังแสดงในภาพ 23 และตาราง 29 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 85 °ซ มีสมบัติด้านความหนืดต่ำสุด ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งอาจเป็นเพราะการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ และเม็ดแป้งได้รับความเสียหาย จึงทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง และเกิดการพองตัวได้ต่ำ แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิอบแห้งจะไม่มีผลต่อค่า pasting temperature ของถั่วแดงผง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 53.97-54.73 °ซ

จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 45 และ 55 °ซ มีสมบัติด้านความหนืดไม่แตกต่างกัน โดยมีค่า peak viscosity, holding strength, breakdown, final viscosity และ setback สูงสุดอยู่ในช่วง 257.83-263.00, 230.17-236.83, 26.17-27.67, 444.33-449.67 และ 212.83-214.17 cP ตามลำดับ



ภาพ 23 กราฟความหนืดของถั่วแดงผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ

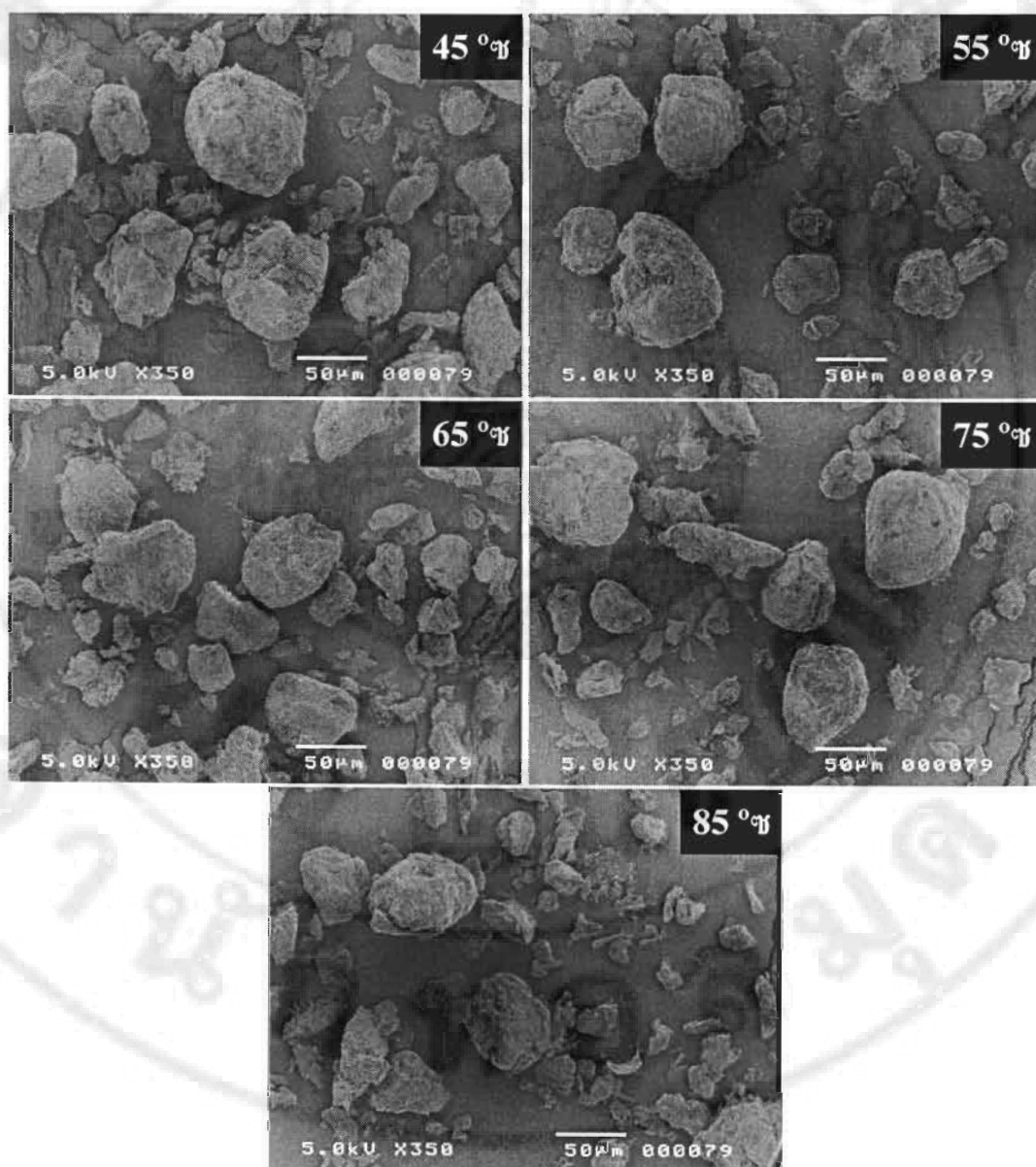


ตาราง 29 สมบัติด้านความหนืดของถั่วแดงฝงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ

| อุณหภูมิอบแห้ง <sup>*</sup><br>(°ซ) | Peak viscosity<br>(cP)     | Holding strength<br>(cP)   | Breakdown<br>(cP)        | Final viscosity<br>(cP)    | Setback<br>(cP)            | Pasting temperature <sup>ns</sup><br>(°ซ) |
|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|
| 45                                  | 257.83 <sup>a</sup> ±15.37 | 230.17 <sup>a</sup> ±18.41 | 27.67 <sup>a</sup> ±3.06 | 444.33 <sup>a</sup> ±20.55 | 214.17 <sup>a</sup> ±2.47  | 54.54±0.40                                |
| 55                                  | 263.00 <sup>a</sup> ±13.00 | 236.83 <sup>a</sup> ±3.33  | 26.17 <sup>a</sup> ±1.89 | 449.67 <sup>a</sup> ±3.51  | 212.83 <sup>a</sup> ±7.76  | 54.73±0.38                                |
| 65                                  | 234.67 <sup>b</sup> ±5.97  | 207.00 <sup>b</sup> ±3.12  | 27.67 <sup>a</sup> ±2.89 | 401.83 <sup>b</sup> ±18.33 | 194.83 <sup>a</sup> ±15.33 | 54.72±0.52                                |
| 75                                  | 213.83 <sup>c</sup> ±7.25  | 187.33 <sup>c</sup> ±6.01  | 26.50 <sup>a</sup> ±1.32 | 387.33 <sup>b</sup> ±17.51 | 200.00 <sup>a</sup> ±11.53 | 54.24±0.40                                |
| 85                                  | 168.17 <sup>d</sup> ±9.57  | 149.50 <sup>d</sup> ±5.57  | 18.67 <sup>b</sup> ±4.01 | 319.00 <sup>c</sup> ±14.76 | 169.50 <sup>b</sup> ±9.26  | 53.97±0.53                                |

- หมายเหตุ
- <sup>\*</sup> ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 4.76-5.78 %
  - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )
  - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของถั่วแดงผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิแตกต่างกัน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าถั่วแดงผงมีลักษณะอนุภาคเหมือนกับผลการศึกษาในข้อ 1.3.2. คือ มีรูปทรงและขนาดแตกต่างกัน โดยจะพบชิ้นส่วนของโปรตีนและใยอาหารกระจายตัวอยู่โดยรอบ แต่จะไม่สามารถสังเกตเห็นเม็ดแป้งได้ เนื่องจากอาจถูกองค์ประกอบอื่นๆ ห่อหุ้มไว้ โดยจากการศึกษาในครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพ 24



ภาพ 24 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟักทองผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ

จากผลการทดลองในตาราง 30 พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ถั่วแดงผงมีความสามารถในการดูดซับน้ำ ดัชนีการละลายน้ำ และความสามารถในการพองตัวลดลง ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Sefa-Dedeh and Stanley (1979) และ Njintang and Mbofung (2006) ที่ได้ทำการศึกษาในแป้งถั่วพุ่ม และแป้งเผือก ตามลำดับ

ตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 45 °C และ 55 °C มีความสามารถในการดูดซับน้ำ ดัชนีการละลายน้ำ และความสามารถในการพองตัวสูงสุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 443.64-446.67 %, 13.24-13.29 และ 6.52-6.57 % ตามลำดับ แต่เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น (65-85 °C) จะทำให้ตัวอย่างมีสมบัติทางหน้าที่ลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบโพลีฟีนอลกับโปรตีนเมื่อได้รับความร้อนสูงที่จะลดสมบัติทางหน้าที่ของถั่วแดงผง

ตาราง 30 สมบัติทางหน้าที่ของถั่วแดงผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างๆ

| อุณหภูมิอบแห้ง*<br>(°C) | WAC<br>(%)                | OAC <sup>ns</sup><br>(%) | WSI<br>(%)                | SC                       | BD <sup>ns</sup><br>(กรัม/ซม. <sup>3</sup> ) |
|-------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|
| 45                      | 446.67 <sup>a</sup> ±3.73 | 113.76±2.76              | 13.24 <sup>a</sup> ±0.15  | 6.52 <sup>a</sup> ±0.01  | 0.83±0.02                                    |
| 55                      | 443.64 <sup>a</sup> ±3.73 | 109.76±2.76              | 13.29 <sup>a</sup> ±0.15  | 6.57 <sup>a</sup> ±0.01  | 0.83±0.01                                    |
| 65                      | 429.55 <sup>b</sup> ±2.90 | 111.27±2.79              | 13.11 <sup>ab</sup> ±0.18 | 6.43 <sup>ab</sup> ±0.11 | 0.82±0.02                                    |
| 75                      | 421.00 <sup>c</sup> ±4.10 | 108.01±4.18              | 12.87 <sup>b</sup> ±0.18  | 6.41 <sup>ab</sup> ±0.11 | 0.83±0.01                                    |
| 85                      | 422.86 <sup>c</sup> ±1.37 | 113.56±1.47              | 12.12 <sup>c</sup> ±0.22  | 6.27 <sup>b</sup> ±0.10  | 0.84±0.01                                    |

- หมายเหตุ
- \* ตัวอย่างถั่วแดงผงมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 4.76-5.78 %
  - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสมมติแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )
  - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

การอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 °C และ 55 °C จะได้ถั่วแดงผงที่มีค่าสี สมบัติด้านความหนืดปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และสมบัติทางหน้าที่สูงสุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่เนื่องจากที่อุณหภูมิ 55 °C จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าทำให้ประหยัดต้นทุนและเวลาในการผลิต ดังนั้นจึงเลือกถั่วแดงผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 65 °C ไปใช้ในการศึกษาต่อไป

#### 1.4. การศึกษาคุณภาพของฟักทอง ผีอก และถั่วแดงฝงเทียบกับแป้งสาลี

เมื่อนำฟักทอง ผีอก และถั่วแดงฝงที่มีคุณภาพดีที่สุด จากข้อ 1.1.2., 1.2.2. และ 1.3.3. ตามลำดับ ซึ่งมีวิธีการผลิตดังแสดงในภาคผนวก ก มาเปรียบเทียบกับสมบัติทางกายภาพ เคมี และหน้าที่ กับตัวอย่างแป้งสาลี 2 ชนิด ได้แก่ แป้งสาลีโปรตีนสูง (ชนิดทำขนมปัง) และแป้งสาลีโปรตีนต่ำ (ชนิดทำเค้ก) จะได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 31-34

เมื่อพิจารณาจากค่าความสว่างของสี ( $L^*$ ) พบว่าแป้งสาลีชนิดทำเค้กมีค่า  $L^*$  สูงสุด (93.97) รองลงมาคือ ผีอกฝง (91.63) และแป้งสาลีชนิดทำขนมปัง (91.59) ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ส่วนฟักทองฝง (84.48) และถั่วแดงฝง (77.35) จะมีค่า  $L^*$  ต่ำกว่าแป้งสาลีทั้ง 2 ชนิด ด้วยเหตุนี้ หากมีการนำฟักทองและถั่วแดงฝงไปใช้ทดแทนแทนแป้งสาลีก็อาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีที่คล้ำขึ้น

ฟักทองฝง มีองค์ประกอบของเบต้าแคโรทีนซึ่งเป็นสารที่ให้สีเหลือง ส้ม หรือแดง (See et al., 2007) ส่วนผีอกและถั่วแดงฝง มีองค์ประกอบของแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารที่ให้สีแดง ม่วง หรือน้ำเงิน (Shipp and Abdel-Aal, 2010) ดังนั้น ฟักทอง ผีอก และถั่วแดงฝงจึงมีค่าความเข้มของสีแดง ( $a^*$ ) สูงกว่าแป้งสาลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตาม ค่า  $a^*$  ของทุกตัวอย่างจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

ฟักทองฝงมีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูง จึงทำให้มีค่าความเข้มของสีเหลือง ( $b^*$ ) สูงสุด (63.57) รองลงมาคือ ถั่วแดงฝง แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง แป้งสาลีชนิดทำเค้ก และผีอกฝง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.46, 1.58, -0.41 และ -1.42 ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้ หากมีการนำฟักทองฝงไปใช้ทดแทนแป้งสาลีก็อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเหลืองมากขึ้นตามระดับการทดแทน

แป้งสาลีทั้ง 2 ชนิด มีค่ากิจกรรมของน้ำไม่แตกต่างกัน (0.474-0.488) แต่มีค่าสูงกว่าฟักทอง ผีอก และถั่วแดงฝง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.246, 0.175 และ 0.197 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามทุกตัวอย่างมีค่ากิจกรรมของน้ำต่ำกว่า 0.60 ดังนั้นจึงจะไม่เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะทรัพยากรชีววิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2549)

ตาราง 31 สมบัติทางกายภาพของตัวอย่างผงและแป้งสาลี

| ตัวอย่าง             | ค่าสี              |                   |                    | $a_w$                  |
|----------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------------------|
|                      | $L^*$              | $a^*$             | $b^*$              |                        |
| ฟักทองผง             | $84.48^c \pm 0.23$ | $8.34^b \pm 0.21$ | $62.57^a \pm 0.25$ | $0.246^b \pm 0.021$    |
| เผือกผง              | $91.63^b \pm 0.11$ | $7.46^c \pm 0.17$ | $-1.42^c \pm 0.13$ | $0.175^c \pm 0.029$    |
| ถั่วแดงผง            | $77.35^d \pm 0.13$ | $9.09^a \pm 0.12$ | $4.46^b \pm 0.23$  | $0.197^{bc} \pm 0.040$ |
| แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง | $91.59^b \pm 0.04$ | $6.65^d \pm 0.14$ | $1.58^c \pm 0.09$  | $0.488^a \pm 0.007$    |
| แป้งสาลีชนิดทำเค้ก   | $93.97^a \pm 0.08$ | $5.65^c \pm 0.07$ | $-0.41^d \pm 0.08$ | $0.474^a \pm 0.008$    |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสคริปต์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตาราง 32 พบว่า ฟักทองผง เผือกผง ถั่วแดงผง และแป้งสาลีทั้ง 2 ชนิด มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

แป้งสาลีทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณความชื้นสูงกว่าฟักทอง เผือก และถั่วแดงผง ซึ่งสอดคล้องกับค่ากิจกรรมของน้ำดังแสดงในตาราง 31 โดยแป้งสาลีชนิดทำขนมปังจะมีปริมาณความชื้นสูงสุด (12.66 %) รองลงมาคือ แป้งสาลีชนิดทำเค้ก (11.95 %) และฟักทองผง (7.35 %) ตามลำดับ ส่วนเผือกผง (5.47 %) และถั่วแดงผง (5.59 %) จะมีปริมาณความชื้นต่ำสุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ถั่วและธัญพืชเป็นแหล่งของโปรตีนที่สำคัญ ดังแสดงในผลการทดลองที่พบว่า ถั่วแดงผงมีปริมาณโปรตีนสูงสุด (21.22 %) รองลงมาคือ แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง (15.52 %) และแป้งสาลีชนิดทำเค้ก (8.63 %) ตามลำดับ แต่โปรตีนที่พบในแป้งสาลีส่วนใหญ่ คือ โปรตีนกลูเตนินและไกลอะดิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีความสำคัญในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เนื่องจากจะทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงของผลิตภัณฑ์ โดยโปรตีนทั้ง 2 ชนิดนี้จะไม่พบหรือพบน้อยมากในพืชชนิดอื่น (ภัทรภณ, 2552) ส่วนฟักทองผง (6.52 %) และเผือกผง (5.11 %) จะมีปริมาณโปรตีนค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากฟักทองและเผือกจะมีความชื้นและคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก (Huang et al., 2000; Huang et al., 2006; Pongjanta et al., 2003; Pongjanta et al., 2006; See et al., 2007; Blessing et al., 2011)

ฟักทองผงมีปริมาณไขมันสูงสุด (0.76 %) รองลงมาคือ ถั่วแดงผง (0.57 %) แป้งสาธินิดทำขนมปัง (0.45 %) แป้งสาธินิดทำเค้ก (0.40 %) และเผือกผง (0.21 %) ตามลำดับ ซึ่งปริมาณไขมันที่แตกต่างกันนี้อาจมีผลต่อสมบัติทางหน้าที่ และอายุการเก็บรักษา เช่น ไขมันจะขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้ง และตัวอย่างที่มีปริมาณไขมันสูงจะเกิดการเหม็นหืนได้ง่ายกว่า

ถั่ว คือส่วนของสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งได้แก่แร่ธาตุต่างๆ จากการศึกษาพบว่า ฟักทองผงมีปริมาณถั่วสูงสุด (4.45 %) รองลงมาคือ เผือกผง (3.95 %) และถั่วแดงผง (3.32 %) ตามลำดับ เนื่องจากในฟักทอง เผือก และถั่วแดง อุดมไปด้วยแร่ธาตุหลายชนิด (Huang et al., 2000; Huang et al., 2006; Audu and Aremu, 2011; Blessing et al., 2011) จึงทำให้มีปริมาณถั่วสูงกว่าแป้งสาธินิดที่มีปริมาณแร่ธาตุต่ำ เนื่องจากผ่านกระบวนการขัดสีและฟอกขาวมาแล้ว

ฟักทอง เผือก และถั่วแดงผงมีปริมาณใยอาหารสูงกว่าแป้งสาธินิดมาก โดยถั่วแดงผงมีปริมาณใยอาหารสูงสุด (6.94 %) รองลงมาคือ ฟักทองผง (4.12 %) เผือกผง (2.18 %) แป้งสาธินิดทำเค้ก (0.68 %) และแป้งสาธินิดทำขนมปัง (0.62 %) ตามลำดับ ใยอาหารมีประโยชน์และมีบทบาทสำคัญต่อสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากการบริโภคอาหารที่มีเส้นใยสูงจะช่วยลดโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคผนังลำไส้โป่งพอง โรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ โรคเบาหวาน โรคอ้วน โรคหัวใจขาดเลือด และโรคไตเรื้อรัง เป็นต้น ดังนั้นหากมีการนำฟักทอง เผือก และถั่วแดงไปใช้ทดแทนแป้งสาธินิดก็จะเป็นการช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์ขนมอบได้อีกทางหนึ่ง

ฟักทองและเผือกผงมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 84.15 และ 88.45 % ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับแป้งสาธินิด โดยมีปริมาณต่ำกว่าแป้งสาธินิดทำเค้ก (89.91 %) แต่สูงกว่าแป้งสาธินิดทำขนมปัง (82.92 %) เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากแป้งสาธินิดทำขนมปังมีปริมาณโปรตีนสูง เช่นเดียวกับถั่วแดงผงที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำสุด (67.95 %) เนื่องจากถั่วแดงผงมีปริมาณโปรตีนและเส้นใยสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ

ฟักทอง เผือก และถั่วแดงผงมีปริมาณแอมิโลสเท่ากับ 27.28, 23.69 และ 29.66 % ตามลำดับ โดยมีปริมาณต่ำกว่าแป้งสาธินิดทำขนมปัง และแป้งสาธินิดทำเค้กที่มีปริมาณแอมิโลสเท่ากับ 34.94 และ 31.44 % ตามลำดับ โดยปริมาณแอมิโลสในแป้งสาธินิดวิเคราะห์ได้จากการทดลองนี้มีค่ามากกว่ารายงานของภัทรภณ (2552) และกล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2550) ที่รายงานว่าแป้งสาธินิดมีปริมาณแอมิโลสเท่ากับ 30.57 % และ 28 % ตามลำดับ โดยความแตกต่างนี้อาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น พันธุ์ข้าวสาธินิด กระบวนการผลิตแป้ง และวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ เป็นต้น

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนพบว่า ฟักทองผงมีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงถึง 13.99 มก./100 กรัม ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของสุตาลักษณ์ (2549) แต่มากกว่ารายงานของจิรภา และคณะ (2547) ที่พบว่าฟักทองผงมีปริมาณเบต้าแคโรทีนเท่ากับ 12.57 และ 2.79-3.93

มก./100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างนี้อาจเป็นผลมาจากความแตกต่างของพันธุ์ฟักทอง กระบวนการผลิต และวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ เป็นต้น

Chan et al. (1977) และ Cambie and Ferguson (2003) รายงานว่า แอนโทไซยานินหลักที่พบในเปลือก คือ pelargonidin-3-glucoside ส่วนแอนโทไซยานินหลักที่พบในถั่วแดง คือ delphinidin-3-glucoside (Tsuda et al., 1994; Takeoka et al., 1997; Choung et al., 2003) จากผลการทดลองพบว่า เปลือกผงมีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 6.17 มก./100 กรัม ซึ่งสูงกว่าถั่วแดงผงที่มีปริมาณเท่ากับ 1.64 มก./100 กรัม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในการผลิตถั่วแดงผงจะต้องนำถั่วแดงไปต้มสุกก่อน จึงทำให้ แอนโทไซยานินเกิดการสลายตัวมากกว่า นอกจากนี้ แอนโทไซยานินของถั่วแดงผงส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ด แต่จากการผลิตถั่วแดงผงพบว่า เปลือกหุ้มเมล็ดจะถูกแยกออกจากถั่วแดงผงในขั้นตอนของการร่อน ทำให้ถั่วแดงผงที่ผ่านการร่อนแล้วมีปริมาณแอนโทไซยานินค่อนข้างน้อย

จากข้อมูลในตาราง 31 จะเห็นได้ว่าฟักทอง เปลือก และถั่วแดงผงมีปริมาณเส้นใยอาหารสูงกว่าแป้งสาลี นอกจากนี้ฟักทองผงยังอุดมไปด้วยเบต้าแคโรทีน ส่วนเปลือกและถั่วแดงผงก็มีแอนโทไซยานินซึ่งมีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน อีกทั้งถั่วแดงผงก็มีปริมาณโปรตีนสูง ดังนั้นหากมีการนำฟักทอง เปลือก และถั่วแดงผงไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ก็จะเป็นการช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์ได้อีกทางหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากฟักทอง เปลือก และถั่วแดงผง มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างจากแป้งสาลีค่อนข้างมาก ซึ่งอาจจะมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ด้วยเหตุนี้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาปริมาณการทดแทนที่เหมาะสม เพื่อที่จะทำให้สามารถนำฟักทอง เปลือก และถั่วแดงผงไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ตาราง 32 สมบัติทางเคมีของตัวอย่างผงและแป้งสาลี

| ตัวอย่าง             | ความชื้น<br>(%)          | โปรตีน<br>(%)            | ไขมัน<br>(%)            | เถ้า<br>(%)             | ใยอาหาร<br>(%)          | คาร์โบไฮเดรต<br>(%)      | แอมิโลส<br>(%)           | เบต้าแคโรทีน<br>(มก./100 กรัม) | แอนโทไซยานิน<br>(มก./100 กรัม) |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| ฟักทองผง             | 7.35 <sup>c</sup> ±0.36  | 6.52 <sup>c</sup> ±0.15  | 0.76 <sup>a</sup> ±0.06 | 4.45 <sup>a</sup> ±0.18 | 4.12 <sup>b</sup> ±0.12 | 84.15 <sup>c</sup> ±0.53 | 27.28 <sup>d</sup> ±0.32 | 13.99±0.33                     | -                              |
| เผือกผง              | 5.47 <sup>d</sup> ±0.91  | 5.11 <sup>d</sup> ±0.12  | 0.21 <sup>d</sup> ±0.06 | 3.95 <sup>b</sup> ±0.06 | 2.18 <sup>c</sup> ±0.21 | 88.45 <sup>b</sup> ±0.42 | 23.69 <sup>c</sup> ±0.30 | -                              | 6.17 <sup>a</sup> ±0.07        |
| ถั่วแดงผง            | 5.59 <sup>d</sup> ±0.93  | 21.22 <sup>a</sup> ±0.10 | 0.57 <sup>b</sup> ±0.07 | 3.32 <sup>c</sup> ±0.08 | 6.94 <sup>a</sup> ±0.17 | 67.95 <sup>c</sup> ±0.38 | 29.66 <sup>c</sup> ±0.41 | -                              | 1.64 <sup>b</sup> ±0.02        |
| แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง | 12.66 <sup>a</sup> ±0.16 | 15.52 <sup>b</sup> ±0.22 | 0.45 <sup>c</sup> ±0.05 | 0.49 <sup>d</sup> ±0.01 | 0.62 <sup>d</sup> ±0.11 | 82.92 <sup>d</sup> ±0.26 | 34.94 <sup>a</sup> ±0.29 | -                              | -                              |
| แป้งสาลีชนิดทำเค้ก   | 11.95 <sup>b</sup> ±0.28 | 8.63 <sup>c</sup> ±0.32  | 0.40 <sup>c</sup> ±0.08 | 0.38 <sup>c</sup> ±0.05 | 0.68 <sup>d</sup> ±0.08 | 89.91 <sup>a</sup> ±0.34 | 31.44 <sup>b</sup> ±0.24 | -                              | -                              |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



เมื่อพิจารณาสมบัติด้านความหนืดของฟักทอง เผือก และถั่วแดงฝง เทียบกับแป้งสาลีทั้ง 2 ชนิด ดังแสดงในภาพ 25 และตาราง 33 พบว่าทุกตัวอย่างมีสมบัติด้านความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ถั่วแดงฝงมีค่า pasting temperature เท่ากับ 54.73 °ซ ซึ่งต่ำกว่าแป้งสาลีชนิดทำขนมปังและชนิดทำเค้ก ที่มีค่าเท่ากับ 67.77 และ 66.42 °ซ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการผลิตถั่วแดงฝงได้มีการนำถั่วแดงไปต้มสุก จึงทำให้เม็ดแป้งบางส่วนเกิดการเจลาติไนเซชัน ประกอบกับถั่วแดงฝงมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าแต่มีปริมาณโปรตีนมากแป้งสาลี (ตาราง 32) จึงทำให้มีอุณหภูมิในการเกิดเจลต่ำกว่า ส่วนฟักทองและเผือกมีค่า pasting temperature เท่ากับ 69.67 และ 83.72 °ซ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าแป้งสาลี ดังนั้นฟักทองและเผือกจะต้องได้รับความร้อนในระดับที่สูงกว่าแป้งสาลี เพื่อให้เม็ดแป้งเกิดการดูดซับน้ำ พองตัว และเริ่มมีความหนืดเพิ่มขึ้น (ศศิวิมล, 2552) ความแตกต่างของค่า pasting temperature จะขึ้นอยู่กับลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง และความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนที่เชื่อมต่อกันระหว่างแอมิโลสและแอมิโลเพกติน ซึ่งแป้งแต่ละชนิดจะไม่เหมือนกัน (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2550)

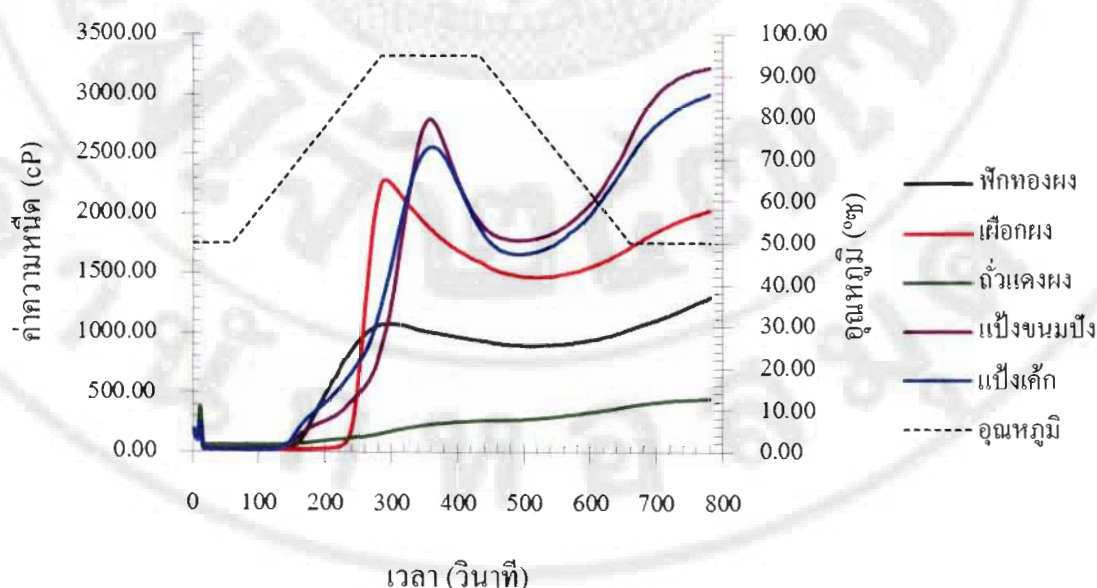
Peak viscosity คือค่าความหนืดสูงสุดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้ง ทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและเกิดความข้นหนืด โดยตัวอย่างที่มีค่า peak viscosity สูง แสดงถึงเม็ดแป้งในตัวอย่างนั้นสามารถดูดซับน้ำและเกิดการพองตัวได้ดี และเม็ดแป้งที่เกิดการพองตัวก็สามารถทนต่อความร้อนและการกวนผสมได้มาก จากผลการทดลองพบว่า แป้งสาลีชนิดทำขนมปังมีค่า peak viscosity สูงสุด รองลงมาคือแป้งสาลีชนิดทำเค้ก เผือกฝง ฟักทองฝง และถั่วแดงฝง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2803.00, 2568.00, 2284.33, 1078.67 และ 263.00 cP ตามลำดับ โดยสาเหตุที่ทำให้เผือกฝงมีค่า peak viscosity ใกล้เคียงกับแป้งสาลีนั้นก็อาจเป็นเพราะเม็ดแป้งของเผือกฝงมีความสามารถในการดูดซับน้ำและเกิดการพองตัวได้ดี จึงทำให้เกิดความหนืดสูงเมื่ออยู่ในสถานะแป้งเปียก (Jane et al., 1992; Aboubakar et al., 2008) นอกจากนี้ในเผือกยังมีกัม (gums) หรือมูซิเลจ (mucilages) ชนิดที่สามารถละลายน้ำได้ จึงทำให้เผือกฝงมีความหนืดค่อนข้างสูง (Hong and Nip, 1990; Kaaber et al., 2002)

Holding strength คือค่าความหนืดต่ำสุดในระหว่างการทำเย็น ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่า peak viscosity กล่าวคือ แป้งสาลีชนิดทำขนมปังมีค่า holding strength สูงสุด รองลงมาคือแป้งสาลีชนิดทำเค้ก เผือกฝง ฟักทองฝง และถั่วแดงฝง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1774.67, 1655.33, 1466.00, 956.00 และ 236.83 cP ตามลำดับ

Breakdown คือค่าที่ได้จากการนำ peak viscosity ลบด้วย holding strength จากผลการทดลองพบว่า ฟักทองและถั่วแดงฝง มีค่า breakdown ต่ำกว่าแป้งสาลีมาก เนื่องจากมีค่า peak

viscosity และ holding strength ต่ำ แสดงให้เห็นว่า ฟักทองและถั่วแดงมีความคงตัวต่อความร้อน และการกวนผสมน้อยกว่าแป้งสาลี ส่วนเผือกผงมีค่า breakdown ใกล้เคียงกับแป้งสาลี ซึ่งอาจเป็นเพราะเผือกผงมีเม็ดแป้งขนาดเล็กจำนวนมากที่อยู่ชิดติดกัน จึงทำให้มีความแข็งแรง สามารถทนทานต่อความร้อนและการกวนผสมได้ดี

Final viscosity คือค่าความหนืดสุดท้าย ส่วน setback คือค่าที่ได้จากการนำ final viscosity ลบด้วย holding strength ซึ่งทั้งสองค่านี้ เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการคืนตัวของสารละลายน้ำแป้งเมื่อเย็นตัวลง จากผลการทดลองพบว่า ฟักทอง เผือก และถั่วแดงผง มีค่า final viscosity และ setback ต่ำกว่าแป้งสาลีมาก แสดงให้เห็นว่า ฟักทอง เผือก และถั่วแดงผงจะเกิดการคืนตัวค่อนข้างต่ำ หรือมีการเกิดรีโทรเกรเดชันน้อยกว่าแป้งสาลี สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส (ตาราง 32) ที่พบว่าแป้งสาลีมีปริมาณแอมิโลสสูงกว่าฟักทอง เผือก และถั่วแดงผง แต่อย่างไรก็ตาม ลักษณะของฟักทอง เผือก และถั่วแดงผงที่มีค่า final viscosity และ setback ต่ำนี้ ก็เป็นสมบัติที่พึงประสงค์ต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เนื่องจากแป้งที่มีการคืนตัวน้อยกว่า จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะนุ่มกว่า แตกต่างจากแป้งที่มีการคืนตัวมาก ที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแห้งและร่วน (จารณัย, 2537; วรรณ, 2549; กกล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2550) นอกจากนี้ แป้งที่มีการคืนตัวสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเกิดการคายน้ำในระหว่างการเก็บรักษา หรือเกิดการเสื่อมเสียที่เรียกว่า staling ได้เร็วกว่า (ภัทรภณ, 2552)



ภาพ 25 กราฟความหนืดของตัวอย่างผงและแป้งสาลี

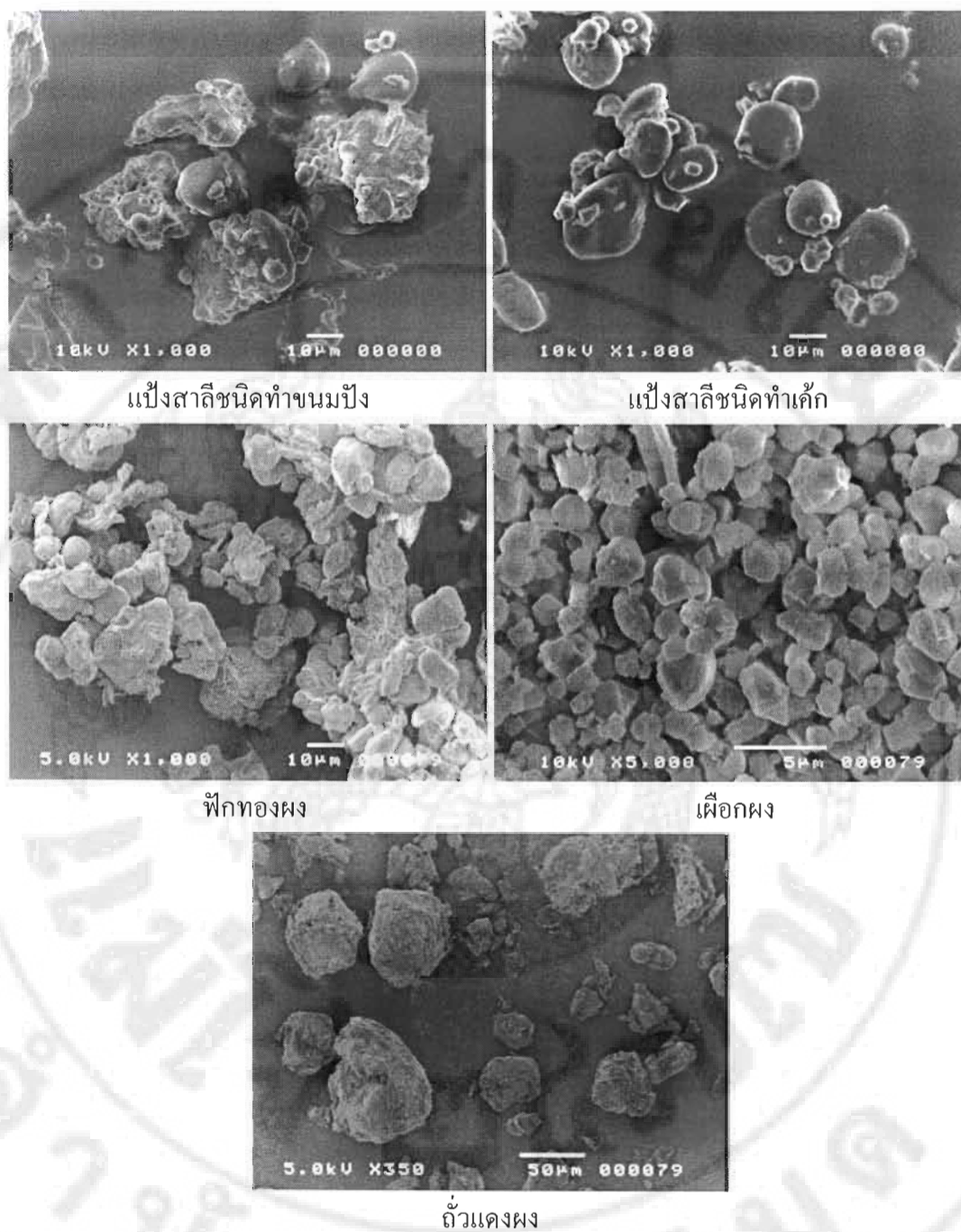
ตาราง 33 สมบัติด้านความหนืดของตัวอย่างผงและแป้งสาลี

| ตัวอย่าง             | Peak viscosity<br>(cP)      | Holding strength<br>(cP)    | Breakdown<br>(cP)          | Final viscosity<br>(cP)     | Setback<br>(cP)             | Pasting temperature<br>(°C) |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| ฟักทองผง             | 1078.67 <sup>d</sup> ±23.18 | 956.00 <sup>d</sup> ±13.53  | 122.67 <sup>d</sup> ±13.58 | 1301.00 <sup>d</sup> ±18.73 | 345.00 <sup>d</sup> ±6.24   | 69.67 <sup>b</sup> ±0.51    |
| เผือกผง              | 2284.33 <sup>c</sup> ±29.69 | 1466.00 <sup>c</sup> ±45.13 | 818.33 <sup>c</sup> ±32.59 | 2023.33 <sup>c</sup> ±72.34 | 557.33 <sup>c</sup> ±28.29  | 83.72 <sup>a</sup> ±0.98    |
| ถั่วแดงผง            | 263.00 <sup>c</sup> ±3.00   | 236.83 <sup>c</sup> ±3.33   | 26.17 <sup>c</sup> ±1.89   | 449.67 <sup>c</sup> ±3.51   | 212.83 <sup>c</sup> ±7.76   | 54.73 <sup>c</sup> ±0.38    |
| แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง | 2803.00 <sup>a</sup> ±5.57  | 1774.67 <sup>a</sup> ±3.21  | 1028.33 <sup>a</sup> ±3.21 | 3219.00 <sup>a</sup> ±14.53 | 1444.33 <sup>a</sup> ±11.50 | 67.77 <sup>c</sup> ±0.11    |
| แป้งสาลีชนิดทำเค้ก   | 2568.00 <sup>b</sup> ±32.91 | 1655.33 <sup>b</sup> ±5.77  | 912.67 <sup>b</sup> ±38.68 | 3010.33 <sup>b</sup> ±47.92 | 1355.00 <sup>b</sup> ±53.69 | 66.42 <sup>d</sup> ±0.46    |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสทมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแป้งสาลีชนิดทำขนมปัง และแป้งสาลีชนิดทำเค้ก (ภาพ 26) พบว่า เม็ดแป้ง (starch granules) ของแป้งสาลีทั้ง 2 ชนิด มีลักษณะเหมือนกัน คือ ส่วนใหญ่มีรูปร่างค่อนข้างกลม ผิวเรียบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-20 ไมโครเมตร สอดคล้องกับรายงานของ Charles et al. (2003) และ Leblanc et al. (2008) ที่พบว่า เม็ดแป้งของแป้งสาลีมีทั้งแบบทรงกลมและทรงรี ผิวเรียบ ไม่มีรอยนูนหรือรอยแตก และมีองค์ประกอบอื่นๆ ล้อมรอบอยู่ เช่น โปรตีน ไขมัน และเพนโตซาน เป็นต้น โดยจากภาพ 26 จะเห็นได้ว่า แป้งสาลีชนิดทำขนมปังจะมีส่วนประกอบของโปรตีนที่เกาะอยู่กับเม็ดแป้งมากกว่าแป้งสาลีชนิดทำเค้ก สอดคล้องกับผลการศึกษาในตาราง 32 ที่พบว่าแป้งสาลีชนิดทำขนมปังจะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่า แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าแป้งสาลีชนิดทำเค้ก

เมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างแป้งสาลีและตัวอย่างพบว่า ลักษณะเม็ดแป้งของแป้งสาลีทั้ง 2 ชนิด มีความแตกต่างจากเม็ดแป้งของฟักทอง เผือก และถั่วแดงผง โดยเม็ดแป้งของแป้งสาลีจะมีขนาดใหญ่กว่าเม็ดแป้งของฟักทองและเผือกผง แต่มีขนาดเล็กกว่าเม็ดแป้งของถั่วแดงผง



ภาพ 26 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างผงและแป้งสาลี

เมื่อพิจารณาสมบัติทางหน้าที่ของฟักทอง ผือก และถั่วแดงผง เทียบกับแป้งสาลี ดังแสดงในตาราง 34 พบว่าทุกตัวอย่างมีสมบัติทางหน้าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ความสามารถในการดูดซับน้ำจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณใยอาหาร (ตาราง 32) โดยตัวอย่างที่มีปริมาณใยอาหารสูง เช่น ฟักทอง ผือก และถั่วแดงผง จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่าแป้งสาลีซึ่งมีปริมาณใยอาหารต่ำ เนื่องจากโครงสร้างของใยอาหารประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก จึงทำให้สามารถจับกับน้ำได้ดี (Wang et al., 2002) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่า ถั่วแดงผงมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงสุด รองลงมาคือฟักทองผง ผือกผง แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง และแป้งสาลีชนิดทำเค้ก ตามลำดับ นอกจากนี้ความสามารถในการดูดซับน้ำยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณ ชนิด และธรรมชาติของโปรตีน ซึ่งจะเห็นได้ว่าถั่วแดงผงมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่าแป้งสาลีมาก ทั้งนี้เนื่องจากถั่วแดงผงมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งสาลี และถั่วแดงจะมีโปรตีนโกลบูลิน (globulin) เป็นหลัก ซึ่งโปรตีนในถั่วประมาณ 70-90 % เป็นโปรตีนที่สามารถละลายน้ำและดูดซับน้ำได้ดี (Deshpande et al., 1983) ด้วยเหตุนี้ ฟักทอง ผือก และถั่วแดงผงจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการความชุ่มชื้นสูง เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมอบ และไส้ขนม เป็นต้น

ฟักทองผงมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูงสุด ซึ่งอาจเป็นเพราะฟักทองผงมีปริมาณไขมันมากกว่าตัวอย่างอื่น (ตาราง 32) จึงมีลักษณะของความไม่มีขั้ว (hydrophobic) สูงกว่า ทำให้สามารถจับกับน้ำมันได้ดี แตกต่างจากผือกผง และแป้งสาลีชนิดทำเค้ก ที่มีปริมาณไขมันน้อย จึงมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันต่ำ

ผลการวิเคราะห์ดัชนีการละลายน้ำ พบว่าฟักทอง ผือก และถั่วแดงผง มีดัชนีการละลายน้ำสูงกว่าแป้งสาลี โดยผือกผงมีดัชนีการละลายน้ำสูงสุด รองลงมาคือฟักทองผง ถั่วแดงผง แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง และแป้งสาลีชนิดทำเค้ก ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นเพราะฟักทอง ผือก และถั่วแดงผงมีปริมาณใยอาหารสูงกว่าแป้งสาลี (ตาราง 32) ส่วนแป้งสาลีอาจมีแรงยึดเหนี่ยวภายในเม็ดแป้งที่แข็งแรง ทำให้มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ (Leach et al., 1959) และโปรตีนที่มีอยู่ในแป้งสาลีส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ (Deshpande et al., 1983)

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการพองตัว พบว่าฟักทองและผือกผงมีความสามารถในการพองตัวสูงกว่าแป้งสาลี ส่วนถั่วแดงผงมีความสามารถในการพองตัวต่ำกว่าแป้งสาลี โดยฟักทองผงมีความสามารถในการพองตัวสูงสุด ซึ่งอาจเป็นเพราะฟักทองผงมีปริมาณโปรตีนต่ำแต่มีปริมาณแอมิโลสสูง นอกจากนี้เม็ดแป้งของฟักทองผงมีขนาดค่อนข้างใหญ่ (ภาพ 26) ทำให้พันธะไฮโดรเจนที่เกิดจากการเชื่อมกันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลมีความแข็งแรงน้อย เม็ด

แป้งจึงเกิดการขยายตัวได้สูง (ศศิวิมล, 2552) ส่วนถั่วแดงผงที่มีความสามารถในการพองตัวต่ำสุดนั้น อาจเป็นเพราะถั่วแดงผงมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าแต่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าตัวอย่างอื่น (ตาราง 32) และเม็ดแป้งบางส่วนในถั่วแดงผงได้ผ่านการทำให้เกิดเจลมาแล้วในขั้นตอนของการเตรียมตัวอย่าง เช่นเดียวกับแป้งสาลีที่มีการพองตัวต่ำ ซึ่งอาจเป็นเพราะแป้งสาลีมีปริมาณโปรตีนและเอมิโลสสูง (ตาราง 32) ซึ่งอาจเกิดการรวมตัวกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนโดยอาศัยแรงดึงดูดของขั้วที่ตรงข้ามในระหว่างการเกิดเจลลาติไนเซชัน ทำให้เกิดการต้านการพองตัวของเม็ดแป้ง (Leach et al., 1959; Pomeranz, 1991) Ahmad and Williams (1998) กล่าวว่า การพองตัวของเม็ดแป้งได้รับอิทธิพลมาจากหลายปัจจัย เช่น ชนิดของแป้ง ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง มวลโมเลกุลของเอมิโลสและอะมิโลเพกติน อัตราส่วนระหว่างเอมิโลสและอะมิโลเพกติน และการมีสารอื่นที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบ เช่น โปรตีน และไขมัน เป็นต้น

ความหนาแน่นจำเพาะ เป็นสมบัติทางหน้าที่อีกประการหนึ่งที่มีความสำคัญเนื่องจากหากมีการนำแป้งที่มีความหนาแน่นจำเพาะสูงไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ก็อาจทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นหรือมีปริมาตรจำเพาะลดลง จากผลการทดลองพบว่า ถั่วแดงผงมีความหนาแน่นจำเพาะสูงสุด รองลงมาคือฟักทองผง แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง แป้งสาลีชนิดทำเค้ก และเผือกผงตามลำดับ

จากผลการทดลองในตาราง 34 จะเห็นได้ว่า ฟักทอง เผือก และถั่วแดงผงมีความสามารถในการดูดซับน้ำ และดัชนีการละลายน้ำสูง จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการความชื้นสูง เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมอบ และไส้ขนม เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม ฟักทอง เผือก และถั่วแดงผงก็มีสมบัติทางหน้าที่บางประการที่อาจไม่เหมาะต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด เช่น ฟักทองและถั่วแดงผงที่มีความหนาแน่นจำเพาะสูง อาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรต่ำและมีเนื้อสัมผัสแน่น หรือเผือกผงที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับฟักทองและเผือกผง จึงอาจไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูง เป็นต้น



ตาราง 34 สมบัติทางหน้าที่ของตัวอย่างผงและแป้งสาลี

| ตัวอย่าง             | WAC<br>(%)                | OAC<br>(%)                | WSI<br>(%)               | SC                       | BD<br>(กรัม/ซม. <sup>3</sup> ) |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| ฟักทองผง             | 298.46 <sup>b</sup> ±3.79 | 126.93 <sup>a</sup> ±2.33 | 16.45 <sup>b</sup> ±1.09 | 18.47 <sup>a</sup> ±0.81 | 0.80 <sup>ab</sup> ±0.02       |
| เผือกผง              | 199.52 <sup>c</sup> ±4.10 | 103.95 <sup>d</sup> ±2.45 | 47.70 <sup>a</sup> ±3.23 | 11.62 <sup>b</sup> ±0.73 | 0.75 <sup>c</sup> ±0.01        |
| ถั่วแดงผง            | 443.64 <sup>a</sup> ±3.73 | 109.76 <sup>c</sup> ±2.76 | 13.29 <sup>c</sup> ±0.15 | 6.57 <sup>c</sup> ±0.01  | 0.83 <sup>a</sup> ±0.01        |
| แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง | 146.19 <sup>d</sup> ±1.87 | 115.96 <sup>b</sup> ±1.76 | 11.05 <sup>d</sup> ±0.18 | 8.16 <sup>d</sup> ±0.08  | 0.79 <sup>b</sup> ±0.01        |
| แป้งสาลีชนิดทำเค้ก   | 124.57 <sup>e</sup> ±1.10 | 98.19 <sup>e</sup> ±0.22  | 8.70 <sup>e</sup> ±1.16  | 8.86 <sup>c</sup> ±0.08  | 0.78 <sup>b</sup> ±0.02        |

หมายเหตุ      อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนก็แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



## 2. การนำฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผงไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ขนมอบและไส้ขนม

### 2.1. การนำฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผงไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในขนมปัง

#### 2.1.1. การนำฟักทองผงไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในขนมปัง

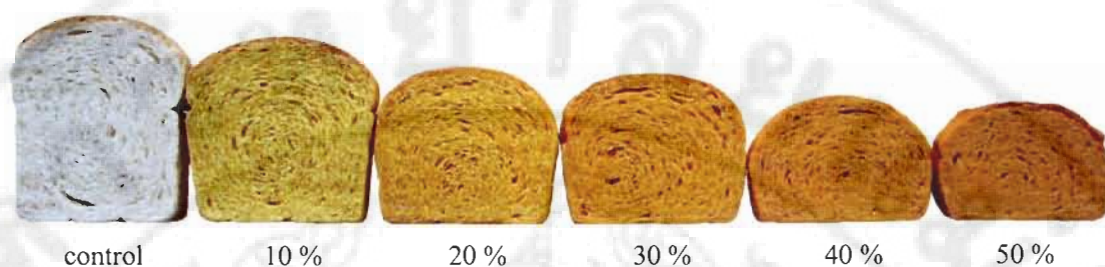
เมื่อนำฟักทองผง จากข้อ 1.2.2. ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 55 °ซ (วิธีการผลิตแสดงในภาคผนวก ก) มาใช้ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 0 (ตัวอย่างควบคุม), 10, 20, 30, 40 และ 50 % ในการทำขนมปัง พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการทดแทนจะทำให้ได้ขนมปังที่มีสีเหลืองเข้มขึ้นและมีขนาดเล็กลง ดังแสดงในภาพ 27 โดยเมื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี หน้าที่ และทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่าจะได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 35-37 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

จากผลการทดลองในตาราง 35 พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการทดแทนแป้งสาลีด้วยฟักทองผงจะทำให้ขนมปังทั้งส่วนเปลือกนอก (crust) และเนื้อใน (crumb) มีค่าความเข้มของสีแดง ( $a^*$ ) และสีเหลือง ( $b^*$ ) เพิ่มขึ้น แต่มีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากฟักทองผงมีค่า  $L^*$  ต่ำกว่า แต่มีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  สูงกว่าแป้งสาลี (ตาราง 31) นอกจากนี้ See et al. (2007) รายงานว่า การใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลีจะทำให้ได้มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสเพิ่มขึ้น ขนมปังจึงมีสีคล้ำขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนในแป้งสาลีกับน้ำตาล (Fayle and Gerrard, 2002) และปฏิกิริยาการเมลลไเซชันที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโนในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง (Kent and Evers, 1994)

การใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลีที่ระดับสูงขึ้น จะทำให้ขนมปังมีค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่มีการใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 30-50 % จะมีค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งอาจเป็นเพราะฟักทองผงมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่าแป้งสาลีมาก (ตาราง 34) ดังนั้นตัวอย่างที่มีการเติมฟักทองผงจึงเกิดการสูญเสียความชื้นในระหว่างการอบน้อยกว่าตัวอย่างที่ทำจากแป้งสาลีล้วน (Sunday and Dickson, 1992; See et al., 2007) สอดคล้องกับรายงานของ Mansour et al. (1999) ที่พบว่าการเติมโปรตีนจากฟักทองและคาโนลาลงในแป้งสาลีจะทำให้แป้งผสมมีความสามารถในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น

การเพิ่มระดับการทดแทนแป้งสาลีด้วยฟักทองผงจะทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยตัวอย่างควบคุมมีปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 2.61 กรัม/ซม.<sup>3</sup> แต่เมื่อมีการใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 10, 20, 30, 40 และ 50 % จะทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะลดลงเป็น 2.37, 2.15, 2.06, 1.67 และ 1.56 กรัม/ซม.<sup>3</sup> ตามลำดับ

ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลีจะทำให้โครงสร้างของโปรตีนกลูเตนในขนมปังเกิดได้ไม่ดี จึงมีความสามารถในการกักเก็บอากาศในระหว่างการหมักและการอบลดลง



ภาพ 27 ขนมปังที่มีการใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลี

ตาราง 35 สมบัติทางกายภาพและเคมีของขนมปังที่ใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน<br>(%) | ค่าสีเปลือกนอก (crust)   |                          |                          | ค่าสีเนื้อใน (crumb)     |                          |                          | $a_w$                      | ความชื้น<br>(%)           | ปริมาณจำเพาะ<br>(กรัม/ซม. <sup>3</sup> ) |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------------------|
|                      | L*                       | a*                       | b*                       | L*                       | a*                       | b*                       |                            |                           |                                          |
| 0                    | 63.39 <sup>a</sup> ±1.70 | 17.39 <sup>c</sup> ±1.10 | 37.01 <sup>c</sup> ±0.62 | 77.52 <sup>a</sup> ±0.71 | 5.08 <sup>f</sup> ±0.55  | 8.50 <sup>f</sup> ±0.51  | 0.874 <sup>c</sup> ±0.019  | 38.06 <sup>c</sup> ±0.25  | 2.61 <sup>a</sup> ±0.03                  |
| 10                   | 51.38 <sup>b</sup> ±1.49 | 20.22 <sup>b</sup> ±0.84 | 41.52 <sup>d</sup> ±1.41 | 72.48 <sup>b</sup> ±0.72 | 6.57 <sup>c</sup> ±0.55  | 46.62 <sup>c</sup> ±0.96 | 0.889 <sup>bc</sup> ±0.023 | 38.66 <sup>bc</sup> ±0.16 | 2.37 <sup>b</sup> ±0.02                  |
| 20                   | 50.24 <sup>c</sup> ±1.70 | 20.12 <sup>b</sup> ±1.43 | 43.60 <sup>c</sup> ±1.77 | 70.36 <sup>c</sup> ±1.03 | 9.29 <sup>d</sup> ±0.31  | 57.00 <sup>d</sup> ±0.71 | 0.878 <sup>c</sup> ±0.016  | 38.76 <sup>bc</sup> ±0.25 | 2.15 <sup>c</sup> ±0.04                  |
| 30                   | 49.42 <sup>c</sup> ±1.93 | 21.28 <sup>a</sup> ±0.83 | 48.11 <sup>b</sup> ±1.48 | 68.49 <sup>d</sup> ±0.56 | 11.02 <sup>c</sup> ±0.69 | 63.26 <sup>c</sup> ±0.81 | 0.914 <sup>b</sup> ±0.011  | 39.12 <sup>ab</sup> ±0.57 | 2.06 <sup>d</sup> ±0.02                  |
| 40                   | 49.70 <sup>c</sup> ±1.38 | 20.97 <sup>a</sup> ±1.21 | 49.12 <sup>a</sup> ±1.35 | 66.33 <sup>c</sup> ±0.56 | 12.50 <sup>b</sup> ±0.49 | 64.45 <sup>b</sup> ±0.91 | 0.916 <sup>b</sup> ±0.017  | 39.24 <sup>ab</sup> ±0.29 | 1.67 <sup>c</sup> ±0.03                  |
| 50                   | 47.85 <sup>d</sup> ±1.36 | 21.55 <sup>a</sup> ±0.44 | 49.24 <sup>a</sup> ±1.24 | 65.16 <sup>c</sup> ±0.53 | 13.52 <sup>a</sup> ±0.56 | 65.58 <sup>a</sup> ±0.39 | 0.944 <sup>a</sup> ±0.010  | 39.96 <sup>a</sup> ±0.38  | 1.56 <sup>f</sup> ±0.04                  |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสทมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลีที่ระดับต่างๆ ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ซึ่งใช้วิธีการวัดแบบ texture profile analysis (TPA) พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการทดแทน ขนมปังจะมีค่าความแข็ง (hardness) การยึดเกาะ (adhesiveness) และความยากในการเคี้ยว (chewiness) เพิ่มขึ้น แต่มีค่าการคืนตัว (springiness) และการเกาะตัวกัน (cohesiveness) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตาราง 36

สาเหตุที่ทำให้ขนมปังมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับการทดแทน ก็อาจเป็นเพราะ ฟักทองผงมีปริมาณใยอาหารและคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าแป้งสาลี (ตาราง 32) ทำให้สามารถดูดซับน้ำและเกิดการพองตัวได้มากกว่า ขนมปังจึงมีความชื้นสูง และเกิดเจลมาก ประกอบกับฟักทองผงมีความหนาแน่นจำเพาะสูงกว่าแป้งสาลี (ตาราง 34) จึงทำให้ขนมปังมีเนื้อสัมผัสแน่นและแข็งมากขึ้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้สามารถใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าทางลักษณะเนื้อสัมผัสอื่นๆ ได้ด้วย คือ เมื่อขนมปังมีความเหนียวมากขึ้น ค่าการยึดเกาะและความยากในการเคี้ยวจึงเพิ่มขึ้น และเมื่อขนมปังมีเนื้อสัมผัสที่อัดกันแน่นมากขึ้น ค่าการคืนตัวจึงลดลง ส่วนค่าการเกาะตัวกันของขนมปังที่ลดลงนั้น ก็อาจเป็นเพราะการเติมฟักทองผงจะทำให้ปริมาณกลูเตนในสูตรลดลง โครงสร้างของขนมปังจึงมีการเกาะตัวกันน้อย

ตาราง 36 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน<br>(%) | Hardness<br>(g)             | Adhesiveness<br>(g.s)    | Springiness              | Cohesiveness            | Chewiness                  |
|----------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 0                    | 306.12 <sup>f</sup> ±26.07  | 0.27 <sup>c</sup> ±0.04  | 1.00 <sup>a</sup> ±0.01  | 0.58 <sup>a</sup> ±0.01 | 174.83 <sup>c</sup> ±14.76 |
| 10                   | 499.74 <sup>e</sup> ±47.04  | 0.54 <sup>c</sup> ±0.11  | 0.97 <sup>ab</sup> ±0.04 | 0.54 <sup>b</sup> ±0.01 | 261.50 <sup>b</sup> ±16.09 |
| 20                   | 690.96 <sup>d</sup> ±29.55  | 1.19 <sup>d</sup> ±0.11  | 0.90 <sup>bc</sup> ±0.04 | 0.51 <sup>c</sup> ±0.01 | 317.89 <sup>a</sup> ±23.71 |
| 30                   | 788.45 <sup>c</sup> ±17.81  | 2.03 <sup>c</sup> ±0.26  | 0.84 <sup>c</sup> ±0.01  | 0.47 <sup>d</sup> ±0.01 | 312.88 <sup>a</sup> ±8.06  |
| 40                   | 954.40 <sup>b</sup> ±10.03  | 6.12 <sup>b</sup> ±0.04  | 0.75 <sup>d</sup> ±0.04  | 0.37 <sup>e</sup> ±0.01 | 264.07 <sup>b</sup> ±13.90 |
| 50                   | 1480.64 <sup>a</sup> ±38.93 | 10.09 <sup>a</sup> ±0.13 | 0.69 <sup>d</sup> ±0.02  | 0.32 <sup>f</sup> ±0.01 | 319.89 <sup>a</sup> ±14.62 |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

Tong et al. (2010) กล่าวว่า โดยปกติแล้วขนมปังที่มีคุณภาพดีควรมีค่าความแข็ง การยืดเกาะ และความยากในการเคี้ยวต่ำ แต่ควรมีค่าการคืนตัว และการเกาะตัวกันสูง ซึ่งลักษณะดังกล่าวตรงข้ามกับลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่มีการใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลี (ตาราง 36) ด้วยเหตุนี้จากผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส (ตาราง 37) จึงพบว่าเมื่อเพิ่มระดับการทดแทนแป้งสาลีด้วยฟักทองผงจะทำให้ขนมปังมีคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

การใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลีปริมาณเล็กน้อย คือ ที่ระดับ 10-20 % จะทำให้ขนมปังมีคะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่น และรสชาติสูงกว่าขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีล้วน ขณะที่มีความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) แต่เมื่อมีการทดแทนแป้งสาลีด้วยฟักทองผงในปริมาณที่มากเกินไป (30-50 %) จะทำให้ตัวอย่างมีคะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมลดลง เนื่องจากขนมปังอาจมีความเข้มของสี กลิ่น และรสชาติของฟักทองมากเกินไปจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (See et al., 2007) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 20 % เป็นระดับการทดแทนสูงสุดที่ผลิตภัณฑ์ยังคงได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบ ซึ่งมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง

ตาราง 37 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ใช้ฟักทองผงแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน (%) | สี                       | กลิ่น                    | รสชาติ                  | เนื้อสัมผัส             | ความชอบโดยรวม           |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0                 | 6.20 <sup>bc</sup> ±0.89 | 6.13 <sup>b</sup> ±0.97  | 6.27 <sup>a</sup> ±0.78 | 7.53 <sup>a</sup> ±0.90 | 7.07 <sup>a</sup> ±0.78 |
| 10                | 7.23 <sup>a</sup> ±1.07  | 6.67 <sup>a</sup> ±0.96  | 6.60 <sup>a</sup> ±0.97 | 7.00 <sup>b</sup> ±1.11 | 7.20 <sup>a</sup> ±0.92 |
| 20                | 6.60 <sup>b</sup> ±1.04  | 6.73 <sup>a</sup> ±0.87  | 6.67 <sup>a</sup> ±0.88 | 6.87 <sup>b</sup> ±1.04 | 7.00 <sup>a</sup> ±0.74 |
| 30                | 5.73 <sup>c</sup> ±1.08  | 5.67 <sup>bc</sup> ±0.80 | 6.33 <sup>a</sup> ±0.88 | 5.87 <sup>c</sup> ±0.90 | 6.13 <sup>b</sup> ±0.51 |
| 40                | 4.47 <sup>d</sup> ±1.04  | 5.07 <sup>d</sup> ±1.14  | 5.67 <sup>b</sup> ±1.21 | 5.27 <sup>d</sup> ±0.69 | 5.60 <sup>c</sup> ±0.50 |
| 50                | 4.57 <sup>d</sup> ±0.97  | 5.20 <sup>cd</sup> ±1.19 | 5.47 <sup>b</sup> ±1.17 | 4.33 <sup>e</sup> ±0.96 | 5.13 <sup>d</sup> ±0.73 |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

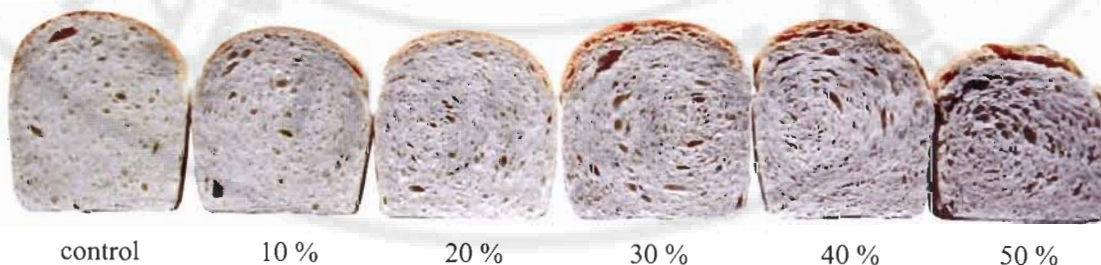
### 2.1.2. การนำเปลือกผงไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในขนมปัง

จากภาพ 28 เมื่อพิจารณาด้วยสายตาจะพบว่า ขนมปังที่ได้จากการนำเปลือกผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 65 °ซ จากข้อ 1.2.2. (วิธีการผลิตแสดงในภาคผนวก ก) มาใช้ทดแทนแป้งสาลีจะมีสีคล้ำขึ้นเล็กน้อย มีขนาดโพรงอากาศใหญ่ขึ้น และเปลือกนอกมีลักษณะแห้งและแข็งตามระดับการทดแทนที่เพิ่มขึ้น

ผลการวิเคราะห์ค่าสี (ตาราง 38) พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการทดแทน ขนมปังทั้งส่วนเปลือกนอกและเนื้อในจะมีค่า  $L^*$  และ  $b^*$  ลดลง แต่มีค่า  $a^*$  เพิ่มขึ้น เนื่องจากเปลือกผงมีค่า  $b^*$  ต่ำกว่า แต่มีค่า  $a^*$  สูงกว่าแป้งสาลี (ตาราง 31) ซึ่งเป็นสีที่เกิดจากสารแอนโทไซยานิน

การเพิ่มระดับการทดแทนจะทำให้ขนมปังมีค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น (ตาราง 38) เนื่องจากเปลือกผงมีปริมาณใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าแป้งสาลี (ตาราง 32) จึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำ ดัชนีการละลายน้ำ และความสามารถในการพองตัวสูง (ตาราง 34) ด้วยเหตุนี้ ตัวอย่างที่มีการใช้เปลือกผงทดแทนแป้งสาลีจึงสามารถกักเก็บความชื้นได้ดี ขนมปังที่ได้จึงมีความชื้น และปริมาณน้ำอิสระมากกว่า

เมื่อทดแทนแป้งสาลีด้วยเปลือกผงที่ระดับ 20 % จะทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ( $p>0.05$ ) และเมื่อเพิ่มระดับการทดแทนเป็น 30 และ 40 % จะทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ( $p\leq 0.05$ ) ทั้งนี้เนื่องจากเปลือกผงประกอบด้วยเมล็ดแป้งขนาดเล็กจำนวนมาก (ประมาณ 1-3 ไมโครเมตร) จึงมีดัชนีการละลายน้ำสูง (ตาราง 34) ทำให้สามารถรวมตัวกับส่วนผสมอื่นๆ ได้ดี โคที่ได้อาจมีความแข็งแรง กักเก็บอากาศได้มาก และเกิดการพองตัวในระหว่างการอบสูง อีกทั้งเปลือกผงยังมีปริมาณไขมันต่ำกว่าแป้งสาลี (ตาราง 32) จึงทำให้ไม่เกิดการขัดขวางการพองตัวของเมล็ดแป้ง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มระดับการทดแทนเป็น 50 % กลับพบว่าจะทำให้โครงสร้างของขนมปังเกิดการทรุดตัว และมีปริมาตรจำเพาะลดลงซึ่งอาจเป็นเพราะโครงสร้างของกลูเตนขาดความแข็งแรง



ภาพ 28 ขนมปังที่มีการใช้เปลือกผงทดแทนแป้งสาลี

ตาราง 38 สมบัติทางกายภาพและเคมีของขนมปังที่ใช้เปลือกหอยทดแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน<br>(%) | ค่าสีเปลือกนอก (crust)    |                           |                           | ค่าสีเนื้อใน (crumb)     |                         |                          | $a_w$                      | ความชื้น<br>(%)          | ปริมาณจำเพาะ<br>(กรัม/ซม. <sup>3</sup> ) |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------------------|
|                      | L*                        | a*                        | b*                        | L*                       | a*                      | b*                       |                            |                          |                                          |
| 0                    | 60.47 <sup>a</sup> ±1.67  | 16.57 <sup>bc</sup> ±1.40 | 35.99 <sup>a</sup> ±0.62  | 76.76 <sup>a</sup> ±0.65 | 6.51 <sup>d</sup> ±0.40 | 11.09 <sup>a</sup> ±0.32 | 0.910 <sup>c</sup> ±0.013  | 37.19 <sup>f</sup> ±0.13 | 2.48 <sup>ab</sup> ±0.07                 |
| 10                   | 60.51 <sup>a</sup> ±1.56  | 16.22 <sup>c</sup> ±1.32  | 34.75 <sup>b</sup> ±0.85  | 73.66 <sup>b</sup> ±0.60 | 6.54 <sup>d</sup> ±0.38 | 9.80 <sup>b</sup> ±0.33  | 0.921 <sup>bc</sup> ±0.014 | 37.94 <sup>e</sup> ±0.22 | 2.32 <sup>c</sup> ±0.06                  |
| 20                   | 59.65 <sup>ab</sup> ±1.72 | 16.56 <sup>bc</sup> ±1.29 | 34.92 <sup>b</sup> ±0.88  | 73.06 <sup>c</sup> ±0.74 | 6.97 <sup>c</sup> ±0.48 | 8.44 <sup>c</sup> ±0.43  | 0.933 <sup>b</sup> ±0.009  | 38.70 <sup>d</sup> ±0.33 | 2.35 <sup>bc</sup> ±0.10                 |
| 30                   | 58.59 <sup>bc</sup> ±1.96 | 17.58 <sup>a</sup> ±1.34  | 34.92 <sup>b</sup> ±1.18  | 72.16 <sup>d</sup> ±1.04 | 7.55 <sup>b</sup> ±0.36 | 8.04 <sup>d</sup> ±0.48  | 0.951 <sup>a</sup> ±0.018  | 39.84 <sup>c</sup> ±0.25 | 2.52 <sup>a</sup> ±0.12                  |
| 40                   | 58.57 <sup>bc</sup> ±1.99 | 17.24 <sup>ab</sup> ±1.46 | 34.32 <sup>bc</sup> ±0.74 | 71.77 <sup>d</sup> ±0.31 | 7.41 <sup>b</sup> ±0.58 | 8.19 <sup>cd</sup> ±0.59 | 0.958 <sup>a</sup> ±0.011  | 40.52 <sup>b</sup> ±0.18 | 2.50 <sup>a</sup> ±0.08                  |
| 50                   | 58.25 <sup>c</sup> ±1.50  | 17.34 <sup>ab</sup> ±0.93 | 33.78 <sup>c</sup> ±1.74  | 68.01 <sup>c</sup> ±0.85 | 8.87 <sup>a</sup> ±0.63 | 8.41 <sup>c</sup> ±0.63  | 0.955 <sup>a</sup> ±0.014  | 41.39 <sup>a</sup> ±0.13 | 2.15 <sup>d</sup> ±0.08                  |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่มีการใช้เปลือกผงทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 0-50 % ดังแสดงในตาราง 39 พบว่า การทดแทนที่ระดับ 10 % จะทำให้ขนมปังมีค่าความแข็ง และความยากในการเคี้ยวเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระดับการทดแทนเป็น 20-50 % จะทำให้ขนมปังมีค่าความแข็ง และความยากในการเคี้ยวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เช่นเดียวกับค่าการยึดเกาะ การคืนตัว และการเกาะตัวกัน ที่พบว่าจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระดับการทดแทน

ตาราง 39 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ใช้เปลือกผงทดแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน (%) | Hardness (g)                | Adhesiveness (g.s)       | Springiness              | Cohesiveness             | Chewiness                  |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 0                 | 717.02 <sup>b</sup> ±15.74  | 2.50 <sup>a</sup> ±0.74  | 0.89 <sup>c</sup> ±0.01  | 0.57 <sup>ab</sup> ±0.02 | 350.38 <sup>b</sup> ±15.20 |
| 10                | 1020.69 <sup>a</sup> ±63.54 | 1.93 <sup>ab</sup> ±0.22 | 0.91 <sup>bc</sup> ±0.02 | 0.57 <sup>a</sup> ±0.01  | 527.95 <sup>a</sup> ±51.51 |
| 20                | 618.66 <sup>b</sup> ±77.44  | 0.62 <sup>c</sup> ±0.15  | 0.92 <sup>bc</sup> ±0.01 | 0.56 <sup>ab</sup> ±0.01 | 324.74 <sup>b</sup> ±49.17 |
| 30                | 394.64 <sup>c</sup> ±10.87  | 0.66 <sup>c</sup> ±0.06  | 0.94 <sup>ab</sup> ±0.01 | 0.52 <sup>bc</sup> ±0.01 | 193.94 <sup>c</sup> ±9.38  |
| 40                | 389.00 <sup>c</sup> ±18.08  | 0.73 <sup>bc</sup> ±0.19 | 0.96 <sup>a</sup> ±0.01  | 0.51 <sup>c</sup> ±0.03  | 191.27 <sup>c</sup> ±3.51  |
| 50                | 423.52 <sup>c</sup> ±23.88  | 0.53 <sup>c</sup> ±0.21  | 0.91 <sup>bc</sup> ±0.01 | 0.44 <sup>d</sup> ±0.02  | 166.43 <sup>c</sup> ±22.52 |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสทมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่มีการใช้เปลือกผงทดแทนแป้งสาลีในตาราง 40 พบว่าตัวอย่างที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยเปลือกผงที่ระดับ 10 และ 20 % มีคะแนนการยอมรับในทุกๆ ด้าน ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่เมื่อระดับการทดแทนเพิ่มขึ้นเป็น 30-50 % จะทำให้ตัวอย่างมีคะแนนการยอมรับด้านรสชาติและเนื้อสัมผัสลดลง โดยเฉพาะในตัวอย่างที่มีการทดแทนที่ระดับ 50 % จะมีคะแนนการยอมรับในทุกๆ ด้านต่ำสุด แต่อย่างไรก็ตาม ระดับการทดแทนที่แตกต่างกันจะไม่มีผลต่อการยอมรับด้านสีของขนมปัง ด้วยเหตุนี้ การใช้เปลือกผงทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 20 % จึงเป็นระดับการทดแทนสูงสุดที่ผลิตภัณฑ์ยังคงได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบ ซึ่งมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง



ตาราง 40 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ใช้เผือกผงแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน<br>(%) | สี <sup>ns</sup> | กลิ่น                   | รสชาติ                  | เนื้อสัมผัส             | ความชอบโดยรวม           |
|----------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0                    | 6.20±1.24        | 6.93 <sup>a</sup> ±1.28 | 7.13 <sup>a</sup> ±0.73 | 7.13 <sup>a</sup> ±1.01 | 7.27 <sup>a</sup> ±1.01 |
| 10                   | 6.40±0.97        | 6.97 <sup>a</sup> ±0.93 | 6.83 <sup>a</sup> ±0.65 | 7.03 <sup>a</sup> ±0.89 | 6.83 <sup>a</sup> ±0.83 |
| 20                   | 6.40±1.10        | 7.00 <sup>a</sup> ±1.31 | 6.67 <sup>a</sup> ±0.71 | 6.70 <sup>a</sup> ±1.02 | 6.90 <sup>a</sup> ±0.80 |
| 30                   | 6.40±0.81        | 6.67 <sup>a</sup> ±1.30 | 5.53 <sup>b</sup> ±1.04 | 5.33 <sup>b</sup> ±1.12 | 5.40 <sup>b</sup> ±1.22 |
| 40                   | 6.47±0.97        | 6.67 <sup>a</sup> ±0.96 | 5.87 <sup>b</sup> ±0.97 | 5.70 <sup>b</sup> ±1.09 | 5.87 <sup>b</sup> ±0.63 |
| 50                   | 6.07±1.36        | 5.57 <sup>b</sup> ±1.33 | 3.53 <sup>c</sup> ±1.22 | 3.40 <sup>c</sup> ±1.07 | 3.80 <sup>c</sup> ±0.92 |

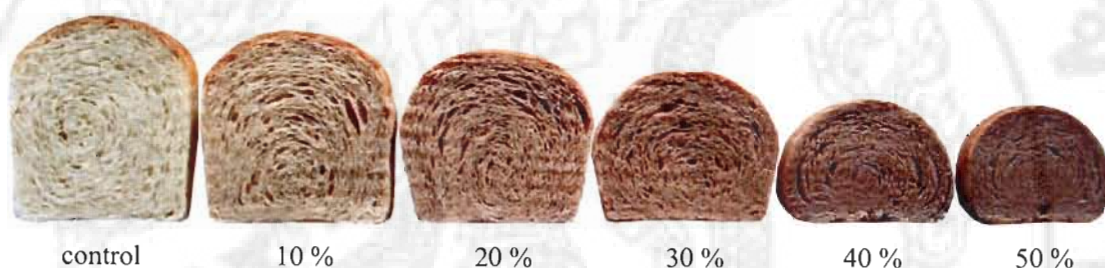
- หมายเหตุ - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )
- <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

### 2.1.3. การนำถั่วแดงผงไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในขนมปัง

เมื่อนำถั่วแดงผงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 55 °C จากข้อ 1.3.3. (วิธีการผลิตแสดงในภาคผนวก ก) มาใช้ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 0-50 % ในการทำขนมปัง พบว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ดังแสดงในภาพ 29 โดยขนมปังที่มีการใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลีจะมีสีน้ำตาลอ่อนขณะที่เปลือกนอกจะมีสีเหลืองทองน้อยกว่าขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีล้วน ทั้งนี้เนื่องจากถั่วแดงผงมีสีคล้ำกว่าแป้งสาลีมาก

จากผลการทดลองในตาราง 41 พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการทดแทนแป้งสาลีด้วยถั่วแดงผงจะทำให้ขนมปังมีค่า L\* ของทั้งเปลือกนอกและเนื้อในลดลง แต่มีค่ากิจกรรมของน้ำและปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากถั่วแดงผงมีปริมาณโปรตีน ใยอาหาร และความสามารถในการดูดซับน้ำ (ตาราง 32 และ 34) สูงกว่าแป้งสาลี จึงทำให้ตัวอย่างเกิดการสูญเสียความชื้นในระหว่างการอบลดลง นอกจากนี้ ความชื้นที่เพิ่มขึ้นยังมีผลต่อค่า b\* ของเปลือกนอกขนมปัง กล่าวคือ เมื่อตัวอย่างมีความชื้นสูง ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ก็จะเกิดได้น้อยลง อีกทั้งการใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลีก็อาจทำให้กระบวนการหมักโดเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและการาเมลไลเซชันในขั้นตอนของการอบ

ขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยถั่วแดงผงในระดับที่สูงขึ้น จะมีปริมาณจำเพาะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากการเพิ่มปริมาณถั่วแดงผง อาจทำให้โปรตีนกลูเตนซึ่งจะเกิดขึ้นในระหว่างการเตรียมโดมีปริมาณลดลง จึงทำให้โดมีความสามารถในการกักเก็บอากาศได้ไม่ดี และมีการขยายตัวในระหว่างการอบต่ำ นอกจากนี้ การที่ถั่วแดงผงมีความหนาแน่นจำเพาะสูง แต่มีความสามารถในการพองตัวต่ำกว่าแป้งสาลี (ตาราง 34) ทำให้เมื่อเพิ่มระดับการทดแทน ส่วนผสมของโดที่ได้จึงมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น แต่มีความสามารถในการพองตัวลดลง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Okoye et al. (2008) ที่พบว่าการเติมแป้งถั่วแดงลงในแป้งสาลีที่ปริมาณมากขึ้น จะทำให้แป้งผสมมีปริมาณโปรตีน ใยอาหาร ความสามารถในการดูดซับน้ำ และความหนาแน่นจำเพาะเพิ่มขึ้น



ภาพ 29 ขนมปังที่มีการใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลี

ตาราง 41 สมบัติทางกายภาพและเคมีของขนมปังที่ใช้ส่วนผสมผงทดแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน<br>(%) | ค่าสีเปลือกนอก (crust)    |                          |                          | ค่าสีเนื้อใน (crumb)     |                          |                           | $a_w$                     | ความชื้น<br>(%)          | ปริมาตรจำเพาะ<br>(กรัม/ซม. <sup>3</sup> ) |
|----------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------------------|
|                      | L*                        | a*                       | b*                       | L*                       | a*                       | b*                        |                           |                          |                                           |
| 0                    | 55.62 <sup>a</sup> ±0.96  | 19.02 <sup>c</sup> ±0.98 | 38.00 <sup>a</sup> ±0.63 | 76.56 <sup>a</sup> ±0.83 | 5.62 <sup>c</sup> ±0.31  | 10.46 <sup>d</sup> ±0.48  | 0.831 <sup>c</sup> ±0.003 | 36.30 <sup>f</sup> ±0.27 | 2.52 <sup>a</sup> ±0.03                   |
| 10                   | 52.93 <sup>b</sup> ±0.95  | 20.58 <sup>a</sup> ±0.96 | 36.40 <sup>b</sup> ±0.66 | 70.76 <sup>b</sup> ±0.82 | 8.65 <sup>d</sup> ±0.45  | 10.56 <sup>d</sup> ±0.37  | 0.838 <sup>d</sup> ±0.002 | 37.70 <sup>e</sup> ±0.21 | 2.31 <sup>b</sup> ±0.07                   |
| 20                   | 52.53 <sup>bc</sup> ±0.98 | 19.66 <sup>b</sup> ±0.74 | 34.33 <sup>c</sup> ±0.78 | 65.32 <sup>c</sup> ±0.80 | 11.00 <sup>e</sup> ±0.22 | 11.07 <sup>e</sup> ±0.34  | 0.842 <sup>d</sup> ±0.003 | 39.41 <sup>d</sup> ±0.36 | 2.14 <sup>c</sup> ±0.04                   |
| 30                   | 52.76 <sup>bc</sup> ±1.05 | 18.32 <sup>d</sup> ±0.72 | 31.43 <sup>d</sup> ±0.73 | 61.73 <sup>d</sup> ±0.45 | 12.21 <sup>b</sup> ±0.41 | 11.45 <sup>ab</sup> ±0.22 | 0.854 <sup>c</sup> ±0.004 | 42.78 <sup>c</sup> ±0.09 | 1.80 <sup>d</sup> ±0.05                   |
| 40                   | 52.96 <sup>b</sup> ±0.38  | 17.02 <sup>f</sup> ±0.69 | 26.60 <sup>e</sup> ±1.04 | 59.52 <sup>e</sup> ±0.37 | 12.60 <sup>a</sup> ±0.32 | 11.55 <sup>a</sup> ±0.46  | 0.861 <sup>b</sup> ±0.005 | 44.56 <sup>b</sup> ±0.28 | 1.35 <sup>e</sup> ±0.05                   |
| 50                   | 52.17 <sup>c</sup> ±1.07  | 17.55 <sup>c</sup> ±0.69 | 26.60 <sup>e</sup> ±0.59 | 57.33 <sup>f</sup> ±0.69 | 12.52 <sup>a</sup> ±0.43 | 11.22 <sup>bc</sup> ±0.38 | 0.876 <sup>a</sup> ±0.008 | 47.61 <sup>a</sup> ±0.46 | 1.30 <sup>e</sup> ±0.03                   |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสคริปต์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อเพิ่มระดับการทดแทนแป้งสาลีด้วยถั่วแดงผง จะทำให้ขนมปังมีค่าความแข็ง การยึดเกาะ และความยากในการเคี้ยวเพิ่มขึ้น แต่มีค่าการคืนตัว และการเกาะตัวกันลดลง ดังแสดงในตาราง 42 สุชาติ (2546) กล่าวว่า ปริมาณกลูเตนที่เหมาะสมจะส่งผลทำให้ขนมปังมีลักษณะโพรงอากาศที่โปร่งบาง มีความยืดหยุ่นสูง และมีเนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่มเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่การเพิ่มระดับการทดแทนแป้งสาลีด้วยถั่วแดงผง จะทำให้โครงสร้างของโปรตีนกลูเตนเกิดได้ไม่ดี ด้วยเหตุนี้ โคจิงสูญเสียความเหนียวและความยืดหยุ่น ทำให้การพองตัวและการกักเก็บอากาศในขั้นตอนของการหมักและการอบลดลง ขนมปังที่ได้จึงมีเนื้อแน่นและแข็งมากขึ้น

ตาราง 42 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน (%) | Hardness (g)                | Adhesiveness (g.s)       | Springiness             | Cohesiveness            | Chewiness                  |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 0                 | 386.72 <sup>c</sup> ±12.78  | 0.16 <sup>d</sup> ±0.07  | 0.95 <sup>a</sup> ±0.01 | 0.54 <sup>a</sup> ±0.01 | 197.19 <sup>c</sup> ±12.27 |
| 10                | 407.73 <sup>c</sup> ±11.08  | 0.61 <sup>cd</sup> ±0.18 | 0.92 <sup>b</sup> ±0.01 | 0.53 <sup>a</sup> ±0.01 | 205.78 <sup>c</sup> ±3.14  |
| 20                | 486.53 <sup>d</sup> ±14.44  | 1.15 <sup>c</sup> ±0.14  | 0.87 <sup>c</sup> ±0.01 | 0.48 <sup>b</sup> ±0.01 | 204.97 <sup>c</sup> ±6.01  |
| 30                | 774.91 <sup>c</sup> ±24.32  | 1.46 <sup>c</sup> ±0.26  | 0.82 <sup>d</sup> ±0.01 | 0.45 <sup>c</sup> ±0.01 | 280.03 <sup>b</sup> ±6.01  |
| 40                | 1134.62 <sup>b</sup> ±36.19 | 3.92 <sup>b</sup> ±0.28  | 0.65 <sup>c</sup> ±0.01 | 0.37 <sup>d</sup> ±0.01 | 276.93 <sup>b</sup> ±4.18  |
| 50                | 1536.85 <sup>a</sup> ±22.59 | 9.39 <sup>a</sup> ±0.74  | 0.62 <sup>f</sup> ±0.02 | 0.32 <sup>e</sup> ±0.01 | 297.53 <sup>a</sup> ±6.46  |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเพิ่มปริมาณถั่วแดงผงในสูตร (ตาราง 42) ส่งผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ (ตาราง 43) โดยพบว่าขนมปังที่มีการใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 20 % ขึ้นไป จะมีคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตาม การทดแทนที่ระดับ 20 % ผลลัพธ์จะมีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ( $p > 0.05$ ) อีกทั้งยังมีคะแนนความชอบด้านสีมากกว่า จึงสามารถสรุปได้ว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยถั่วแดงผงที่ระดับ 20 % เป็นระดับการทดแทนสูงสุดที่ผลลัพธ์ยังคงได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบ ซึ่งมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง

ตาราง 43 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ใช้ถั่วแดงผงแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน<br>(%) | สี                       | กลิ่น                    | รสชาติ                  | เนื้อสัมผัส             | ความชอบโดยรวม           |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0                    | 6.20 <sup>c</sup> ±1.06  | 6.60 <sup>ab</sup> ±1.30 | 6.93 <sup>a</sup> ±0.94 | 7.40 <sup>a</sup> ±0.97 | 7.20 <sup>a</sup> ±0.96 |
| 10                   | 7.03 <sup>a</sup> ±1.19  | 6.70 <sup>ab</sup> ±0.88 | 7.17 <sup>a</sup> ±0.99 | 7.27 <sup>a</sup> ±1.05 | 7.17 <sup>a</sup> ±0.87 |
| 20                   | 6.87 <sup>ab</sup> ±1.01 | 6.87 <sup>a</sup> ±1.22  | 6.67 <sup>a</sup> ±0.99 | 6.60 <sup>b</sup> ±1.07 | 6.77 <sup>a</sup> ±0.94 |
| 30                   | 6.40 <sup>bc</sup> ±1.04 | 6.13 <sup>b</sup> ±1.20  | 6.10 <sup>b</sup> ±1.09 | 5.33 <sup>c</sup> ±1.03 | 5.90 <sup>b</sup> ±0.88 |
| 40                   | 5.30 <sup>d</sup> ±0.95  | 5.10 <sup>c</sup> ±1.12  | 5.07 <sup>c</sup> ±0.98 | 3.93 <sup>d</sup> ±0.87 | 4.50 <sup>c</sup> ±1.11 |
| 50                   | 4.23 <sup>c</sup> ±1.07  | 4.20 <sup>d</sup> ±1.16  | 3.57 <sup>d</sup> ±1.01 | 2.87 <sup>c</sup> ±0.73 | 3.50 <sup>d</sup> ±1.07 |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

## 2.2. การนำฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผงไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในเค้กเนย

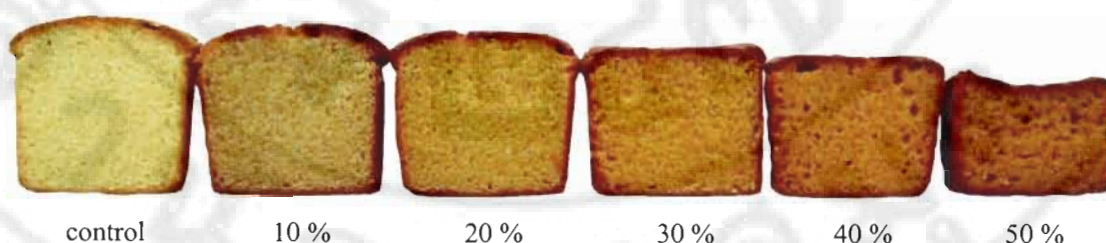
### 2.2.1. การนำฟักทองผงไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในเค้กเนย

การใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 0 (ตัวอย่างควบคุม), 10, 20, 30, 40 และ 50 % ในการทำเค้กเนย พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการทดแทนจะทำให้เค้กเนยมีสีเหลืองเข้มขึ้น มีกลิ่นหอมหวานมากขึ้น เนื้อเค้กมีลักษณะค่อนข้างแฉะและเหนียว แต่จะมีความละเอียดน้อยลง ดังแสดงในภาพ 30

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของเค้กเนยที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยฟักทองผง ดังแสดงในตาราง 44 พบว่าการเพิ่มระดับการทดแทนจะทำให้เค้กเนยมีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  เพิ่มขึ้น แต่มีค่า  $L^*$  ลดลง เนื่องจากฟักทองผงมีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  สูงกว่าแป้งสาลีมาก แต่มีค่า  $L^*$  ต่ำกว่า (ตาราง 31)

ค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นของเค้กเนยจะเพิ่มขึ้นตามระดับการทดแทน เนื่องจากฟักทองผงมีปริมาณใยอาหารสูงกว่าแป้งสาลีมาก (ตาราง 32) ทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูง ผลลัพธ์ที่ได้จึงมีค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น

การเพิ่มปริมาณฟักทองผงในสูตรจะทำให้เค้กเนยมีปริมาตรจำเพาะลดลง ซึ่งอาจเป็นเพราะฟักทองผงมีความหนาแน่นจำเพาะสูงกว่าแป้งสาลี (ตาราง 34) ทำให้ส่วนผสมมีการขยายตัวในระหว่างการอบลดลง หรืออีกกรณีหนึ่งก็คือ ใยอาหารที่มีอยู่ในฟักทองผงอาจจับกับโปรตีนที่มีอยู่ในแป้งสาลี ทำให้โครงสร้างของเนื้อเค้กมีความสามารถในการกักเก็บก๊าซ (gas retention) ลดลง (Chen et al., 1988)



ภาพ 30 เค้กเนยที่มีการใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลี

ตาราง 44 สมบัติทางกายภาพและเคมีของเค้กเนยที่ใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน<br>(%) | ค่าสี                    |                          |                          | $a_w$                      | ความชื้น<br>(%)           | ปริมาณจำเพาะ<br>(กรัม/ซม. <sup>3</sup> ) |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------------------|
|                      | L*                       | a*                       | b*                       |                            |                           |                                          |
| 0                    | 77.06 <sup>a</sup> ±0.77 | 6.91 <sup>f</sup> ±0.45  | 26.25 <sup>f</sup> ±0.58 | 0.874 <sup>c</sup> ±0.015  | 25.75 <sup>c</sup> ±0.40  | 2.28 <sup>a</sup> ±0.04                  |
| 10                   | 72.62 <sup>b</sup> ±0.53 | 8.48 <sup>c</sup> ±0.60  | 46.26 <sup>c</sup> ±1.10 | 0.885 <sup>bc</sup> ±0.009 | 25.99 <sup>bc</sup> ±0.25 | 2.22 <sup>a</sup> ±0.05                  |
| 20                   | 70.96 <sup>c</sup> ±0.40 | 9.53 <sup>d</sup> ±0.51  | 55.95 <sup>d</sup> ±0.79 | 0.896 <sup>ab</sup> ±0.007 | 26.66 <sup>ab</sup> ±0.29 | 1.84 <sup>b</sup> ±0.07                  |
| 30                   | 68.07 <sup>d</sup> ±0.56 | 10.90 <sup>c</sup> ±0.64 | 63.60 <sup>c</sup> ±1.11 | 0.898 <sup>a</sup> ±0.010  | 26.49 <sup>ab</sup> ±0.23 | 1.72 <sup>c</sup> ±0.04                  |
| 40                   | 64.48 <sup>c</sup> ±0.46 | 12.95 <sup>b</sup> ±0.35 | 66.31 <sup>b</sup> ±0.92 | 0.892 <sup>ab</sup> ±0.012 | 26.69 <sup>ab</sup> ±0.30 | 1.49 <sup>d</sup> ±0.04                  |
| 50                   | 61.31 <sup>f</sup> ±0.61 | 14.60 <sup>a</sup> ±0.49 | 67.30 <sup>a</sup> ±0.50 | 0.900 <sup>a</sup> ±0.006  | 27.02 <sup>a</sup> ±0.22  | 1.44 <sup>d</sup> ±0.03                  |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กเนยที่มีการใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลี (ตาราง 45) พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการทดแทน เค้กเนยจะมีค่าความแข็ง การคืนตัว การเกาะตัวกัน และความยากในการเคี้ยวลดลง แต่มีค่าการยึดเกาะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อฟักทองมีลักษณะค่อนข้างเหนียว ดังนั้นการใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลีจึงทำให้เค้กเนยมีความเหนียวเพิ่มขึ้น

ตาราง 45 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กเนยที่ใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน<br>(%) | Hardness<br>(g)             | Adhesiveness<br>(g.s)    | Springiness             | Cohesiveness            | Chewiness                  |
|----------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 0                    | 373.95 <sup>a</sup> ±10.81  | 2.37 <sup>d</sup> ±0.48  | 0.94 <sup>a</sup> ±0.01 | 0.51 <sup>a</sup> ±0.01 | 176.42 <sup>a</sup> ±9.06  |
| 10                   | 345.08 <sup>ab</sup> ±15.18 | 3.61 <sup>d</sup> ±0.65  | 0.93 <sup>a</sup> ±0.02 | 0.46 <sup>b</sup> ±0.01 | 145.91 <sup>b</sup> ±6.24  |
| 20                   | 349.32 <sup>ab</sup> ±16.87 | 5.49 <sup>c</sup> ±0.59  | 0.90 <sup>a</sup> ±0.01 | 0.46 <sup>b</sup> ±0.01 | 143.40 <sup>b</sup> ±10.66 |
| 30                   | 318.27 <sup>b</sup> ±15.37  | 7.43 <sup>b</sup> ±0.60  | 0.83 <sup>b</sup> ±0.01 | 0.36 <sup>c</sup> ±0.01 | 94.84 <sup>c</sup> ±2.55   |
| 40                   | 323.04 <sup>b</sup> ±21.35  | 9.09 <sup>a</sup> ±0.36  | 0.80 <sup>b</sup> ±0.01 | 0.35 <sup>c</sup> ±0.01 | 90.35 <sup>c</sup> ±7.30   |
| 50                   | 350.23 <sup>ab</sup> ±23.79 | 10.14 <sup>a</sup> ±0.42 | 0.39 <sup>c</sup> ±0.03 | 0.18 <sup>d</sup> ±0.01 | 47.95 <sup>d</sup> ±10.51  |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสคริปต์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตาราง 46 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเค้กเนยที่มีการใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลี พบว่าที่ระดับการทดแทน 10 และ 20 % ผลลัพธ์จะมีคะแนนการยอมรับด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) นอกจากนี้ตัวอย่างที่มีการใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 20 % ยังมีคะแนนการยอมรับด้านสี และกลิ่นสูงกว่าตัวอย่างควบคุมอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเค้กเนยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสีเหลือง ดังนั้นการใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลีจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองเข้มขึ้นซึ่งเป็นสีเหลืองที่มาจากธรรมชาติ จึงทำให้เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ แต่อย่างไรก็ตาม หากมีการใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลีมากเกินไป (มากกว่า 40 %) จะทำให้ตัวอย่างมีคะแนนการยอมรับด้านสี และกลิ่นลดลง อีกทั้งการใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลียังจะมีผลต่อรสชาติ และเนื้อสัมผัสของเค้กเนย ดังจะเห็นได้จากคะแนนการยอมรับของผู้ทดสอบที่มีแนวโน้มลดลงตามระดับการ



ทดแทนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้ฟักทองผงทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 30 % จึงเป็นระดับการทดแทนสูงสุดที่ผลิตภัณฑ์ยังคงได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบ โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง

ตาราง 46 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเค้กเนยที่ใช้ฟักทองผงแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน (%) | สี                      | กลิ่น                    | รสชาติ                  | เนื้อสัมผัส             | ความชอบโดยรวม           |
|-------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0                 | 6.00 <sup>b</sup> ±1.51 | 6.37 <sup>b</sup> ±1.35  | 7.10 <sup>a</sup> ±1.30 | 7.27 <sup>a</sup> ±1.08 | 7.07 <sup>a</sup> ±1.21 |
| 10                | 7.57 <sup>a</sup> ±1.07 | 6.77 <sup>ab</sup> ±1.01 | 6.77 <sup>a</sup> ±1.14 | 7.13 <sup>a</sup> ±1.04 | 7.00 <sup>a</sup> ±1.07 |
| 20                | 6.97 <sup>a</sup> ±0.85 | 7.07 <sup>a</sup> ±0.69  | 6.97 <sup>a</sup> ±0.76 | 7.20 <sup>a</sup> ±0.76 | 7.20 <sup>a</sup> ±0.77 |
| 30                | 6.13 <sup>b</sup> ±1.25 | 6.50 <sup>ab</sup> ±1.04 | 6.60 <sup>a</sup> ±0.93 | 6.33 <sup>b</sup> ±0.88 | 6.87 <sup>a</sup> ±0.88 |
| 40                | 5.57 <sup>b</sup> ±1.04 | 6.57 <sup>ab</sup> ±0.82 | 5.83 <sup>b</sup> ±1.26 | 5.73 <sup>c</sup> ±0.69 | 5.20 <sup>c</sup> ±1.06 |
| 50                | 4.97 <sup>c</sup> ±1.07 | 5.80 <sup>c</sup> ±1.35  | 5.17 <sup>c</sup> ±1.21 | 4.47 <sup>d</sup> ±0.97 | 4.60 <sup>d</sup> ±1.12 |

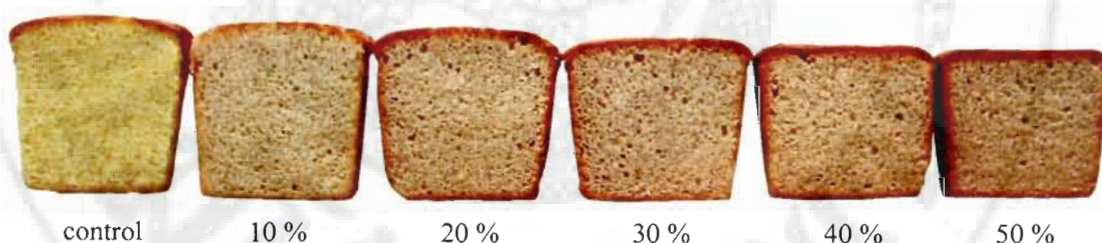
หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

## 2.2.2. การนำเปลือกผงไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในเค้กเนย

ภาพ 31 แสดงตัวอย่างเค้กเนยที่มีการใช้เปลือกผงทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 0-50 % ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพและเคมี ดังแสดงในตาราง 47

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีพบว่า การใช้เปลือกผงทดแทนแป้งสาลีที่ระดับเพิ่มขึ้นจะทำให้เค้กเนยมีค่า  $L^*$  และ  $b^*$  ลดลง แต่มีค่า  $a^*$  เพิ่มขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเค้กเนยที่ผลิตจากแป้งสาลีล้วนจะมีสีเหลืองอ่อน แต่เนื่องจากเปลือกผงมีค่า  $b^*$  ต่ำกว่า แต่มีค่า  $a^*$  สูงกว่าแป้งสาลี (ตาราง 31) ด้วยเหตุนี้ เค้กเนยที่มีการเติมเปลือกผงจึงเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีน้ำตาลอ่อน และจะมีสีคล้ำขึ้นตามระดับการทดแทน

เค้กเนยที่มีการเติมเปลือกผงจะมีปริมาตรจำเพาะลดลงเล็กน้อยตามระดับการทดแทนที่เพิ่มขึ้น โดยที่ระดับการทดแทน 10 % จะไม่มีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ซึ่งอาจเป็นเพราะเปลือกผงมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต และสมบัติด้านความหนืดใกล้เคียงกับแป้งสาลี (ตาราง 32 และ 33) สอดคล้องกับผลการทดลองในข้อ 4.2.2 ที่พบว่า ขนมปังที่มีการใช้เปลือกผงทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 20 % จะมีปริมาตรจำเพาะไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม



ภาพ 31 เค้กเนยที่มีการใช้เปลือกผงทดแทนแป้งสาลี

ตาราง 47 สมบัติทางกายภาพและเคมีของเค้กเนยที่ใช้เพื่อคงทดแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน<br>(%) | ค่าสี                    |                          |                          | $a_w$                      | ความชื้น<br>(%)           | ปริมาตรจำเพาะ<br>(กรัม/ซม. <sup>3</sup> ) |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|
|                      | L*                       | a*                       | b*                       |                            |                           |                                           |
| 0                    | 74.35 <sup>a</sup> ±1.11 | 7.53 <sup>c</sup> ±0.55  | 32.04 <sup>a</sup> ±0.81 | 0.835 <sup>b</sup> ±0.006  | 26.25 <sup>c</sup> ±0.13  | 2.40 <sup>a</sup> ±0.04                   |
| 10                   | 68.97 <sup>b</sup> ±0.32 | 7.57 <sup>c</sup> ±0.32  | 24.28 <sup>b</sup> ±0.96 | 0.848 <sup>a</sup> ±0.011  | 27.45 <sup>bc</sup> ±0.28 | 2.36 <sup>a</sup> ±0.05                   |
| 20                   | 67.50 <sup>c</sup> ±0.38 | 9.46 <sup>d</sup> ±0.32  | 23.43 <sup>c</sup> ±0.71 | 0.852 <sup>a</sup> ±0.010  | 27.51 <sup>b</sup> ±0.24  | 2.27 <sup>b</sup> ±0.05                   |
| 30                   | 65.38 <sup>d</sup> ±0.44 | 10.02 <sup>c</sup> ±0.48 | 22.46 <sup>d</sup> ±0.97 | 0.858 <sup>a</sup> ±0.008  | 27.93 <sup>a</sup> ±0.18  | 2.25 <sup>b</sup> ±0.09                   |
| 40                   | 63.60 <sup>c</sup> ±0.19 | 10.92 <sup>b</sup> ±0.59 | 22.61 <sup>d</sup> ±0.48 | 0.846 <sup>ab</sup> ±0.006 | 26.88 <sup>d</sup> ±0.14  | 2.14 <sup>c</sup> ±0.06                   |
| 50                   | 62.26 <sup>f</sup> ±0.39 | 12.05 <sup>a</sup> ±0.55 | 22.15 <sup>d</sup> ±0.44 | 0.849 <sup>ab</sup> ±0.010 | 27.21 <sup>c</sup> ±0.15  | 1.90 <sup>d</sup> ±0.04                   |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

การใช้เปลือกพวงพุดแทนแป้งสาลีมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กเนย ดังแสดงในตาราง 45 โดยพบว่าการเพิ่มระดับการทดแทนจะทำให้เค้กเนยมีค่าความแข็ง การคืนตัว การเกาะตัวกัน และความยากในการเคี้ยวลดลง แต่ไม่มีผลต่อค่าการบีบเคาะ

ตาราง 48 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กเนยที่ใช้เปลือกพวงพุดแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน (%) | Hardness (g)                | Adhesiveness <sup>ns</sup> (g.s) | Springiness              | Cohesiveness             | Chewiness                  |
|-------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 0                 | 486.27 <sup>a</sup> ±23.96  | 2.63±0.72                        | 0.90 <sup>a</sup> ±0.02  | 0.49 <sup>a</sup> ±0.04  | 211.94 <sup>a</sup> ±11.08 |
| 10                | 354.21 <sup>bc</sup> ±21.15 | 3.65±0.18                        | 0.91 <sup>a</sup> ±0.01  | 0.48 <sup>b</sup> ±0.01  | 155.81 <sup>b</sup> ±9.91  |
| 20                | 365.35 <sup>bc</sup> ±19.08 | 3.35±0.16                        | 0.89 <sup>ab</sup> ±0.01 | 0.47 <sup>c</sup> ±0.01  | 134.30 <sup>b</sup> ±35.72 |
| 30                | 335.15 <sup>c</sup> ±13.46  | 3.36±0.61                        | 0.89 <sup>ab</sup> ±0.01 | 0.45 <sup>dc</sup> ±0.01 | 132.38 <sup>b</sup> ±0.55  |
| 40                | 344.83 <sup>bc</sup> ±11.82 | 2.49±0.69                        | 0.86 <sup>bc</sup> ±0.01 | 0.42 <sup>cd</sup> ±0.01 | 122.58 <sup>b</sup> ±3.27  |
| 50                | 393.53 <sup>b</sup> ±26.47  | 3.33±0.40                        | 0.84 <sup>c</sup> ±0.01  | 0.39 <sup>d</sup> ±0.01  | 132.59 <sup>b</sup> ±4.95  |

- หมายเหตุ - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสมกรม์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )
- <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเค้กเนยที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยเปลือกพุดในตาราง 49 พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการทดแทนจะทำให้เค้กเนยมีคะแนนการยอมรับด้านสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยตัวอย่างที่มีระดับการทดแทน 20 % ขึ้นไป จะมีคะแนนการยอมรับด้านสีต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม แต่อย่างไรก็ตามการทดแทนแป้งสาลีด้วยเปลือกพุดที่ระดับ 10-30 % จะได้เค้กเนยที่มีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) จึงสามารถสรุปได้ว่า ในการทำเค้กเนยสามารถใช้เปลือกพุดทดแทนแป้งสาลีได้มากที่สุดที่ระดับ 30 % โดยจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เค้กเนยที่มีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง

ตาราง 49 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเค้กเนยที่ใช้เผือกผงแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน<br>(%) | สี                       | กลิ่น                    | รสชาติ                   | เนื้อสัมผัส             | ความชอบโดยรวม            |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 0                    | 7.20 <sup>a</sup> ±1.30  | 6.73 <sup>ab</sup> ±1.14 | 7.20 <sup>ab</sup> ±1.26 | 7.27 <sup>a</sup> ±0.87 | 7.47 <sup>a</sup> ±0.73  |
| 10                   | 6.80 <sup>ab</sup> ±0.85 | 6.67 <sup>ab</sup> ±0.96 | 7.07 <sup>ab</sup> ±1.08 | 6.80 <sup>a</sup> ±1.00 | 7.40 <sup>a</sup> ±0.62  |
| 20                   | 6.33 <sup>bc</sup> ±1.09 | 6.93 <sup>a</sup> ±0.69  | 7.27 <sup>a</sup> ±0.78  | 7.00 <sup>a</sup> ±1.34 | 7.33 <sup>a</sup> ±0.88  |
| 30                   | 6.07 <sup>cd</sup> ±1.36 | 6.53 <sup>ab</sup> ±1.04 | 6.97 <sup>ab</sup> ±0.89 | 6.67 <sup>a</sup> ±0.96 | 7.07 <sup>ab</sup> ±0.69 |
| 40                   | 5.53 <sup>d</sup> ±1.43  | 6.13 <sup>bc</sup> ±1.28 | 6.73 <sup>b</sup> ±0.69  | 6.07 <sup>b</sup> ±1.26 | 6.90 <sup>b</sup> ±0.76  |
| 50                   | 4.80 <sup>e</sup> ±1.40  | 5.87 <sup>c</sup> ±1.38  | 5.33 <sup>c</sup> ±0.88  | 5.33 <sup>c</sup> ±1.27 | 5.33 <sup>b</sup> ±0.71  |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

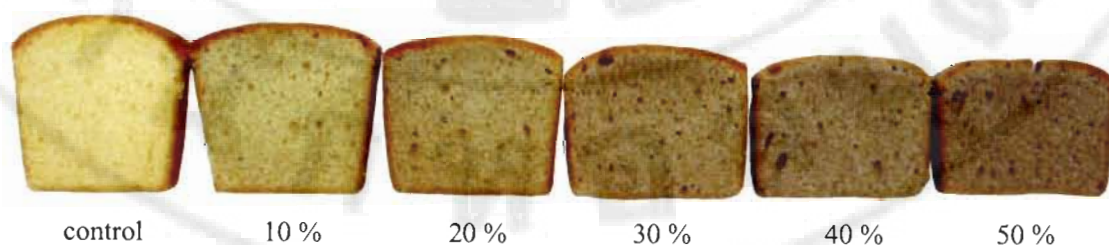
### 2.2.3. การนำถั่วแดงผงไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในเค้กเนย

เมื่อนำถั่วแดงผงไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในการทำเค้กเนย พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อน (ตัวอย่างควบคุม) เป็นสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งเป็นสีที่เกิดจากถั่วแดงผง และความเข้มของสีน้ำตาลจะมากขึ้นตามระดับการทดแทน นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์จะมีขนาดเล็กลง และมีความชุ่มฉ่ำมากขึ้น ดังแสดงในภาพ 32

จากผลการทดลองในตาราง 50 พบว่าเค้กเนยที่มีส่วนผสมของถั่วแดงผงมากขึ้นจะมีค่า  $L^*$  ลดลง แต่มีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  เพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีคล้ำ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ถั่วแดงผงมีค่า  $L^*$  ต่ำกว่า แต่มีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  สูงกว่าแป้งสาลี (ตาราง 31) นอกจากนี้ ถั่วแดงพวยังมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งสาลี (ตาราง 32) จึงทำให้ส่วนผสมของเค้กเนยมีปริมาณสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเพิ่มขึ้นตามระดับการทดแทน

เมื่อเพิ่มระดับการทดแทนจะทำให้เค้กเนยมีค่ากิจกรรมของน้ำลดลง แต่มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะถั่วแดงผงมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่าแป้งสาลีมาก (ตาราง 34) ทำให้เมื่อนำไปใช้ทดแทนแป้งสาลี ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีปริมาณความชื้นสูง ส่วนค่ากิจกรรมของน้ำที่ลดลงเมื่อมีการทดแทนที่ระดับ 50 % ก็อาจเป็นเพราะน้ำอิสระที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์จะถูกจับไว้ด้วยใยอาหารและโปรตีนที่มีอยู่ในถั่วแดงผง จึงทำให้ผลการวิเคราะห์พบค่ากิจกรรมของน้ำลดลง

ปริมาตรจำเพาะของเค้กเนยมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณถั่วแดงผงในสูตรเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากถั่วแดงผงมีปริมาณ โปรตีนและใยอาหารสูงกว่าแป้งสาลี (ตาราง 32) ดังนั้น การเพิ่มปริมาณถั่วแดงผงจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีนและใยอาหารเพิ่มขึ้น แป้งจึงมีการจับตัวกันมากขึ้น เนื่องจากโปรตีนและใยอาหารจะดูดซับน้ำไว้ ทำให้ส่วนผสมของเค้กเนยมีความชื้นหนืด ผลิตภัณฑ์หลังอบจึงเกิดการขยายตัวได้น้อย และมีโครงสร้างที่อัดแน่น



ภาพ 32 เค้กเนยที่ใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลี

ตาราง 50 สมบัติทางกายภาพและเคมีของเค้กเนยที่ใช้ตัวแดงผงทดแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน<br>(%) | ค่าสี                    |                          |                          | $a_w$                      | ความชื้น<br>(%)           | ปริมาตรจำเพาะ<br>(กรัม/ซม. <sup>3</sup> ) |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|
|                      | L*                       | a*                       | b*                       |                            |                           |                                           |
| 0                    | 75.43 <sup>a</sup> ±0.29 | 7.63 <sup>f</sup> ±0.51  | 28.61 <sup>a</sup> ±0.41 | 0.868 <sup>a</sup> ±0.005  | 24.20 <sup>b</sup> ±0.42  | 2.31 <sup>a</sup> ±0.03                   |
| 10                   | 68.42 <sup>b</sup> ±0.67 | 9.32 <sup>c</sup> ±0.48  | 22.26 <sup>b</sup> ±0.41 | 0.863 <sup>ab</sup> ±0.006 | 24.25 <sup>b</sup> ±0.32  | 2.28 <sup>a</sup> ±0.08                   |
| 20                   | 63.19 <sup>c</sup> ±0.86 | 10.35 <sup>d</sup> ±0.40 | 20.19 <sup>c</sup> ±0.44 | 0.864 <sup>ab</sup> ±0.008 | 25.34 <sup>a</sup> ±0.44  | 2.17 <sup>a</sup> ±0.07                   |
| 30                   | 60.61 <sup>d</sup> ±0.62 | 11.75 <sup>c</sup> ±0.47 | 18.83 <sup>d</sup> ±0.44 | 0.862 <sup>ab</sup> ±0.002 | 25.09 <sup>a</sup> ±0.31  | 1.99 <sup>b</sup> ±0.09                   |
| 40                   | 57.61 <sup>c</sup> ±0.65 | 12.22 <sup>b</sup> ±0.62 | 17.66 <sup>c</sup> ±0.31 | 0.855 <sup>b</sup> ±0.008  | 25.16 <sup>a</sup> ±0.42  | 1.96 <sup>b</sup> ±0.04                   |
| 50                   | 54.57 <sup>f</sup> ±0.54 | 12.77 <sup>a</sup> ±0.59 | 16.58 <sup>f</sup> ±0.31 | 0.843 <sup>c</sup> ±0.004  | 24.42 <sup>ab</sup> ±0.52 | 1.57 <sup>c</sup> ±0.06                   |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กเนยในตาราง 51 พบว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยถั่วแดงผงที่ระดับ 10 % จะทำให้ตัวอย่างมีค่าความแข็งน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม ขณะที่การทดแทนที่ระดับ 20 % ตัวอย่างจะมีค่าความแข็งไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม แต่เมื่อเพิ่มระดับการทดแทนเป็น 30-50 % ตัวอย่างจะมีค่าความแข็งมากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ส่วนลักษณะเนื้อสัมผัสด้านอื่นๆ พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการทดแทนจะทำให้ตัวอย่างมีค่าการคืนตัว การเกาะตัวกัน และความยากในการเคี้ยวลดลง แต่มีค่าการยึดเกาะเพิ่มขึ้น

ตาราง 51 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กเนยที่ใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน (%) | Hardness (g)               | Adhesiveness (g.s)      | Springiness             | Cohesiveness            | Chewiness                  |
|-------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 0                 | 503.21 <sup>c</sup> ±31.79 | 2.12 <sup>c</sup> ±0.71 | 0.89 <sup>a</sup> ±0.01 | 0.46 <sup>a</sup> ±0.03 | 204.11 <sup>a</sup> ±1.20  |
| 10                | 353.07 <sup>d</sup> ±7.75  | 3.91 <sup>b</sup> ±0.53 | 0.87 <sup>a</sup> ±0.01 | 0.45 <sup>a</sup> ±0.01 | 138.63 <sup>c</sup> ±3.17  |
| 20                | 472.75 <sup>c</sup> ±5.90  | 3.41 <sup>b</sup> ±0.17 | 0.88 <sup>a</sup> ±0.01 | 0.45 <sup>a</sup> ±0.01 | 189.00 <sup>b</sup> ±1.27  |
| 30                | 605.31 <sup>b</sup> ±22.37 | 5.02 <sup>a</sup> ±0.07 | 0.84 <sup>b</sup> ±0.01 | 0.39 <sup>b</sup> ±0.02 | 196.87 <sup>ab</sup> ±5.54 |
| 40                | 620.30 <sup>b</sup> ±39.25 | 6.04 <sup>a</sup> ±0.01 | 0.81 <sup>c</sup> ±0.01 | 0.38 <sup>b</sup> ±0.01 | 189.24 <sup>b</sup> ±6.25  |
| 50                | 697.15 <sup>a</sup> ±27.45 | 7.50 <sup>a</sup> ±0.15 | 0.65 <sup>d</sup> ±0.01 | 0.31 <sup>c</sup> ±0.01 | 141.86 <sup>c</sup> ±5.44  |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตาราง 52 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเค้กเนยที่มีการใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลีบางส่วน พบว่าเมื่อระดับการทดแทนเพิ่มขึ้น จะทำให้เค้กเนยมีคะแนนการยอมรับด้านสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากผู้ทดสอบอาจคุ้นชินกับเค้กเนยสีเหลืองอ่อนที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป แต่การใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลีจะทำให้ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน ผู้ทดสอบจึงไม่ให้การยอมรับ ส่วนคะแนนในด้านอื่นๆ พบว่าตัวอย่างที่มีการใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 10-30 % มีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ( $p > 0.05$ ) แต่เมื่อเพิ่มระดับการทดแทนเป็น 40 และ 50 % ผลิตภัณฑ์จะมีคะแนนการยอมรับในทุกๆ ด้านต่ำลง



จึงสามารถสรุปว่า ในการทำเค้กเนยสามารถในถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลีได้มากที่สุดที่ระดับ 30 % โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง

ตาราง 52 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเค้กเนยที่ใช้ถั่วแดงผงทดแทนแป้งสาลี

| ระดับการทดแทน (%) | สี                       | กลิ่น                    | รสชาติ                   | เนื้อสัมผัส             | ความชอบโดยรวม            |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 0                 | 8.03 <sup>a</sup> ±1.00  | 7.37 <sup>ab</sup> ±1.03 | 7.50 <sup>a</sup> ±0.90  | 7.30 <sup>a</sup> ±0.79 | 7.23 <sup>a</sup> ±1.01  |
| 10                | 6.90 <sup>b</sup> ±0.96  | 7.53 <sup>a</sup> ±1.01  | 7.60 <sup>a</sup> ±0.93  | 7.17 <sup>a</sup> ±0.99 | 7.03 <sup>a</sup> ±1.10  |
| 20                | 5.93 <sup>c</sup> ±0.69  | 7.30 <sup>ab</sup> ±0.79 | 7.17 <sup>ab</sup> ±0.95 | 7.17 <sup>a</sup> ±1.09 | 7.13 <sup>a</sup> ±1.07  |
| 30                | 5.63 <sup>cd</sup> ±1.07 | 6.93 <sup>b</sup> ±1.11  | 6.83 <sup>bc</sup> ±1.09 | 6.30 <sup>b</sup> ±1.09 | 6.77 <sup>ab</sup> ±0.68 |
| 40                | 5.30 <sup>d</sup> ±0.99  | 6.77 <sup>b</sup> ±1.07  | 6.47 <sup>c</sup> ±1.04  | 6.07 <sup>b</sup> ±1.05 | 6.30 <sup>b</sup> ±0.79  |
| 50                | 4.33 <sup>e</sup> ±0.88  | 6.33 <sup>c</sup> ±1.24  | 5.27 <sup>d</sup> ±1.26  | 4.83 <sup>c</sup> ±1.18 | 4.93 <sup>c</sup> ±1.01  |

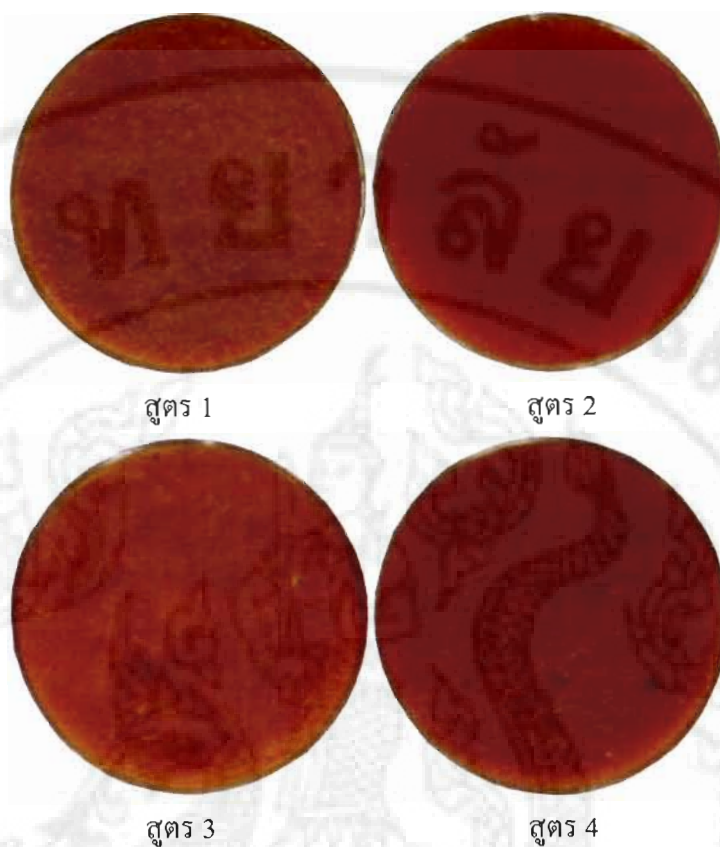
หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

### 2.3. การนำฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผงไปขึ้นรูปเพื่อผลิตเป็นไส้ขนม

การศึกษาในขั้นตอนนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การคัดเลือกสูตรไส้ขนม และการขึ้นรูปฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผงเพื่อผลิตเป็นไส้ขนม โดยจากการศึกษาข้างต้นพบว่า ในขั้นตอนของการผลิตฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผง จะต้องมีการนำฟักทอง ผีอก และถั่วแดงที่ผ่านการอบแห้งและบดให้เป็นผงมาร้อนด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช แต่เนื่องจากเครื่องบดที่ใช้ในการทดลองนี้มีขนาดเล็ก และมีประสิทธิภาพในการบดไม่ดีนัก จึงทำให้มีตัวอย่างบางส่วน (ประมาณ 15 %) หลงเหลืออยู่บนตะแกรงร่อน ดังนั้นเพื่อไม่ให้เป็นการสูญเสียตัวอย่าง และจะได้นำทุกส่วนของตัวอย่างที่เตรียมได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด ผู้ทดลองจึงแยกตัวอย่างผงออกเป็น 2 ตัวอย่าง คือ ผงที่ยังไม่ผ่านการร่อน และผงที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรง 80 เมช มาใช้ในการศึกษาคุณภาพของไส้ขนม ซึ่งได้ผลการทดลอง ดังนี้

#### 2.3.1. การนำฟักทองผงไปขึ้นรูปเพื่อผลิตเป็นไส้ฟักทอง

จากการทดลองผลิตไส้ฟักทอง 4 สูตร พบว่ามีลักษณะดังแสดงในภาพ 33 โดยไส้ฟักทองสูตร 1, 2, 3 และ 4 มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 77.09, 46.71, 47.11 และ 84.67 บาท/กก. ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสูตร 1 และ 4 มีต้นทุนการผลิตสูงกว่าสูตร 2 และ 3 เนื่องจากสูตร 1 มีส่วนผสมของนมข้นจืดมากถึง 37.98 % และสูตร 4 มีส่วนผสมของกะทิมากถึง 39.95 % ซึ่งวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดนี้ มีราคาแพงกว่าฟักทองและน้ำตาลทราย ซึ่งเป็นส่วนผสมหลักของสูตร 2 และ 3 (ตาราง 9)



ภาพ 27 ไส้ฝักทอง 4 สูตร

เมื่อนำตัวอย่างไส้ฝักทองทั้ง 4 สูตร ไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ค่าสี ค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้น พบว่าได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 53 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เมื่อพิจารณาจากค่าสี พบว่าไส้ฝักทองสูตร 3 มีค่า  $L^*$  และ  $b^*$  สูงสุด ซึ่งอาจเป็นเพราะสูตร 3 มีส่วนผสมของแป้งสาลี จึงทำให้มีค่าความสว่างสูงกว่าสูตรอื่น ขณะที่สูตร 2 มีค่า  $a^*$  สูงสุด แต่มีค่า  $L^*$  และ  $b^*$  ต่ำสุด เนื่องจากสูตร 2 มีส่วนผสมของฝักทองและน้ำตาลทรายมากกว่าสูตรอื่น จึงทำให้มีความเข้มของสีแดงค่อนข้างสูง โดยสีที่เกิดขึ้นนี้อาจมาจากสีของเบต้าแคโรทีน หรือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ที่มีน้ำตาลเป็นสารตั้งต้น ส่วนสูตร 1 และ 4 มีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  ไม่แตกต่างกัน แต่สูตร 1 มีค่า  $L^*$  สูงกว่า ซึ่งอาจเป็นเพราะสูตร 1 มีส่วนผสมของน้ำตาลทรายน้อยที่สุด แต่สูตร 4 มีการเติมน้ำตาลมะพร้าว จึงทำให้มีสีค่อนข้างคล้ำ (ตาราง 9)

การวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของน้ำ พบว่าสูตร 1 มีค่ากิจกรรมของน้ำสูงสุด รองลงมาคือสูตร 2, 3 และ 4 ตามลำดับ โดยสาเหตุที่สูตร 1 มีค่ากิจกรรมของน้ำสูงก็อาจเป็นเพราะสูตร 1 มีการเติมนมข้นจืดมากถึง 37.98 % ซึ่งมากกว่าสูตรอื่นๆ

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น พบว่าสูตร 2 และ 3 มีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) แต่มากกว่าสูตร 1 และ 4 ซึ่งอาจเป็นเพราะสูตร 2 และ 3 มีส่วนผสมของฟักทองมากถึง 79.20 และ 58.04 % ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าสูตร 1 และ 4 ที่มีส่วนผสมของฟักทองเพียง 48.84 และ 39.95 % ตามลำดับ โดยฟักทองหนึ่งลูกบดละเอียดที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมมีปริมาณความชื้นสูงถึง 86-88 % ดังนั้นตัวอย่างที่มีส่วนผสมของฟักทองสูงจึงมีความชื้นสูง

ตาราง 53 สมบัติทางกายภาพและเคมีของไส้ฟักทอง 4 สูตร

| สูตร | ค่าสี                    |                          |                          | $a_w$                      | ความชื้น (%)             |
|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
|      | $L^*$                    | $a^*$                    | $b^*$                    |                            |                          |
| 1    | 48.73 <sup>b</sup> ±0.82 | 19.63 <sup>b</sup> ±0.62 | 62.22 <sup>b</sup> ±0.87 | 0.840 <sup>a</sup> ±0.011  | 50.02 <sup>b</sup> ±0.82 |
| 2    | 40.36 <sup>d</sup> ±0.93 | 22.37 <sup>a</sup> ±0.67 | 57.68 <sup>c</sup> ±0.65 | 0.836 <sup>ab</sup> ±0.012 | 58.26 <sup>a</sup> ±1.07 |
| 3    | 54.74 <sup>a</sup> ±0.43 | 19.04 <sup>b</sup> ±0.82 | 70.72 <sup>a</sup> ±0.46 | 0.822 <sup>b</sup> ±0.009  | 57.42 <sup>a</sup> ±1.33 |
| 4    | 43.99 <sup>c</sup> ±0.38 | 19.76 <sup>b</sup> ±0.58 | 61.93 <sup>b</sup> ±0.67 | 0.804 <sup>c</sup> ±0.004  | 48.41 <sup>b</sup> ±0.96 |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสทมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้ฟักทองทั้ง 4 สูตร พบว่ามีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยสูตร 3 มีค่าความแข็ง การบีดเกาะ การเกาะตัวกัน และความยากในการเคี้ยวสูงสุด ซึ่งอาจเป็นเพราะสูตร 3 มีการเติมแป้งสาลีอเนกประสงค์ จึงทำให้ส่วนผสมมีการเกาะตัวกันแน่นขึ้น ตรงข้ามกับสูตร 2 ที่มีค่าความแข็ง การบีดเกาะ การเกาะตัวกัน และความยากในการเคี้ยวลดลง เนื่องจากสูตร 2 มีส่วนผสมของฟักทองมากถึง 79.20 % จึงทำให้มีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มมากกว่าสูตรอื่นๆ

ตาราง 54 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้ฟักทอง 4 สูตร

| สูตร | Hardness<br>(g)            | Adhesiveness<br>(g.s)       | Cohesiveness             | Chewiness                  |
|------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1    | 704.11 <sup>b</sup> ±42.72 | 447.33 <sup>ab</sup> ±33.65 | 0.59 <sup>ab</sup> ±0.09 | 85.27 <sup>b</sup> ±6.13   |
| 2    | 618.69 <sup>b</sup> ±43.04 | 379.53 <sup>c</sup> ±20.19  | 0.44 <sup>b</sup> ±0.06  | 68.77 <sup>b</sup> ±8.90   |
| 3    | 872.82 <sup>a</sup> ±76.40 | 495.33 <sup>a</sup> ±27.10  | 0.75 <sup>a</sup> ±0.11  | 116.80 <sup>a</sup> ±16.10 |
| 4    | 711.79 <sup>b</sup> ±37.64 | 420.00 <sup>bc</sup> ±36.39 | 0.56 <sup>b</sup> ±0.06  | 82.60 <sup>b</sup> ±11.54  |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อนำไส้ฟักทองทั้ง 4 สูตรไปให้ผู้ทดสอบประเมินความชอบโดยใช้วิธีการให้คะแนนแบบ 9-point hedonic scale พบว่าทุกตัวอย่างมีคะแนนความชอบด้านสีไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ถึงแม้ผลการวิเคราะห์ค่าสี (ตาราง 53) จะพบว่าทุกตัวอย่างมีค่าสีแตกต่างกันก็ตาม ส่วนคะแนนด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่าสูตร 3 มีคะแนนการยอมรับต่ำสุด ขณะที่สูตร 1, 2 และ 4 มีคะแนนการยอมรับในทุกๆ ด้านไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ )

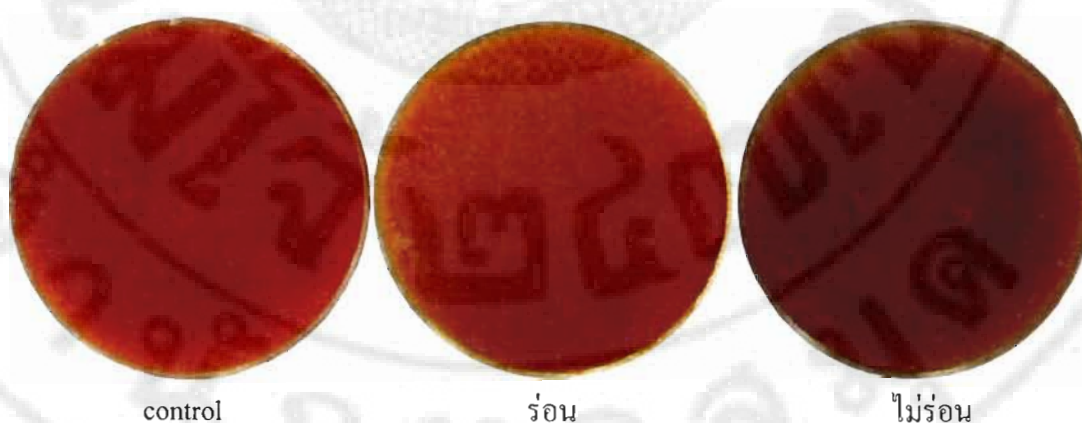
ในการคัดเลือกสูตร นอกจากจะพิจารณาจากการยอมรับของผู้ทดสอบแล้ว ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ที่สำคัญด้วย เช่น ต้นทุนการผลิต ซึ่งในการทดลองนี้พบว่า สูตร 2 มีต้นทุนการผลิตต่ำสุด (46.71 บาท/กก.) อีกทั้งยังมีการใช้ฟักทองเป็นส่วนประกอบมากกว่าสูตรอื่นๆ ซึ่งจะเป็นการช่วยส่งเสริมให้มีการนำฟักทองไปใช้ประโยชน์มากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงเลือกสูตร 2 เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป

ตาราง 55 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้ฟักทอง 4 สูตร

| สูตร | สี <sup>ns</sup> | กลิ่น                   | รสชาติ                  | เนื้อสัมผัส             | ความชอบโดยรวม           |
|------|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1    | 7.07±0.69        | 7.30 <sup>a</sup> ±0.65 | 6.90 <sup>a</sup> ±0.55 | 6.90 <sup>a</sup> ±0.71 | 7.20 <sup>a</sup> ±0.61 |
| 2    | 6.93±0.78        | 7.10 <sup>a</sup> ±0.71 | 6.85 <sup>a</sup> ±0.65 | 7.10 <sup>a</sup> ±0.55 | 7.17 <sup>a</sup> ±0.59 |
| 3    | 6.87±0.73        | 6.30 <sup>b</sup> ±0.92 | 5.50 <sup>b</sup> ±0.94 | 5.80 <sup>b</sup> ±0.61 | 5.80 <sup>b</sup> ±0.55 |
| 4    | 7.10±0.80        | 7.30 <sup>a</sup> ±0.65 | 7.10 <sup>a</sup> ±0.61 | 7.00 <sup>a</sup> ±0.64 | 7.23 <sup>a</sup> ±0.63 |

- หมายเหตุ - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )
- <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

การนำฟักทองผงทั้งแบบร้อนและไม่ร้อน (ความชื้น 7.35 %) 100 กรัม มาคั้นรูปให้มีความชื้นเท่ากับฟักทองนึ่งสุกบดละเอียด (ความชื้น 86-88 %) พบว่าต้องเติมน้ำร้อนลงไปประมาณ 620 มล. โดยภาพ 34 แสดงตัวอย่างไส้ฟักทองที่ทำจากจากฟักทองสด ฟักทองผงที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช และฟักทองผงที่ยังไม่ผ่านการร่อน



ภาพ 34 ผลิตภัณฑ์ไส้ฟักทอง

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างไส้ฟักทอง (ตาราง 56) พบว่าตัวอย่างที่ทำจากฟักทองสด (ตัวอย่างควบคุม) มีค่า L\*, a\* และ b\* สูงกว่าตัวอย่างที่ทำ

จากฟักทองผงคั้นรูปทั้งสองตัวอย่าง ซึ่งอาจเป็นเพราะฟักทองผงได้ผ่านการให้ความร้อนจึงทำให้สูญเสีย เบต้าแคโรทีนและมีสีคล้ำ

ตาราง 56 สมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ไส้ฟักทอง

| ตัวอย่าง | ค่าสี                    |                          |                          | $a_w^{ns}$  | ความชื้น <sup>ns</sup><br>(%) |
|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|-------------------------------|
|          | L*                       | a*                       | b*                       |             |                               |
| control  | 41.12 <sup>a</sup> ±0.88 | 19.13 <sup>a</sup> ±0.72 | 55.60 <sup>a</sup> ±0.51 | 0.842±0.008 | 58.41±0.92                    |
| ร้อน     | 37.19 <sup>b</sup> ±0.44 | 13.98 <sup>b</sup> ±0.57 | 48.14 <sup>b</sup> ±0.99 | 0.844±0.007 | 59.33±1.56                    |
| ไม่ร้อน  | 33.99 <sup>c</sup> ±0.67 | 10.78 <sup>c</sup> ±0.89 | 39.54 <sup>c</sup> ±0.96 | 0.839±0.010 | 58.97±1.04                    |

หมายเหตุ - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
 - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากตาราง 57 พบว่าไส้ฟักทองทั้ง 3 ตัวอย่างมีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกัน คือ มีค่าความแข็ง การยึดเกาะ และความยากในการเคี้ยวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่ตัวอย่างที่ทำจากฟักทองผงที่ยังไม่ผ่านการร้อนจะมีค่าการเกาะตัวกันต่ำสุด

ตาราง 57 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้ฟักทอง

| ตัวอย่าง | Hardness <sup>ns</sup><br>(g) | Adhesiveness <sup>ns</sup><br>(g.s) | Cohesiveness            | Chewiness <sup>ns</sup> |
|----------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
|          |                               |                                     |                         |                         |
| control  | 666.13±39.73                  | 388.60±18.65                        | 0.45 <sup>a</sup> ±0.06 | 83.87±10.55             |
| ร้อน     | 684.33±44.64                  | 410.67±20.43                        | 0.40 <sup>a</sup> ±0.08 | 74.77±8.52              |
| ไม่ร้อน  | 630.13±18.70                  | 389.30±12.01                        | 0.25 <sup>b</sup> ±0.06 | 82.27±8.01              |

หมายเหตุ - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
 - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

การทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตาราง 58) พบว่าทุกตัวอย่างมีคะแนนการยอมรับด้านรสชาติไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) แต่ตัวอย่างควบคุมจะมีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นสูงสุด ขณะที่มีการยอมรับด้านสี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ทำจากฟักทองที่ผ่านการร่อนแล้ว ( $p>0.05$ )

ตาราง 58 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้ฟักทอง

| ตัวอย่าง | สี                      | กลิ่น                   | รสชาติ <sup>ns</sup> | เนื้อสัมผัส             | ความชอบโดยรวม           |
|----------|-------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| control  | 7.17 <sup>a</sup> ±0.75 | 6.73 <sup>a</sup> ±0.58 | 7.03±0.61            | 7.10 <sup>a</sup> ±0.84 | 7.13 <sup>a</sup> ±0.63 |
| ร่อน     | 7.07 <sup>a</sup> ±0.58 | 6.00 <sup>b</sup> ±0.53 | 6.83±0.75            | 7.00 <sup>a</sup> ±0.98 | 7.07 <sup>a</sup> ±0.58 |
| ไม่ร่อน  | 5.70 <sup>b</sup> ±0.70 | 5.63 <sup>c</sup> ±0.67 | 6.73±0.64            | 5.40 <sup>b</sup> ±0.89 | 5.80 <sup>b</sup> ±0.85 |

หมายเหตุ - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสมมติแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )  
 - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

### 2.3.2. การนำเปลือกฟักไปขึ้นรูปเพื่อผลิตเป็นไส้ฟัก

ตัวอย่างไส้ฟักทั้ง 4 สูตร มีลักษณะปรากฏดังแสดงในภาพ 35 โดยจากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี (ตาราง 59) พบว่าสูตร 2 มีค่า L\* ต่ำสุด แต่มีค่า a\* และ b\* สูงสุด เนื่องจากสูตร 2 มีส่วนผสมของน้ำตาลทรายและนมข้นจืดมากกว่าสูตรอื่นๆ จึงทำให้มีปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์เกิดขึ้นในระหว่างการให้ความร้อนค่อนข้างสูง ขณะที่สูตร 4 มีค่า L\* สูงสุด แต่มีค่า b\* ต่ำสุด ซึ่งอาจเป็นเพราะสูตร 4 มีการเติมกะทิมากถึง 13.15 % จึงทำให้มีลักษณะเป็นสีขาว ซึ่งมาจากสีของน้ำกะทิ ส่วนค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นพบว่าสูตร 3 และ 4 มีค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นสูงสุด เมื่อคำนวณต้นทุนการผลิตพบว่าสูตร 1, 2, 3 และ 4 มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 43.12, 40.89, 30.71 และ 32.96 บาท/กก. ตามลำดับ





ภาพ 35 ไข่เค็ม 4 สูตร

ตาราง 59 สมบัติทางกายภาพและเคมีของไข่เค็ม 4 สูตร

| สูตร | ค่าสี              |                    |                   | $a_w$               | ความชื้น (%)       |
|------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
|      | $L^*$              | $a^*$              | $b^*$             |                     |                    |
| 1    | $43.71^c \pm 0.74$ | $16.24^b \pm 0.14$ | $7.19^b \pm 0.27$ | $0.773^b \pm 0.011$ | $42.40^b \pm 0.87$ |
| 2    | $36.43^d \pm 0.41$ | $17.30^a \pm 0.46$ | $9.59^a \pm 0.60$ | $0.739^c \pm 0.017$ | $41.81^b \pm 1.19$ |
| 3    | $46.73^b \pm 0.36$ | $16.67^b \pm 0.18$ | $5.88^c \pm 0.29$ | $0.796^a \pm 0.010$ | $56.25^a \pm 2.14$ |
| 4    | $48.87^a \pm 0.52$ | $16.43^b \pm 0.30$ | $4.46^d \pm 0.16$ | $0.804^a \pm 0.013$ | $57.06^a \pm 1.15$ |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างไส้ฝือกทั้ง 4 สูตร (ตาราง 60) พบว่าสูตร 4 มีค่าความแข็ง การยึดเกาะ การเกาะตัวกัน และความยากในการเคี้ยวสูงสุด ขณะที่สูตร 3 มีค่าความแข็ง การยึดเกาะ การเกาะตัวกัน และความยากในการเคี้ยวต่ำสุด ส่วนสูตร 1 และ 2 มีลักษณะเนื้อสัมผัสทุกด้านไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

ตาราง 60 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้ฝือก 4 สูตร

| สูตร | Hardness<br>(g)             | Adhesiveness<br>(g.s)       | Cohesiveness             | Chewiness                  |
|------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1    | 1700.67 <sup>b</sup> ±41.10 | 591.57 <sup>b</sup> ±18.58  | 0.75 <sup>ab</sup> ±0.06 | 214.96 <sup>b</sup> ±15.01 |
| 2    | 1604.44 <sup>b</sup> ±49.61 | 615.53 <sup>ab</sup> ±20.09 | 0.74 <sup>ab</sup> ±0.09 | 206.32 <sup>b</sup> ±16.27 |
| 3    | 1232.10 <sup>c</sup> ±53.68 | 587.40 <sup>b</sup> ±16.11  | 0.63 <sup>b</sup> ±0.09  | 190.53 <sup>b</sup> ±13.24 |
| 4    | 2003.21 <sup>a</sup> ±63.85 | 647.43 <sup>a</sup> ±19.88  | 0.79 <sup>a</sup> ±0.03  | 251.85 <sup>a</sup> ±15.05 |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )

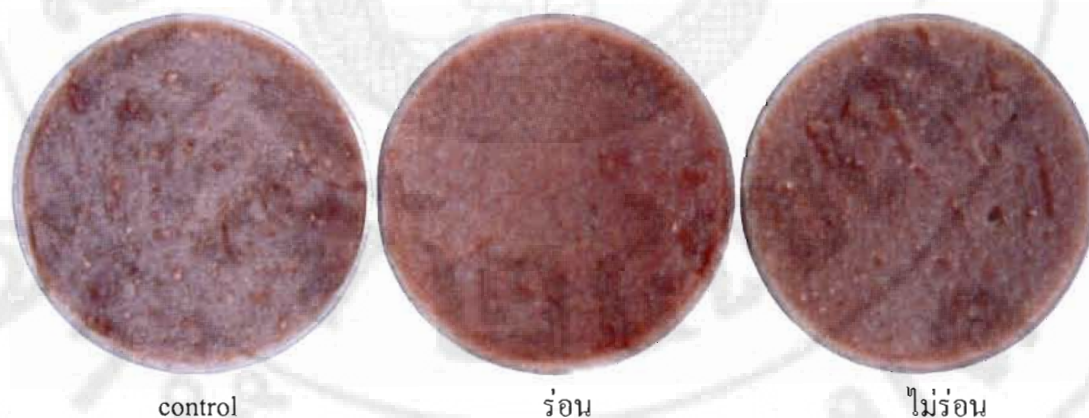
ผลการทดลองในตาราง 61 พบว่าไส้ฝือกสูตร 1 และ 3 มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสทุกด้านไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) แต่สูตร 3 มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า ดังนั้นจึงเลือกสูตร 3 เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป

ตาราง 61 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้เฟือก 4 สูตร

| สูตร | สี <sup>ns</sup> | กลิ่น <sup>ns</sup> | รสชาติ                   | เนื้อสัมผัส              | ความชอบโดยรวม           |
|------|------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1    | 6.20±1.00        | 5.43±0.90           | 6.53 <sup>ab</sup> ±0.90 | 7.03 <sup>a</sup> ±0.76  | 6.97 <sup>a</sup> ±0.81 |
| 2    | 6.17±1.15        | 5.70±1.02           | 5.07 <sup>c</sup> ±1.05  | 6.40 <sup>b</sup> ±1.13  | 5.67 <sup>b</sup> ±1.30 |
| 3    | 6.20±1.19        | 5.90±1.16           | 6.90 <sup>a</sup> ±1.06  | 6.90 <sup>ab</sup> ±1.24 | 7.13 <sup>a</sup> ±0.94 |
| 4    | 6.10±1.24        | 5.93±1.20           | 6.30 <sup>b</sup> ±1.37  | 6.57 <sup>ab</sup> ±1.07 | 5.70 <sup>b</sup> ±1.15 |

หมายเหตุ - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
 - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

การนำเฟือกผง (ความชื้น 5.47 %) 100 กรัม มาคั้นรูปให้มีความชื้นเท่ากับเฟือกนึ่งสุกบดละเอียด (ความชื้น 74-76 %) พบว่าต้องเติมน้ำร้อนลงไปประมาณ 284 มล. และเมื่อนำมาผลิตเป็นไส้เฟือก พบว่าจะมีลักษณะปรากฏดังแสดงในภาพ 36



ภาพ 36 ผลิตภัณฑ์ไส้เฟือก

การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ไส้เฟือก (ตาราง 62) พบว่าทุกตัวอย่างมีค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ตัวอย่างควบคุมมีค่า  $L^*$  ต่ำสุด แต่มีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  สูงสุด ขณะที่ตัวอย่างที่ทำจากถั่วแดงผงคั้นรูปจะมีค่า  $a^*$  และ  $b^*$  ไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) แต่ตัวอย่างที่ผ่านการร่อนแล้วจะมีค่า  $L^*$  สูงกว่า

ตาราง 62 สมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ไส้ฝือก

| ตัวอย่าง | ค่าสี                    |                          |                         | $a_w^{ns}$  | ความชื้น <sup>ns</sup><br>(%) |
|----------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|-------------------------------|
|          | L*                       | a*                       | b*                      |             |                               |
| control  | 46.12 <sup>c</sup> ±0.52 | 16.77 <sup>a</sup> ±0.43 | 5.63 <sup>a</sup> ±0.30 | 0.816±0.012 | 57.29±0.91                    |
| ร้อน     | 48.74 <sup>a</sup> ±0.33 | 15.68 <sup>b</sup> ±0.44 | 4.78 <sup>b</sup> ±0.26 | 0.813±0.015 | 58.29±1.61                    |
| ไม่ร้อน  | 47.72 <sup>b</sup> ±0.21 | 14.90 <sup>b</sup> ±0.41 | 4.53 <sup>b</sup> ±0.26 | 0.807±0.011 | 56.36±1.36                    |

หมายเหตุ - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสมมติแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
 - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ผลการทดลองในตาราง 63 พบว่าไส้ฝือกทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าการยึดเกาะ การเกาะตัวกัน และความยากในการเคี้ยวไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) แต่ตัวอย่างที่ทำจากการนำฝือกผงมคีนรูปจะมีค่าความแข็งสูงกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อย

ตาราง 63 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้ฝือก

| ตัวอย่าง | Hardness                     | Adhesiveness <sup>ns</sup> | Cohesiveness <sup>ns</sup> | Chewiness <sup>ns</sup> |
|----------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
|          | (g)                          | (g.s)                      |                            |                         |
| control  | 1307.93 <sup>b</sup> ±33.15  | 528.77±24.23               | 0.55±0.06                  | 183.00±8.89             |
| ร้อน     | 1388.17 <sup>a</sup> ±17.47  | 502.23±13.58               | 0.53±0.08                  | 196.00±13.00            |
| ไม่ร้อน  | 1363.97 <sup>ab</sup> ±51.46 | 502.19±24.13               | 0.51±0.08                  | 197.40±11.29            |

หมายเหตุ - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสมมติแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
 - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้ฝือก (ตาราง 64) พบว่าทุกตัวอย่างมีคะแนนการยอมรับด้านสี และรสชาติไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) แต่ตัวอย่างควบคุมจะมี

คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นสูงกว่าตัวอย่างที่ได้จากการนำเปลือกผงมาคืนรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่คืนรูปจากเปลือกผงที่ผ่านการร่อนแล้วจะมีคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ( $p > 0.05$ )

ตาราง 64 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้เฟือก

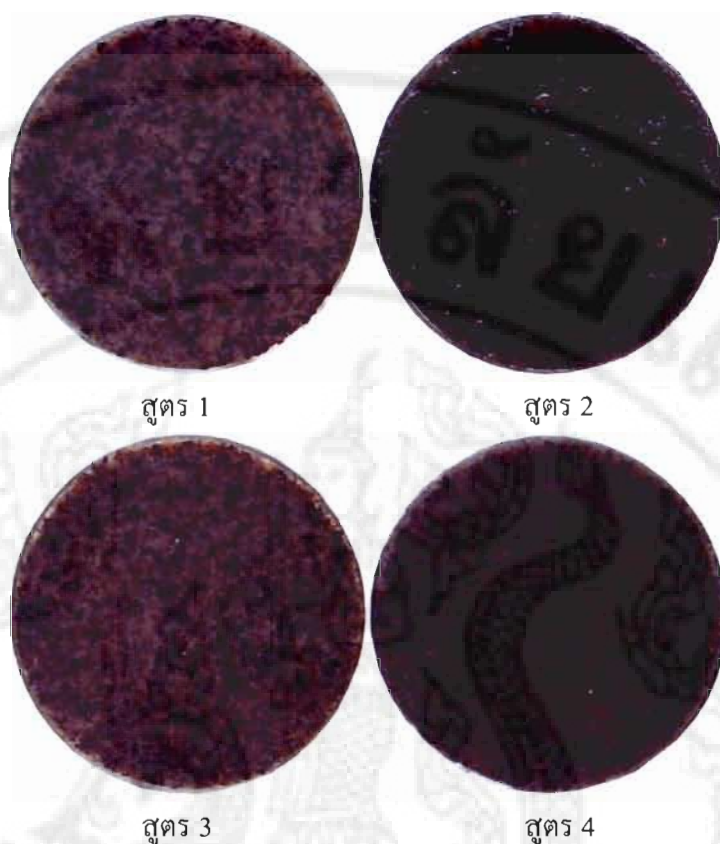
| ตัวอย่าง | สี <sup>ns</sup> | กลิ่น                   | รสชาติ <sup>ns</sup> | เนื้อสัมผัส             | ความชอบโดยรวม           |
|----------|------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| control  | 6.87±0.78        | 7.13 <sup>a</sup> ±0.68 | 6.90±0.76            | 7.03 <sup>a</sup> ±0.67 | 7.20 <sup>a</sup> ±0.89 |
| ร่อน     | 7.03±0.81        | 5.47 <sup>b</sup> ±0.86 | 6.47±1.01            | 7.30 <sup>a</sup> ±0.92 | 6.90 <sup>a</sup> ±0.61 |
| ไม่ร่อน  | 6.73±0.64        | 5.83 <sup>b</sup> ±0.79 | 6.43±0.97            | 4.93 <sup>b</sup> ±0.78 | 5.40 <sup>b</sup> ±0.67 |

หมายเหตุ - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
 - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

### 2.3.3. การนำถั่วแดงผงไปคืนรูปเพื่อผลิตเป็นไส้ถั่วแดง

ตัวอย่างไส้ถั่วแดงทั้ง 4 สูตร มีลักษณะปรากฏดังแสดงในภาพ 37 โดยจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมี (ตาราง 65) พบว่าสูตร 1 มีค่า L\*, a\* และ b\* สูงสุด เนื่องจากมีส่วนผสมของถั่วแดงมากกว่าสูตรอื่นๆ (80.00 %) ขณะที่สูตร 2 มีค่า L\* ต่ำสุด เนื่องจากมีส่วนผสมของน้ำตาลทรายมากกว่าสูตรอื่นๆ (26.98 %) นอกจากนี้สูตร 2 ยังมีการเติมน้ำมันถั่วเหลืองมากถึง 11.67 % จึงทำให้มีสีค่อนข้างคล้ำ

เมื่อพิจารณาค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้น พบว่าสูตร 1 และ 3 มีค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นสูงสุด เนื่องจากสูตร 1 มีส่วนผสมของถั่วแดงมากกว่าสูตรอื่นๆ ซึ่งถั่วแดงต้มสุกมีความชื้นสูงถึง 66-68 % ขณะที่สูตร 3 จะมีการเติมมอลโตเด็กซ์ทรินลงไป ซึ่งมอลโตเด็กซ์ทรินเป็นแป้งตัดแปรที่มีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้ดี (เฉลิมพล, 2547) เมื่อคำนวณต้นทุนการผลิต พบว่าสูตร 1, 2, 3 และ 4 มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 26.93, 31.54, 33.18 และ 33.43 บาท/กก. ตามลำดับ



ภาพ 37 ไข่ถั่วแดง 4 สูตร

ตาราง 65 สมบัติทางกายภาพและเคมีของไข่ถั่วแดง 4 สูตร

| สูตร | ค่าสี              |                    |                   | $a_w$               | ความชื้น (%)       |
|------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
|      | $L^*$              | $a^*$              | $b^*$             |                     |                    |
| 1    | $28.32^a \pm 0.42$ | $12.35^a \pm 0.79$ | $3.38^a \pm 0.59$ | $0.804^a \pm 0.013$ | $48.24^a \pm 1.13$ |
| 2    | $13.02^d \pm 0.86$ | $6.05^d \pm 0.59$  | $0.85^c \pm 0.34$ | $0.723^b \pm 0.020$ | $24.27^d \pm 1.15$ |
| 3    | $23.96^b \pm 0.76$ | $10.23^b \pm 0.66$ | $2.55^b \pm 0.91$ | $0.801^a \pm 0.013$ | $45.03^b \pm 1.20$ |
| 4    | $16.36^c \pm 0.73$ | $8.64^c \pm 0.85$  | $0.71^c \pm 0.47$ | $0.749^b \pm 0.022$ | $34.75^c \pm 1.09$ |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างไส้ถั่วแดง 4 สูตร พบว่ามีค่าความแข็ง การยึดเกาะ การเกาะตัวกัน และความยากในการเคี้ยวอยู่ในช่วง 875.94-2691.71 g, 634.92-1848.23 g.s, 0.17-0.58, 53.10-474.15 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 66 ซึ่งจะเห็นได้ว่า สูตร 3 และ 4 มีค่าความแข็งสูงกว่าสูตร 1 และ 2 ทั้งนี้เนื่องจากสูตร 3 และ 4 มีการเติมเบะแซ ซึ่งเป็นน้ำเชื่อมกลูโคสชนิด 38-42 DE ที่มีสมบัติในการจับตัวสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีลักษณะแข็ง สูตร 2 มีค่าการยึดเกาะสูงสุด เนื่องจากมีส่วนผสมของน้ำตาลและน้ำมันถั่วเหลืองมากกว่าสูตรอื่นๆ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะค่อนข้างเหนียว สูตร 1 และ 3 มีค่าการเกาะตัวกันต่ำสุด เนื่องจากสูตร 1 มีส่วนผสมของ ถั่วแดงมากกว่าแต่มีส่วนผสมของน้ำตาลน้อยกว่าสูตรอื่นๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีลักษณะไม่เกาะตัวกัน ขณะที่สูตร 3 มีการเติมมอลโตเด็คซ์ทริน ซึ่งมีค่าสมมูลเด็คซ์โทรส (dextrose equivalent, DE) ต่ำกว่า 20 จึงมีสมบัติในการจับตัวน้อยกว่าเบะแซ ส่วนค่าความยากในการเคี้ยว พบว่าสูตร 2 มีค่าความยากในการเคี้ยวสูงสุด เนื่องจากมีลักษณะเหนียว และมีการเกาะตัวกันค่อนข้างสูง

ตาราง 66 ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้ถั่วแดง 4 สูตร

| สูตร | Hardness<br>(g)             | Adhesiveness<br>(g.s)       | Cohesiveness            | Chewiness                  |
|------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1    | 1944.57 <sup>c</sup> ±62.85 | 634.92 <sup>c</sup> ±76.40  | 0.18 <sup>c</sup> ±0.05 | 102.58 <sup>c</sup> ±47.01 |
| 2    | 875.54 <sup>d</sup> ±88.86  | 1848.23 <sup>a</sup> ±69.43 | 0.58 <sup>a</sup> ±0.07 | 474.15 <sup>a</sup> ±52.73 |
| 3    | 2491.71 <sup>a</sup> ±57.58 | 1035.10 <sup>b</sup> ±83.16 | 0.17 <sup>c</sup> ±0.09 | 103.10 <sup>c</sup> ±12.74 |
| 4    | 2275.94 <sup>b</sup> ±94.12 | 1101.74 <sup>b</sup> ±60.36 | 0.31 <sup>b</sup> ±0.07 | 252.84 <sup>b</sup> ±49.59 |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสมรค์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างไส้ถั่วแดง 4 สูตร แสดงในตาราง 67 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยสูตร 4 มีคะแนนการยอมรับสูงสุดในทุกด้าน ดังนั้นจึงเลือกสูตร 4 เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป



ตาราง 67 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของไส้ถั่วแดง 4 สูตร

| สูตร | สี                      | กลิ่น                    | รสชาติ                   | เนื้อสัมผัส             | ความชอบโดยรวม           |
|------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1    | 4.94 <sup>c</sup> ±0.77 | 5.13 <sup>b</sup> ±0.89  | 5.19 <sup>c</sup> ±1.05  | 4.56 <sup>c</sup> ±1.21 | 5.03 <sup>c</sup> ±0.89 |
| 2    | 5.94 <sup>b</sup> ±1.18 | 5.13 <sup>b</sup> ±1.02  | 5.63 <sup>b</sup> ±0.89  | 6.00 <sup>b</sup> ±1.10 | 5.75 <sup>b</sup> ±1.00 |
| 3    | 6.06 <sup>b</sup> ±1.00 | 5.75 <sup>ab</sup> ±1.13 | 6.25 <sup>ab</sup> ±1.06 | 5.19 <sup>c</sup> ±0.98 | 6.06 <sup>b</sup> ±1.06 |
| 4    | 7.63 <sup>a</sup> ±0.50 | 6.31 <sup>a</sup> ±1.01  | 6.88 <sup>a</sup> ±0.89  | 6.94 <sup>a</sup> ±0.93 | 7.38 <sup>a</sup> ±0.62 |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสมมุติแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อนำถั่วแดงต้มสุกบดละเอียด ถั่วแดงผงที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช และถั่วแดงผงที่ยังไม่ผ่านการร่อนมาผลิตเป็นไส้ถั่วแดง พบว่าจะมีลักษณะปรากฏที่แตกต่างกัน ดังแสดงในภาพ 38 โดยการนำถั่วแดงผง (ความชื้น 5.59 %) 100 กรัม มาขึ้นรูปให้มี ความชื้นเท่ากับถั่วแดงต้มสุกบดละเอียด (ความชื้น 66-68 %) พบว่าต้องเติมน้ำร้อนลงไปประมาณ 184 มล.



ภาพ 38 ผลิตภัณฑ์ไส้ถั่วแดง



การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของไส้ถั่วแดงทั้ง 3 ตัวอย่าง (ตาราง 68) พบว่ามีค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) แต่เมื่อพิจารณาจากค่าสีจะพบว่า ตัวอย่างควบคุมมีค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ต่ำสุด ทั้งนี้ก็เนื่องจากตัวอย่างควบคุมมีการใช้ถั่วแดงทั้งเมล็ด จึงทำให้มีส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดปนอยู่มาก และเปลือกหุ้มเมล็ดก็จะมีขนาดเป็นชิ้นค่อนข้างใหญ่ จึงทำให้ตัวอย่างมีสีคล้ำ

ตาราง 68 สมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ไส้ถั่วแดง

| ตัวอย่าง | ค่าสี              |                   |                   | $a_w^{ns}$        | ความชื้น <sup>ns</sup><br>(%) |
|----------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|
|          | $L^*$              | $a^*$             | $b^*$             |                   |                               |
| control  | $16.61^c \pm 0.86$ | $7.15^c \pm 0.64$ | $1.18^c \pm 0.51$ | $0.759 \pm 0.023$ | $35.75 \pm 1.12$              |
| ร้อน     | $38.86^a \pm 0.36$ | $8.94^a \pm 0.57$ | $5.56^a \pm 0.42$ | $0.765 \pm 0.018$ | $36.06 \pm 1.36$              |
| ไม่ร้อน  | $32.28^b \pm 0.75$ | $8.26^b \pm 0.29$ | $3.92^b \pm 0.35$ | $0.755 \pm 0.020$ | $35.88 \pm 0.99$              |

- หมายเหตุ
- อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสมรค์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )
  - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตาราง 69 แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้ถั่วแดง พบว่าตัวอย่างควบคุมมีค่าความแข็ง การบีดเกาะ และความยากในการเคี้ยวสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างไส้ถั่วแดงที่ทำจากถั่วแดงผงคั้นรูป พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการร่อนแล้วจะมีค่าความแข็ง และการเกาะตัวกันสูงกว่าตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านการร่อน สอดคล้องกับการศึกษาของ Baik and Czuchajowska (1999) ที่พบว่าเมื่อขนาดอนุภาคของแป้งถั่วอะซูกิเพิ่มขึ้น จะทำให้ถั่วอะซูกิบีคที่ได้จากการนำแป้งถั่วอะซูกิมาคั้นรูปมีค่าความแข็ง การเกาะตัวกัน และความยากในการเคี้ยวลดลง

ตาราง 69 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้ถั่วแดง

| ตัวอย่าง | Hardness<br>(g)             | Adhesiveness<br>(g.s)      | Cohesiveness            | Chewiness                  |
|----------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| control  | 1315.56 <sup>a</sup> ±23.44 | 937.71 <sup>a</sup> ±76.84 | 0.38 <sup>b</sup> ±0.04 | 220.51 <sup>a</sup> ±16.52 |
| ร้อน     | 989.41 <sup>b</sup> ±40.30  | 793.59 <sup>b</sup> ±28.51 | 0.66 <sup>a</sup> ±0.07 | 188.66 <sup>b</sup> ±13.75 |
| ไม่ร้อน  | 918.91 <sup>c</sup> ±34.17  | 766.88 <sup>b</sup> ±56.04 | 0.44 <sup>b</sup> ±0.09 | 172.28 <sup>b</sup> ±18.65 |

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อนำไส้ถั่วแดงทั้ง 3 ตัวอย่างไปให้ผู้ทดสอบประเมินความชอบในด้านต่างๆ พบว่ามีคะแนนการยอมรับด้านรสชาติไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) แต่ตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านการร้อนจะมีคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด ขณะที่มีการยอมรับด้านสี และกลิ่นไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ส่วนตัวอย่างที่ผ่านการร้อนแล้วจะมีคะแนนการยอมรับด้านสี และกลิ่นต่ำสุด ซึ่งอาจเป็นเพราะผู้บริโภคอาจชอบผลิตภัณฑ์ไส้ถั่วแดงที่มีส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดปนอยู่ด้วยมากกว่า

ตาราง 70 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้ถั่วแดง

| ตัวอย่าง | สี                      | กลิ่น                   | รสชาติ <sup>ns</sup> | เนื้อสัมผัส             | ความชอบโดยรวม           |
|----------|-------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| control  | 6.50 <sup>a</sup> ±0.72 | 6.81 <sup>a</sup> ±1.28 | 7.13±1.20            | 6.46 <sup>b</sup> ±1.00 | 6.56 <sup>b</sup> ±1.03 |
| ร้อน     | 5.81 <sup>b</sup> ±0.73 | 5.69 <sup>b</sup> ±0.96 | 6.74±1.26            | 6.75 <sup>b</sup> ±0.68 | 6.63 <sup>b</sup> ±1.02 |
| ไม่ร้อน  | 6.38 <sup>a</sup> ±0.60 | 6.44 <sup>a</sup> ±0.96 | 7.26±0.96            | 7.68 <sup>a</sup> ±0.96 | 7.50 <sup>a</sup> ±0.89 |

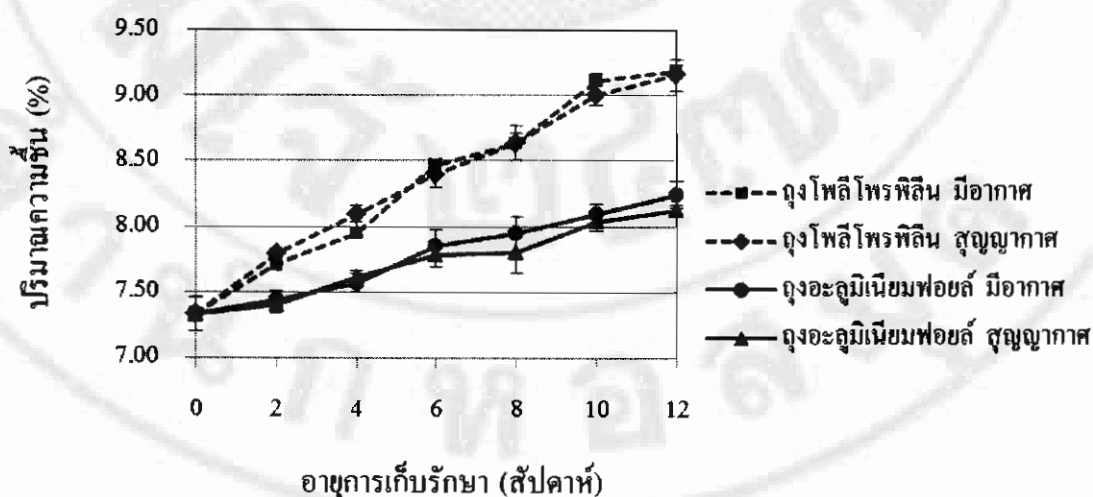
หมายเหตุ - อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
 - <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

### 3. การศึกษาอายุการเก็บรักษาของฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผง

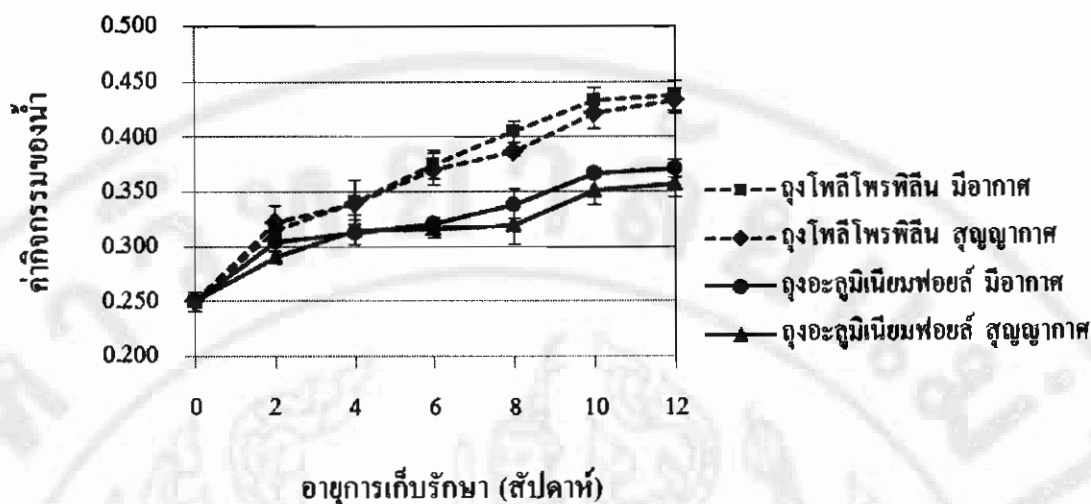
#### 3.1. การศึกษาอายุการเก็บรักษาของฟักทองผง

เมื่อทำการเก็บรักษาฟักทองผงในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ถุงโพลีโพรพิลีนชนิดหนา (polypropylene) และถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminium foil) โดยทำการบรรจุทั้งแบบสภาวะที่มีอากาศและสุญญากาศ พบว่าฟักทองผงที่เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้อง (30-35 °ซ) และมีแสงส่องถึงเป็นเวลา 12 สัปดาห์ มีปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำเพิ่มขึ้นจาก 7.33 % เป็น 8.12-9.19 % และ 0.250 เป็น 0.357-0.438 ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Jaya and Das (2005) ที่พบว่ามะม่วงผงจะมีปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา

จากภาพ 39 และ 40 จะเห็นได้ว่า ฟักทองผงที่บรรจุในถุงโพลีโพรพิลีนมีปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำเพิ่มขึ้นสูงกว่าฟักทองผงที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Kumar et al. (2008) ที่พบว่าการใช้ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการป้องกันความชื้นในผลิตภัณฑ์มะม่วงแผ่นอบแห้ง เนื่องจากถุงอะลูมิเนียมฟอยล์เป็นวัสดุประกอบที่มีวัสดุหลัก คือ อะลูมิเนียม ซึ่งสามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดี (Brown, 1992) ขณะที่ถุงโพลีโพรพิลีนมีอัตราการซึมผ่านของความชื้นสูงกว่าถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ถึง 137 เท่า (Taoukis et al., 1988) อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองพบว่าสภาวะในการบรรจุไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำของฟักทองผง



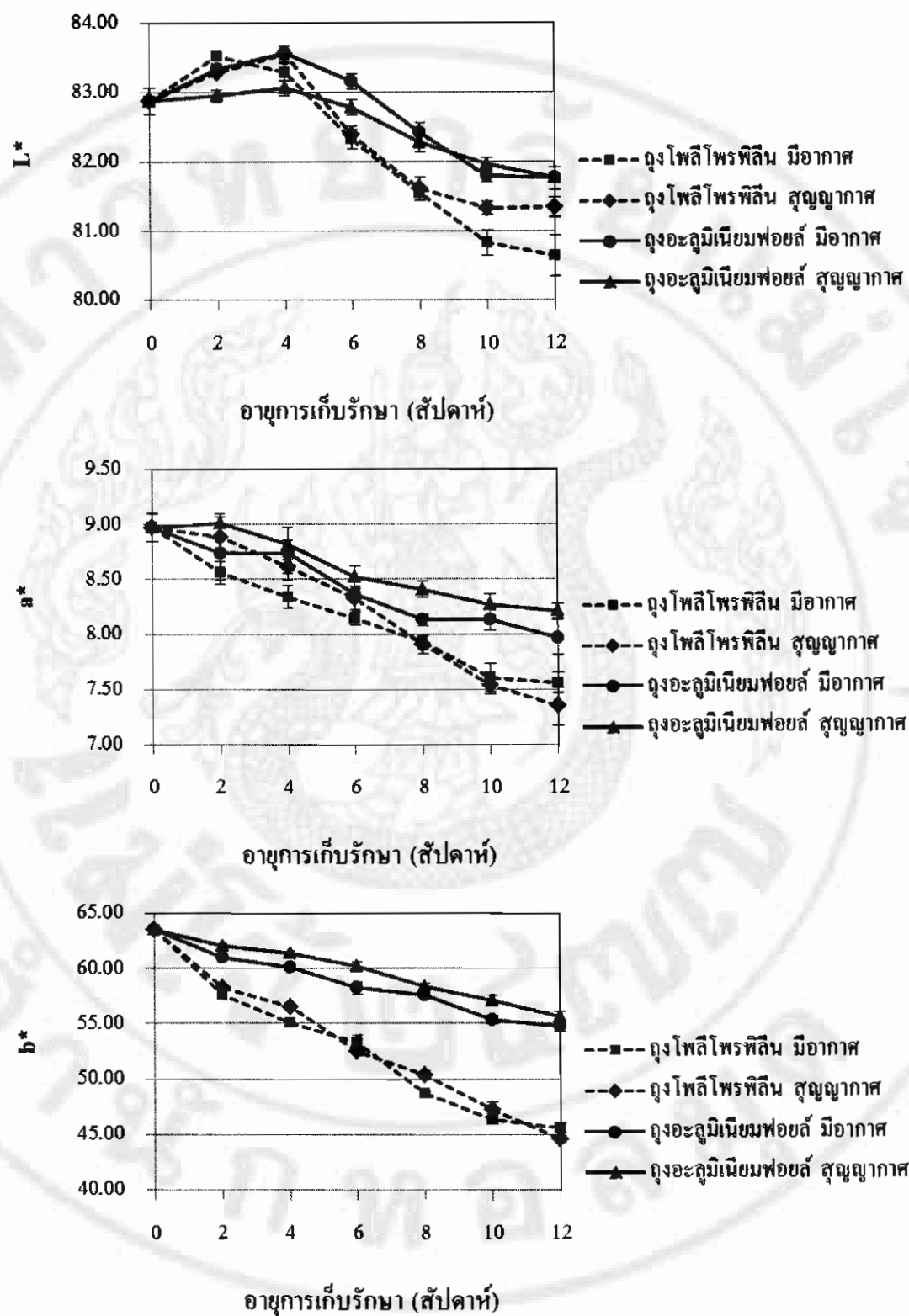
ภาพ 39 ปริมาณความชื้นของฟักทองผงในระหว่างการเก็บรักษา



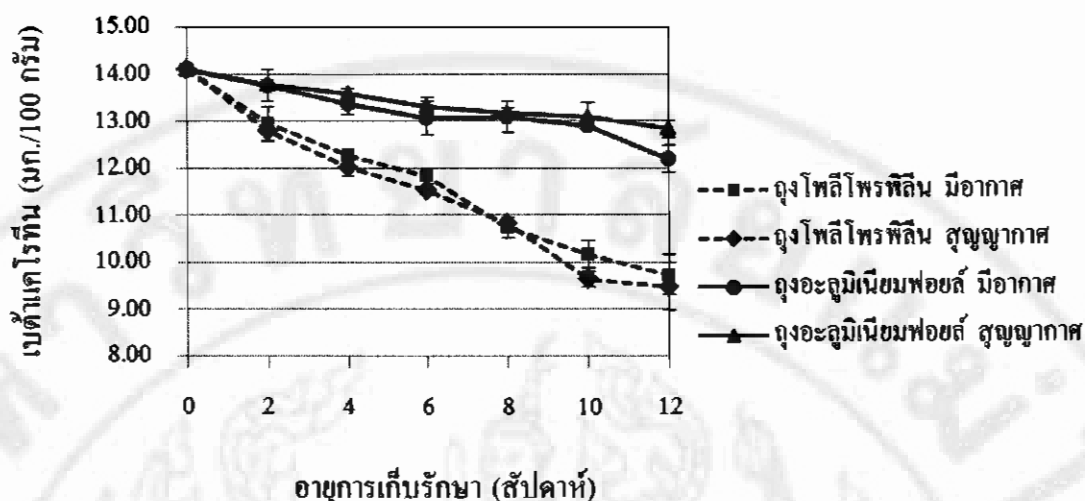
ภาพ 40 ค่ากิจกรรมของน้ำของฟักทองผงในระหว่างการเก็บรักษา

ด้านการเปลี่ยนแปลงค่าสีของฟักทองผง (ภาพ 41) พบว่าทุกตัวอย่างมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ในช่วง 2-4 สัปดาห์แรกจะมีค่า  $L^*$  เพิ่มขึ้น ทำให้ฟักทองผงมีสีซีดลง แต่เมื่อทำการเก็บรักษาต่อ ฟักทองผงจะเริ่มมีสีคล้ำขึ้น คือ มีค่า  $L^*$  ลดลง โดยฟักทองผงที่เก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ บรรจุในสภาวะที่มีอากาศและสุญญากาศ จะมีการลดลงของค่า  $L^*$  จาก 82.87 เป็น 81.80 และ 81.96 ตามลำดับ ขณะที่ฟักทองผงที่เก็บรักษาในถุงโพธิ์โพธิ์ บรรจุในสภาวะที่มีอากาศและสุญญากาศ จะมีการลดลงของค่า  $L^*$  จาก 82.87 เป็น 80.83 และ 81.33 ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่า  $a^*$  และ  $b^*$  ที่มีแนวโน้มลดลงตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา โดยตัวอย่างที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีน้อยกว่าตัวอย่างที่บรรจุในถุงโพธิ์โพธิ์

จิรภา และคณะ (2547) กล่าวว่า สีตามธรรมชาติของฟักทองผงเป็นสารสีแคโรทีนอยด์ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษา เนื่องจาก โครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์มีพันธะคู่มากจึงไม่มีความคงตัวและสลายตัวได้ง่ายในสภาวะที่มีความร้อน แสง และออกซิเจน (นิธิยา, 2543) ด้วยเหตุนี้ฟักทองผงที่บรรจุในถุงโพธิ์โพธิ์จึงมีสีที่ซีดกว่าฟักทองผงที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ เนื่องจากถุงอะลูมิเนียมฟอยล์มีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนและการส่องผ่านของแสงได้ดีกว่าถุงโพธิ์โพธิ์ (Brown, 1992) สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน (ภาพ 42) ที่พบว่า ฟักทองผงมีปริมาณเบต้าแคโรทีนลดลงตามอายุการเก็บรักษา โดยการเก็บรักษาฟักทองผงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และบรรจุในสภาวะสุญญากาศ สามารถป้องกันการสลายตัวของเบต้าแคโรทีนได้ดีที่สุด ทำให้ฟักทองผงยังคงความเป็นสีเหลืองตามธรรมชาติไว้ได้



ภาพ 41 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของฟักทองผงในระหว่างการเก็บรักษา

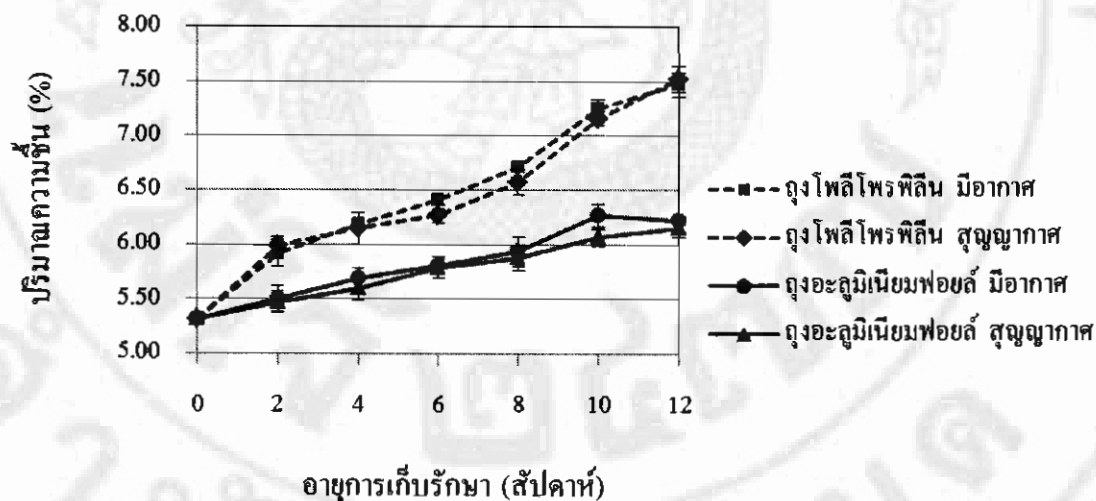


ภาพ 42 ปริมาณเบต้าแคโรทีนของฟักทองผงในระหว่างการเก็บรักษา

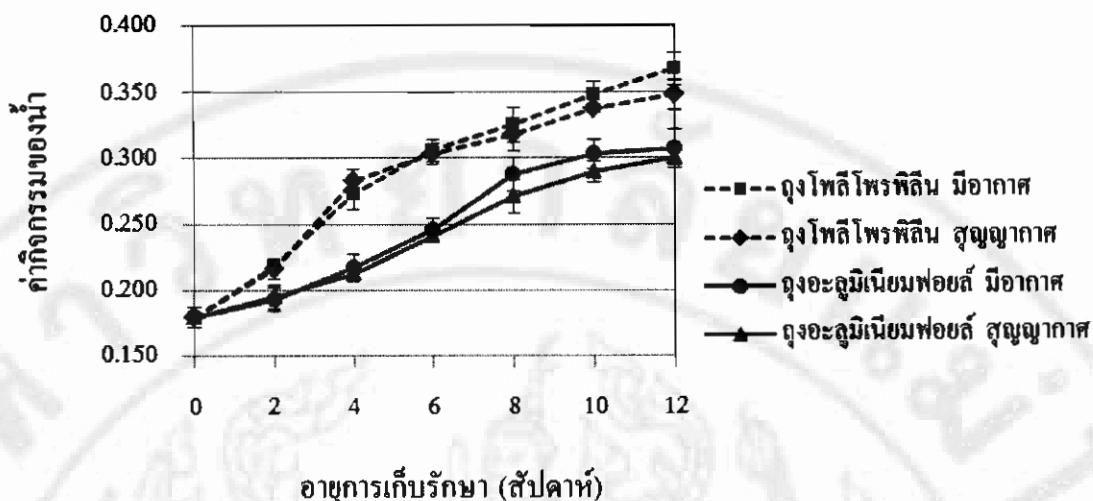
จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่า ที่อายุการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ ฟักทองผง ยังคงมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 10 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 1376/2550) เรื่องแป้งฟักทอง ที่กำหนดไว้ว่าแป้งฟักทองต้องมีความชื้นไม่เกิน 10 % โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังมีค่ากิจกรรมของน้ำต่ำกว่า 0.70 ซึ่งคณะกรรมการวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2549) รายงานว่า อาหารแห้งจะมีความปลอดภัยจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาได้นั้น ควรมีค่ากิจกรรมของน้ำต่ำกว่า 0.70 ส่วนการศึกษาคุณภาพทางจุลชีววิทยาของฟักทองผงที่ทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่ามีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $0.61-1.85 \times 10^5$  โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และมีปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 1376/2550) เรื่องแป้งฟักทอง ที่กำหนดไว้ว่าปริมาณยีสต์และราในแป้งฟักทองต้องไม่เกิน 500 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการพิจารณาคุณภาพในด้านสีและปริมาณเบต้าแคโรทีนจะเห็นได้ว่า การเก็บรักษาฟักทองผงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และบรรจุในสภาวะสุญญากาศสามารถลดการเปลี่ยนแปลงค่าสีและลดการสลายตัวของเบต้าแคโรทีนได้ดีที่สุด

### 3.2. การศึกษาอายุการเก็บรักษาของเผือกผง

ภาพ 43 และ 44 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำของเผือกผงในระหว่างการเก็บรักษานาน 12 สัปดาห์ พบว่าเผือกผงมีปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำเพิ่มขึ้นจาก 5.32 เป็น 6.16-7.52 และ 0.180 เป็น 0.300-0.368 ตามลำดับ โดยการเก็บรักษาเผือกผงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์จะช่วยป้องกันการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำได้ดีกว่าการเก็บรักษาในถุงโพลีโพรพิลีน เนื่องจากถุงโพลีโพรพิลีนมีอัตราการซึมผ่านของความชื้นสูงกว่าถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ (ปุ่น และสมพร, 2540) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ณัฐธิดา (2554) ที่พบว่า การเก็บรักษาใบข้าวอ่อนอบแห้งในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์มีประสิทธิภาพในการป้องกันความชื้นและลดการสูญเสียสมบัติการต้านออกซิเดชัน สารประกอบโพลีฟีนอล และคลอโรฟิลล์ได้ดีกว่าการเก็บรักษาในถุงโพลีโพรพิลีน โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ใบข้าวอ่อนอบแห้งจะมีปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Airani (2007) ที่พบว่า เมื่อทำการเก็บรักษาแป้งเมล็ดขนุนไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน จะทำให้แป้งเมล็ดขนุนมีปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำเพิ่มขึ้น



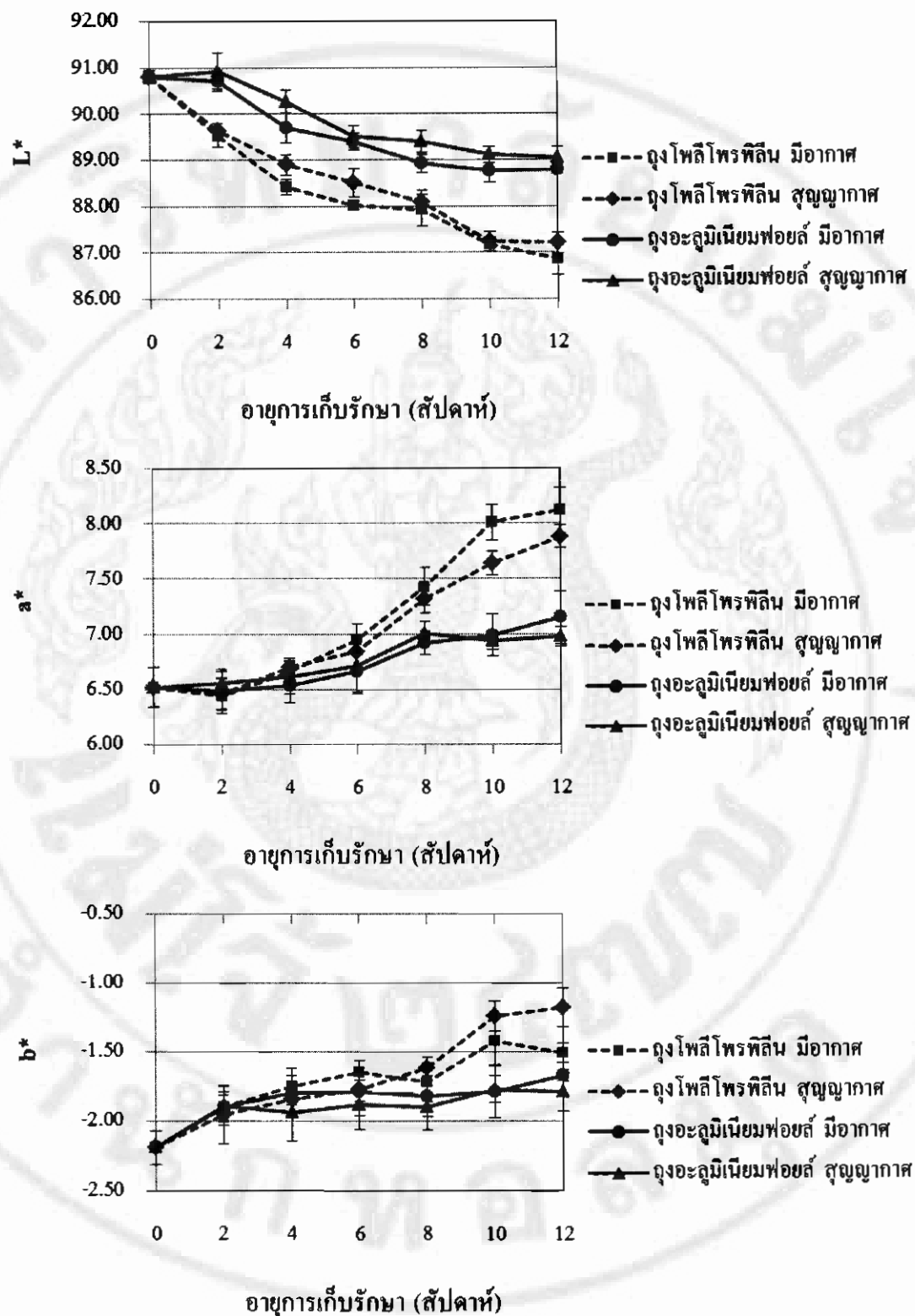
ภาพ 43 ปริมาณความชื้นของเผือกผงในระหว่างการเก็บรักษา



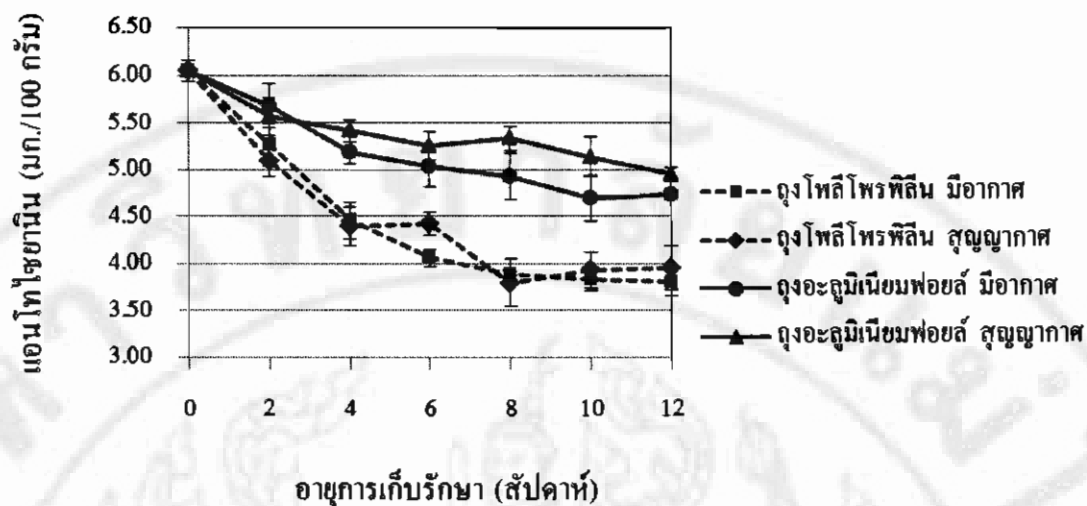
ภาพ 44 ค่ากิจกรรมของน้ำของเห็ดอกผงในระหว่างการเก็บรักษา

ภาพ 45 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเห็ดอกผง พบว่าค่า  $L^*$  มีแนวโน้มลดลง ขณะที่ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยตัวอย่างที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมพอยล์จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีน้อยกว่าตัวอย่างที่บรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน นิธิยา (2549) รายงานว่า ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้อบแห้งที่บรรจุในภาชนะในระหว่างการเก็บรักษาจะเกิดโฟโตออกซิเดชัน (photooxidation) ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการเก็บรักษาเห็ดอกผงในถุงโพลีโพรพิลีนจึงพบการเปลี่ยนแปลงของค่าสีและการลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมากกว่าตัวอย่างที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมพอยล์ (ภาพ 46) ซึ่งถุงอะลูมิเนียมพอยล์จะมีสมบัติในการป้องกันความชื้น แสง และออกซิเจนได้ดี (ปริญญา, 2542) ขณะที่สภาวะในการบรรจุจะมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของเห็ดอกผง โดยพบว่าการบรรจุในสภาวะสุญญากาศจะช่วยให้เห็ดอกผงมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ ค่าสี และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดน้อยกว่าการบรรจุในสภาวะที่มีอากาศ เนื่องจากการบรรจุในสภาวะสุญญากาศจะเป็นการช่วยกำจัดก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ จึงทำให้แอนโทไซยานินเกิดการสลายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยลง (ปริญญา, 2542)





ภาพ 45 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของเหือกผงในระหว่างการเก็บรักษา

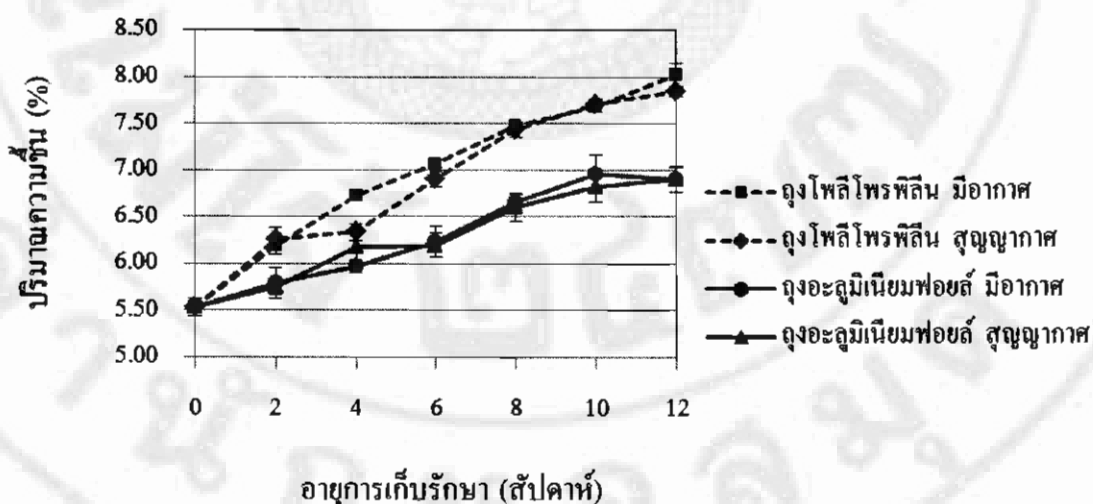


ภาพ 46 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนทั้งหมดของเห็ดอกผงในระหว่างการเก็บรักษา

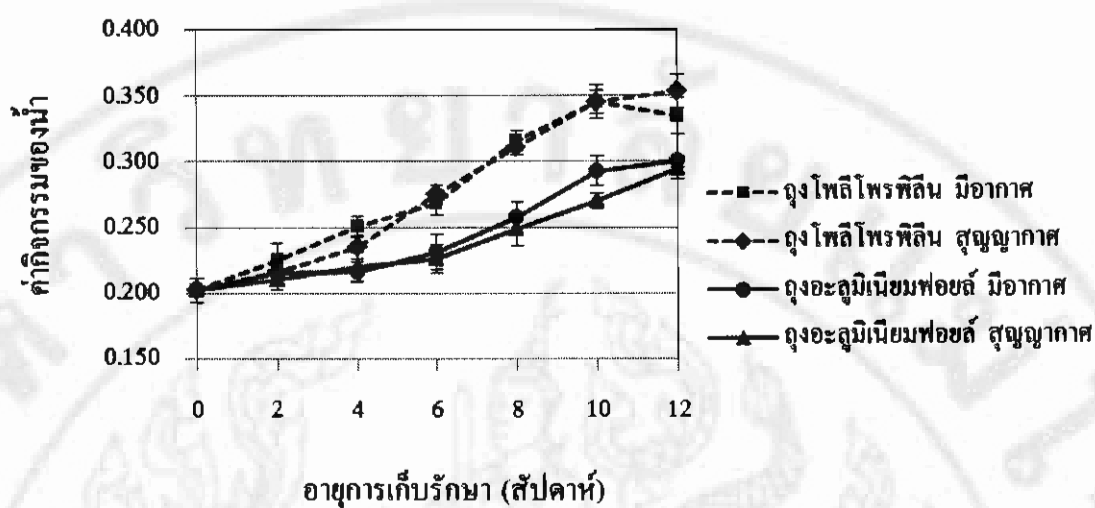
จากการศึกษาคุณภาพทางจุลชีววิทยาของเห็ดอกผงที่ทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $6.29-8.73 \times 10^4$  โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และมีปริมาณซีสต์และราน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม โดยชนิดของบรรจุภัณฑ์และสถานะในการบรรจุไม่มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณซีสต์และราของเห็ดอกผง

### 3.3. การศึกษาอายุการเก็บรักษาของถั่วแดงผง

ถั่วแดงผงมีปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำก่อนทำการเก็บรักษา (สัปดาห์ที่ 0) เท่ากับ 5.54 % และ 0.203 ตามลำดับ โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จะทำให้ถั่วแดงผงมีปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพ 47 และ 48 สอดคล้องกับผลการศึกษาในงานวิจัยอื่นๆ ก่อนหน้านี้ที่พบว่า กาแฟคั่วบด แอปเปิ้ล ใบกะหรี (curry leaves) ใบมะรุบ (drumstick leaves) และแครอทอบแห้ง จะมีปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำเพิ่มขึ้นตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา (พัชรเพ็ญ, 2549; Lavelli and Vantaggi, 2009; Singh and Sagar, 2010; Singh et al., 2003) จากการศึกษาอิทธิพลของชนิดบรรจุภัณฑ์และสภาวะที่ใช้ในการบรรจุพบว่า การเก็บรักษาถั่วแดงผงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์จะช่วยป้องกันการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำได้ดีกว่าการเก็บรักษาในถุงโพลีโพรพิลีน ขณะที่สภาวะในการบรรจุจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำของถั่วแดงผงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยในสัปดาห์ที่ 12 ถั่วแดงผงที่บรรจุในถุงโพลีโพรพิลีนจะมีปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำอยู่ในช่วง 7.85-8.03 % และ 0.335-0.353 ตามลำดับ ส่วนถั่วแดงผงที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์จะมีปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำอยู่ในช่วง 6.90-6.91 % และ 0.295-0.300 ตามลำดับ

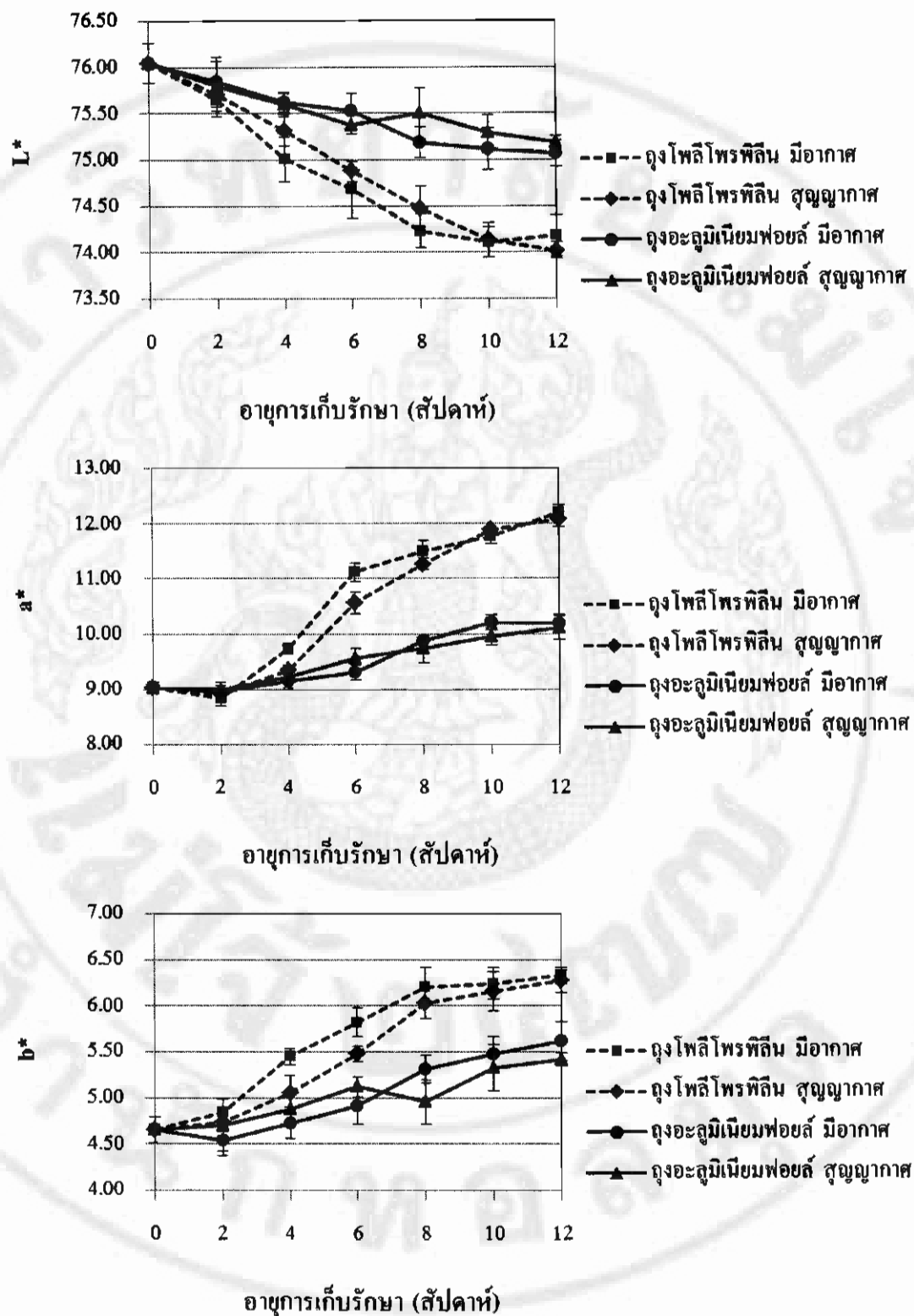


ภาพ 47 ปริมาณความชื้นของถั่วแดงผงในระหว่างการเก็บรักษา



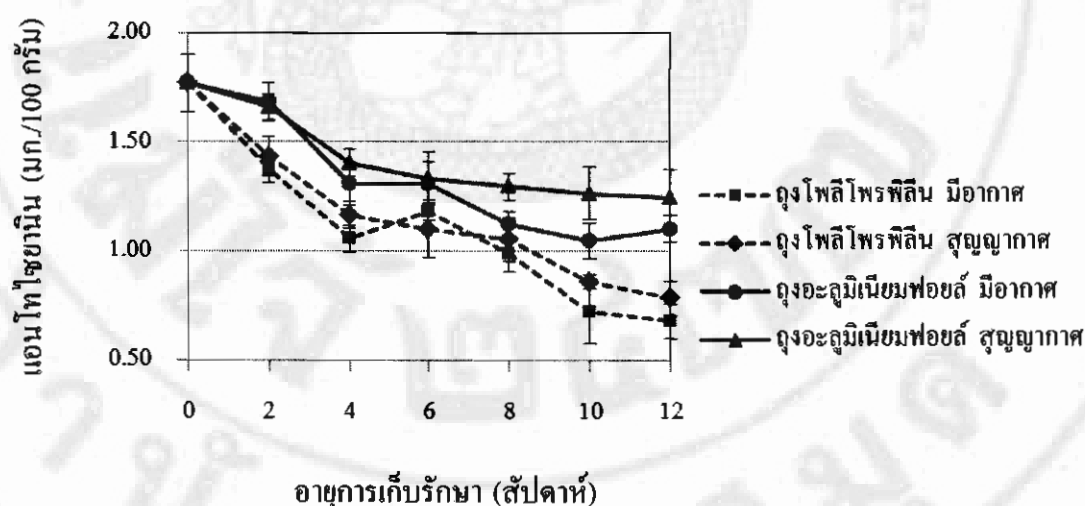
ภาพ 48 ค่ากิจกรรมของน้ำของถั่วแดงผงในระหว่างการเก็บรักษา

ถั่วแดงผงมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงค่าสีตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เช่นเดียวกับเผือกผง คือค่า  $L^*$  จะมีแนวโน้มลดลง ขณะที่ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จึงทำให้ถั่วแดงผงมีสีที่คล้ำขึ้นเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลานาน เนื่องจากถั่วแดงผงที่เก็บรักษายังคงมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีจากส่วนประกอบในถั่วแดงผง ทำให้สีของถั่วแดงผงเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา (ปิ่นทรีญาร, 2549) โดยจากการทดลองพบว่า การใช้ผงอะลูมิเนียมฟอยล์สามารถลดการเปลี่ยนแปลงค่าสีของถั่วแดงผงได้ดีกว่าการใช้ผงโพลิพรพิลีน (ภาพ 49)



ภาพ 49 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของถั่วแดงผงในระหว่างการเก็บรักษา

จากภาพ 50 แสดงให้เห็นว่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของถั่วแดงผงมีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บรักษา ซึ่งอาจเป็นผลของการสลายตัวเนื่องจากความร้อน แสง และก๊าซออกซิเจน โดยตัวอย่างที่บรรจุในถุงโพลีโพรพิลีนมีการลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดมากกว่าตัวอย่างที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ เนื่องจากแอนโทไซยานินเป็นสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติที่มีความคงตัวน้อยต่อสภาวะที่มีก๊าซออกซิเจน แสง และความร้อนสูง (Pokorny et al., 2001) ด้วยเหตุนี้ การเก็บรักษาถั่วแดงผงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และ ปิดผนึกในสภาวะสุญญากาศ จึงสามารถรักษาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของถั่วแดงผงได้ดีที่สุด โดยเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ถั่วแดงผงจะมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดลดลงจาก 1.77 มก./100 กรัม เป็น 1.25 มก./100 กรัม นอกจากนี้ การลดลงของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดยังมีความสัมพันธ์กับค่ากิจกรรมของน้ำที่เพิ่มขึ้น (ภาพ 48) โดย Lavelli and Vantaggi (2009) รายงานว่าอาหารแห้งที่มีปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการลดลงของสารต้านออกซิเดชัน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Maisuthisakul and Pongsawatmanit (2004) และ Lavelli and Vantaggi (2009) ที่พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำอิสระในระหว่างการเก็บรักษาใบกระโดนบก (*Careya sphaerica* Roxb.) และแอปเปิลอบแห้ง จะทำให้สารที่มีสมบัติต้านออกซิเดชันเกิดการสลายตัวมากขึ้น



ภาพ 50 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของถั่วแดงผงในระหว่างการเก็บรักษา

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของตัวอย่างถั่วแดงผงหลังทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าถั่วแดงผงมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $1.95-4.66 \times 10^4$  โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และไม่มีการตรวจพบยีสต์และรา

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### สรุป

1. สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตฟักทองผง คือ การแช่ฟักทองในสารละลายกรดซิตริก 0.10 % 40 นาที นำไปสับละเอียด อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °ซ จนมีความชื้น 6-8 % แล้วบดให้เป็นผง โดยฟักทองผงที่ได้จะมีค่า L\*, b\* ปริมาณเบต้าแคโรทีน สมบัติด้านความหนืด และสมบัติทางน้ำที่สูงสุด
2. สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเผือกผง คือ การแช่เผือกในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.15 % 60 นาที นำไปสับละเอียด อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °ซ จนมีความชื้น 4-6 % แล้วบดให้เป็นผง โดยเผือกผงที่ได้จะมีค่า L\* ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด และสมบัติทางน้ำที่สูงสุด
3. สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตถั่วแดงผง คือ การแช่ถั่วแดงในสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต 0.1 % 12 ชั่วโมง นำไปต้มสุกในน้ำเดือด 18 นาที สับละเอียด และอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °ซ จนมีความชื้น 4-6 % แล้วบดให้เป็นผง โดยถั่วแดงผงที่ได้จะมีค่า L\* ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด สมบัติด้านความหนืด และสมบัติทางน้ำที่สูงสุด
4. การเพิ่มระดับการทดแทนแป้งสาลีด้วยฟักทอง เผือก และถั่วแดงผงในผลิตภัณฑ์ขนมปังและเค้กเนยจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น มีค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณจำเพาะลดลง โดยขนมปังและเค้กเนยที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยฟักทอง เผือก และถั่วแดงผงที่ระดับ 20 และ 30 % มีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง ซึ่งไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ( $p>0.05$ )
5. ไล้ขนมที่ทำจากฟักทองและเผือกผงที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช มีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากไล้ขนมที่ทำจากฟักทองและเผือกสด ( $p>0.05$ ) ขณะที่ไล้ขนมที่ทำจากถั่วแดงผงที่ยังไม่ผ่านการร่อนจะคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด ( $p\leq 0.05$ )
6. การเก็บรักษาฟักทอง เผือก และถั่วแดงผงไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์และปิดผนึกในสภาวะสุญญากาศ จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี ค่ากิจกรรมของน้ำ ปริมาณความชื้น เบต้าแคโรทีน และแอนโทไซยานินทั้งหมดน้อยที่สุด

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาผลของความแก่อ่อนของฟักทองและเผือกต่อคุณภาพและปริมาณผลผลิตของฟักทองและเผือกผง
2. ควรมีการศึกษาวิธีการผลิตฟักทอง เผือก และถั่วแดงผง โดยใช้วิธีการทำแห้งแบบอื่นๆ เช่น การใช้เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง เครื่องไมโครเวฟแบบสูญญากาศ หรือเครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรด เป็นต้น
3. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่มีการนำฟักทอง เผือก และถั่วแดงผงไปใช้เป็นส่วนประกอบ
4. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำฟักทอง เผือก และถั่วแดงผง ไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่นๆ เช่น ขนมไทย เส้นบะหมี่ หรือขนมขบเคี้ยว เป็นต้น



## บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2548. **ผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลี: ตลาดในประเทศและตลาดส่งออก**  
ขยายตัว. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [library.dip.go.th/multim5/News/N01853.doc](http://library.dip.go.th/multim5/News/N01853.doc)  
(28 สิงหาคม 2555).
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. **เทคโนโลยีของแป้ง**. พิมพ์ครั้งที่ 4.  
กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 303 น.
- กุหลาบ สิทธิสวนจิกร. 2551. **อิทธิพลของพันธุ์ข้าว วิธีการพรีเจล และการทำแห้งต่อคุณสมบัติของ**  
**แป้งพรีเจลที่ไนซ์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 201 น.
- เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์. 2551. **พอลิฟีนอลออกซิเดส และการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักและผลไม้**.  
**วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 36(2): 97-105.**
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2549ก. **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการหายใจของพืช**. นครปฐม: ภาควิชาพืช  
สวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กำแพงแสน. 453น.
- \_\_\_\_\_. 2549ข. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. พิมพ์ครั้งที่ 6.  
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 396น.
- จานุลักษณ์ ขนบดี, มุกดา สุขสวัสดิ์, จินันทนา จอมดวง, อัญชลี สงวนพงษ์ และ พรนิภา  
เลิศศิลป์มงคล. 2549. **ฟักทอง: การผลิตเมล็ดพันธุ์และการใช้ประโยชน์**.  
กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์. 120 น.
- จรรย์ พานิชกุล. 2537. **แป้ง (starch) การเปลี่ยนแปลงระหว่างการทำให้แป้งสุก**. **จารย์**  
11: 22-24.
- จิตนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล. 2546. **เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น = Basic baking science**  
**and technology**. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการ  
อาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 224 น.
- จิตนา แจ่มเมฆ, สายสนม ประดิษฐดวง, ทนง ภัทรขันธ์, ปรีชา วิบูลย์เศรษฐ์, เนื่อทอง วนานุวัธ,  
มาลัยวรรณ อารยะสกุล, ศิวพร ศิวเวช, สมจิต สุรพัฒน์, สุกฤษ์ขึ้น ศรีงาม และ อรอนงค์  
นัยวิกุล. 2546. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร**. กรุงเทพฯ:  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 528 น.

- จิรภา พงษ์จินดา, สมชาย จอมดวง, ทิพวรรณ มานนท์, รัตนพล พนมวัน ณ อยุธยา, อังคณา นวบุญเรือง, ศิริพร แก้วแดง, อุบลรัตน์ พรหมพิง, รุ่งทิวา กองคำ, ชีรวัฒน์ เทพใจกาศ และ ณัฐธณันท์ ศรีสุวอ. 2547. การผลิตผักทองผงและการใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร. ลำปาง: สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. 135 น.
- เฉลิมพล ถนอมวงศ์. 2547. การพัฒนาไส้ขมจากเนยถั่วลิสงผสมงาขาว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 84 น.
- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. ธัญชาติและพืชหัว. กรุงเทพฯ: คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 235 น.
- ณัชนก นุกิจ. 2549. การพัฒนาแบตเตอรี่เค็กดพลังงานและลดน้ำตาลจากแป้งข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 187 น.
- ทศพร แสงจรัส. 2531. ผักฤดูร้อน (summer vegetable). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 249 น.
- ไทยเอสเอ็มอีแฟรนไชส์. 2554. ข้าวเหนียวปิ้ง. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.thaisme.franchise.com/?p=4527#more-4527> (10 ตุลาคม 2554).
- ธนศักดิ์ ตั้งทองจิตร. 2551. สูตรอาหารว่างไทย-จีน. กรุงเทพฯ: ไทยควอลิตี้บุ๊กส์ (2006). 160 น.
- นมเนยเบเกอรี่. 2555. ไส้ผักทองกวอน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http://sangwun.blogspot.com/2011/09/blog-post\\_6354.html](http://sangwun.blogspot.com/2011/09/blog-post_6354.html) (10 ตุลาคม 2554).
- นิธิยา รัตนานนท์. 2543. ผลของกระบวนการแปรรูปต่ออาหารและสารอาหาร. เชียงใหม่: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 119 น.
- ปริญญา ขำสาธร. 2542. การบรรจุภัณฑ์กาแฟ ชา และเครื่องเทศ. การบรรจุภัณฑ์ 7(4): 4-7.
- ปิ่นทรีญาร์ โรจนพรทิพย์. 2549. การใช้แป้งเผือกสำหรับขนมไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 124 น.
- ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ. 2541. บรรจุภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพฯ: แพคเมทส์. 358 น.
- พัชรเพ็ญ เพ็ญจรัส. 2549. ผลของบรรจุภัณฑ์ที่มีต่อคุณภาพของกาแฟคั่วบดระหว่างการเก็บรักษา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 121 น.
- ภรณ์ ลิ้มปิสุต. 2540. การใช้แป้งถั่วเขียวผสมแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ. รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 36 น.

- ภัทรภณ ภู่อึ้ง. 2552. สมบัติของแป้งข้าวสาลีและคุณภาพของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสาลีทดแทนแป้งสาลีบางส่วน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 243 น.
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. 2549. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 528 น.
- มาลินี พิทักษ์, สมศักดิ์ บุญเรือง และ รังสิมันต์ สัมฤทธิ์. 2541. การปลูกเผือก. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. 27 น.
- มูลนิธิโครงการหลวง. 2546. คู่มือการปลูกผักบนพื้นที่สูง. เชียงใหม่: มูลนิธิโครงการหลวง.
- รองรัตน์ รัตนธรรมวัฒน์. 2546. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งเผือก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 186 น.
- รุจิรา ปรีชา, สุนันทา วงศ์ปิยชน และ งามชื่น คงเสรี. 2543. การใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมเค้กและคุกกี้. น. 48-85. ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2543. ปทุมธานี: กรมวิชาการเกษตร สถาบันวิจัยข้าว ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี.
- โรงเรียนสอนการผลิตอาหารและขนมมาตรฐาน. ม.ป.ป. ก. ตำราทำขนมจากแป้งข้าวสาลี เล่ม 3. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์กรุงเทพ. 212 น.
- \_\_\_\_\_. ม.ป.ป. ข. ตำราทำขนมจากแป้งข้าวสาลี เล่ม 4. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์กรุงเทพ. 163 น.
- วรรณดา ดุลยธัญ. 2549. เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 166 น.
- วิไล รังสาดทอง. 2546. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด. 500 น.
- ศศิธร พลแก้ว และ อุไรวรรณ โหยหวล. 2545. การใช้แป้งพรีเจลาติไนซ์เมล็ดขนุนทดแทนแป้งสาลีในคุกกี้เนย. รายงานการวิจัย. เพชรบุรี: สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาเขต. 85 น.
- ศศิวิมล บุญยัง. 2552. สมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้งสาธูและการใช้แป้งสาธูทดแทนแป้งสาลีในคุกกี้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 162 น.
- สมชาย ประภาวัต, เย็นใจ ฐิตะฐาน, ดวงจันทร์ เสงส์สวัสดิ์ และ พะยอม อัดถวิบูลย์กุล. 2541. ศึกษาการทำคุกกี้จากถั่วเขียวผิวดำ เปรียบเทียบกับถั่วเขียวและถั่วมะแฮะ. วิทยาศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ 32(3): 319-328.
- สมบัติ ศรีขวงค์. 2526. ถั่วแดง. เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 44 น.

สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์. 2555. สถิติการนำเข้าแป้งสาลีของประเทศไทย.

[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www2.ops3.moc.go.th> (9 พฤษภาคม 2555).

สำนักพิมพ์แสงแดด. 2548. *ลูกก็และขนมปัง*. กรุงเทพฯ: แสงแดด. 167 น.

สำนักโภชนาการ. 2535. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทยส่วนที่กินได้ 100 กรัม.

กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก. 25 น.

สินธนา ถินนารักษ์. 2547. การแปรรูปผักและผลไม้. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 171น.

สิริพันธ์ จุลกรังคะ. 2542. *โภชนศาสตร์เบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 282 น.

สุชาดา ไม้สนธิ์. 2546. การใช้ประโยชน์จากแป้งกล้วยน้ำว้าในผลิตภัณฑ์ขนมอบ. วิทยานิพนธ์

ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 110 น.

สุรยา พิมพ์พิไล. 2549. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีขนมอบ. เชียงใหม่: ภาควิชา

เทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 178 น.

สุรัตน์ นักร้อง. 2548. การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์ถั่วแดงหลวง. *แม่โจ้ปริทัศน์* 6(4):

14-18.

สุลาภลักษณ์ ขาวผ่อง. 2549. ผลของส่วนผสมและสภาวะการผลิตโดยกระบวนการเอกซตรูชันต่อ

คุณภาพของอาหารเข้าธัญชาติเสริมฟักทอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 105 น.

อมรรัตน์ จงสวัสดิ์วรกุล และ ถัดดา เหมาะสุวรรณ. 2545. Evidence-based Maillard reaction:

focusing on parenteral nutrition. *โภชนบำบัด* 13(1): 3-11.

อริสรา รอดม้วย และ อรุณา จิตรวโรภาส. 2550. การผลิตลูกก็โดยใช้แป้งข้าวหอมนิลทดแทนแป้ง

สาลีบางส่วน. *เทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม* 3(1): 37-43.

อี แอล เอส ฟู้ดคลับ. 2535. *ขนมปัง*. กรุงเทพฯ: ยูไนเต็ทบุ๊กส์. 191 น.

AACC. 2000. **Approved Methods of The American Association of Cereal Chemists**. 10<sup>th</sup> ed.

St. Paul, Minnesota: The American Association of Cereal Chemists.

Aboubakar, Y. N. Njintang, J. Scher and C. M. F. Mbofung. 2008. Physicochemical, thermal

properties and microstructure of six varieties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott)

flours and starches. **Journal of Food Engineering** 86: 294-305.

- Aguilera, Y., R. M. Esteban, V. Benitez, E. Molla and M. A. Martin-Cabrejas. 2009. Starch, functional properties, and microstructural characteristics in chickpea and lentil as affected by thermal processing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 57(22): 10682-10688.
- Ahmad, F. B. and P. A. Williams. 1998. Rheological properties of sago starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46(10): 4060-4065.
- Ahmed, M., M. S. Akter and J. B. Eun. 2010. Peeling, drying temperatures, and sulphite-treatment affect physicochemical properties and nutritional quality of sweet potato flour. **Food Chemistry** 12: 112-118.
- Ait Mohamed, L., C. S. Ethmane Kane, M. Kouhilam, A. Jamali, M. Mahrouz and N. Kechaou. 2008. Thin layer modelling of Gelidium sesquipedale solar drying process. **Energy Conversion and Management** 49(5): 940-946.
- Amiot, J. M., A. Fleuriet, V. Cheynier and J. Nicolas. 1997. Phenolic compounds and oxidative mechanisms in fruit and vegetables. pp. 51-86. **In Phytochemistry of Fruit and Vegetables**. Oxford: Clarendon Press.
- Anderson, J. W. 1968. Extraction of enzymes and subcellular organelles from plant tissue. **Phytochemistry** 7: 1973.
- AOAC. 2005. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18<sup>th</sup> ed. Gaithersburg, Maryland: The Association of Analytical Chemists. 2,200 p.
- Arroyo-Lopez, F. N., J. Bautista-Gallego, M.C. Duran-Quintana and A. Garrido-Fernandez. 2008. Effects of ascorbic acid, sodium metabisulfite and sodium chloride on freshness retention and microbial growth during the storage of Manzanilla-Alorena cracked table olives. **LWT-Food Science and Technology** 41(4): 551-560.
- Artes, F., M. Castaner and M. I. Gil. 1998. Review: Enzymatic browning in minimally processed fruit and vegetables. **Food Science and Technology International** 4(6): 377-389.
- Audu, S. S. and M. O. Aremu. 2011. Effect of Processing on Chemical Composition of Red Kidney Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Flour. **Pakistan Journal of Nutrition** 10(11): 1069-1075.

- Baik, B. K. and Z. Czuchajowska. 1999. Paste particle and bean size as related to sweetened azuki paste quality. **Cereal Chemistry** 76(1): 122-128.
- Bello-Perez, L. A., E. Agama-Acevedo, L. Sanchez-Hernandez and O. Paredes-Lopez. 1999. Isolation and partial characterization of banana starches. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 47(3): 854-857.
- Bendich A. 1989. Carotenoids and the Immune Response. **Journal of Nutritional** 119: 112-115.
- Bennion, E. B. and G. S. T. Bamford. 1973. **The Technology of Cake Making**. 5<sup>th</sup> ed. London: Blackie Academic & Professional. 390 p.
- Biswas, A. K., J. Sahoo and M. K. Chatli. 2011. A simple UV-Vis spectrophotometric method for determination of  $\beta$ -carotene content in raw carrot, sweet potato and supplemented chicken meat nuggets. **LWT-Food Science and Technology** 44(8): 1809-1813.
- Blaszczak, W., R. Doblado, J. Frias, C. Vidal-Valverde, J. Sadowska and J. Fornal. 2007. Microstructural and biochemical changes in raw and germinated cowpea seeds upon high-pressure treatment. **Food Research International** 40(3): 415-423.
- Blessing, A. C., U. M. Ifeanyi and O. B. Chijioke. 2011. Nutrition Evaluation of Some Nigerian Pumpkins (*Cucurbita* spp.). **Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology** 5(2): 64-71.
- Bolin, H. R. and C. C. Huxsoll. 1989. Storage stability of minimally processed fruit. **Journal of Food Processing and Preservation** 13: 281-292.
- Brown, W.E. 1992. **Plastic in Food Packaging**. New York: Marcel Dekker. 539 p.
- Cambie, R. C. and L. R. Ferguson. 2003. Potential functional foods in the traditional Maori diet. **Mutation Research** 523-524: 109-117.
- Castenmiller, J. J. M. and C. E. West. 1998. Bioavailability and bioconversion of carotenoids. **Annual Review of Nutrition** 18: 19-38.
- Chan, H. T., T. H. C. Kao-Jao and T. O. M. Nakayama. 1977. Anthocyanin composition of taro. **Journal of Food Science** 42: 19-21.
- Charlesa, A.L., H. M. Kaob and T. C. Huang. 2003. Physical investigations of surface membrane-water relationship of intact and gelatinized wheat-starch systems. **Carbohydrate Research** 338: 2403-2408.

- Chen, H., G. L. Rubenthaler, H. K. leung and J. D. Baranowski. 1988. Chemical, physical, and baking properties of apple fiber compared with wheat oat bran. **Cereal Chemistry** 65(3): 244-247.
- Choi, M. H., G. H. Kim and H. S. Lee. 2002. Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. **Food Research International** 35: 753-759.
- Choung, M. G., B. R. Choi, Y. N. An, Y. H. Chu and Y. S. Cho. 2003. Anthocyanin profile of Korean cultivated kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 51(24): 7040-7043.
- Chung H. J., Q. Liu, K. P. Pauls, M. Z. Fan and R. Yada. 2008. In vitro starch digestibility, expected glycemic index and some physicochemical properties of starch and flour from common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in Canada. **Food Research International** 41(9): 869-875.
- del Valle, J. M., T. J. Cottrell, R. L. Jackman and D. W. Stanley. 1992. Hard-to-cook defect in black beans: the contribution of proteins to salt soaking effects, **Food Research International** 25(6): 429-436.
- Demirel, D. and M. Turhan. 2003. Air-drying behavior of Dwarf Cavendish and Gros Michel banana slices. **Journal of Food Engineering** 59: 1-11.
- Deshpande, D. G. and M. Cheryan. 1986. Microstructure and water up take of phaseolus and winged beans. **Journal of Food Science** 51: 1218-1223.
- Deshpande, S. S., P. D. Rangneker, S. K. Sathe and D. K. Salunkhe. 1983. Function Properties of Wheat-Beans Composite Flours. **Journal of Food Science** 48: 1659-1662.
- Desmorieux, H. and N. Decaen. 2005. Convective drying of spirulina in thin layer. **Journal of Food Engineering** 66(4): 497-503.
- Di Scala, K. and G. Crapiste. 2007. Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper. **LWT-Food Science and Technology** 41(5): 789-795.
- Dissa, A. O., H. Desmorieux, P. W. Savadogo, B. G. Segda and J. Kouliadiati. 2010. Shrinkage, porosity and density behaviour during convective drying of spirulina. **Journal of Food Engineering** 97(3): 410-418.

- Duangmal, K. and R. K. Owusu Apenten. 1999. A comparative study of polyphenoloxidases from taro (*Colocasia esculenta*) and potato (*Solanum tuberosum* var. Romano). **Food Chemistry** 64: 351-359.
- Ekvall, J., R. Stegmark and M. Nyman. 2007. Optimization of extraction methods for determination of the raffinose family oligosaccharides in leguminous vine peas (*Pisum sativum* L.) and effects of blanching. **Journal of Food Composition and Analysis** 20: 13-18.
- Erbay, Z. and F. Icier. 2009. Optimization of hot air drying of olive leaves using response surface methodology. **Journal of Food Engineering** 91(4): 533-541.
- Eskin, N. A. M., H. M. Henderson. and R. J. Townsend. 1971. **Biochemistry of Foods**. New York: Academic Press. 240 p.
- Fayle, S. E. and J. A. Gerrard. 2002. **Consequences of the maillard reaction in food**. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry. 125 p.
- Fellows, P. 2000. **Food Processing Technology**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: CRC Press. 575 p.
- Femenia, A., P. Garcia-Pascual, S. Simal and C. Rossello. 2003. Effects of heat treatment and dehydration on bioactive polysaccharide acemannan and cell wall polymers from *Aloe barbadensis* Miller. **Carbohydrate Polymers** 51(4): 397-405.
- Feng, H. and J. Tang. 1998. Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed. **Journal of Food Science** 63(4): 679-683.
- Garau, M. C., S. Simal, A. Femenia and C. Rossello. 2006. Drying of orange skin: drying kinetics modeling and functional properties. **Journal of Food Engineering** 75(2): 288-295.
- Garau, M. C., S. Simal, C. Rossello and A. Femenia. 2007. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products. **Food Chemistry** 104(3): 1014-1024.
- Geil, P. B. and J. W. Anderson. 1994. Nutrition and health implications of dry beans: a review. **Journal of the American College of Nutrition** 13: 549-558.
- Gonzalez, E., M. A. Montenegro, M. A. Nazareno and B. A. Lopez de Mishima. 2001. Carotenoid composition and vitamin A value of an Argentinian squash (*Cucurbita moschata*). **Archivos Latinoamericanos de Nutricion** 51(4): 395-399.



- Heller, H. and G. Forkmann. 1994. Biosynthesis of flavonoids. pp. 499-535. In J. B. Harborne, Editor. **The Flavonoids: Advances in Research since 1986**. London: Chapman and Hall.
- Hong, P. G. and K. W. Nip. 1990. Functional properties of precooked taro flour in sorbets. **Food Chemistry** 36(4): 261-270.
- Huang, A. S., C. A. Titchenal and B. A. Meilleur. 2000. Nutrient Composition of Taro Corms and Breadfruit. **Journal of Food Composition and Analysis** 13(5): 859-864.
- Huang, C. C. 2009. Physicochemical, pasting and thermal properties of tuber starches as modified by guar gum and locust bean gum. **International Journal of Food Science and Technology** 44(1): 50-57.
- Huang, C. C., W. C. Chen and C. C. R. Wang. 2006. Comparison of Taiwan paddy- and upland-cultivated taro (*Colocasia esculenta* L.) cultivars for nutritive values. **Food Chemistry** 102(1): 250-256.
- Huttner, E. K., F. D. Bello and E. K. Arendt. 2010. Rheological properties and bread making performance of commercial wholegrain oat flours. **Journal of Cereal Science** 52(1): 65-71.
- Ibrahim, R., A. Osman, N. Saari and R. A. Abdul-Rahman. 2004. Effects of anti-browning treatments on the storage quality of minimally processed shredded cabbage. **Journal of Food Agriculture and Environment** 2(2): 54-58.
- Iyengar, R. and A. J. McEvily. 1992. Anti-browning agents: alternatives to the use of sulfites in foods. **Trends in Food Science & Technology** 3: 60-64.
- Jane, J., L. Shen, S. Lim, T. Kasemsuwan and W. K. Nip. 1992. Physical and chemical studies of taro starches and flours. **Cereal Chemistry** 69: 528-535.
- Jangchud, K. and N. Bunnag. 2001. Effect of soaking time and cooking time on qualities of red kidney bean flour. **Kasetsart Journal (Natural Science)** 35(4): 409-415.
- Jaya, S. and H. Das. 2005. Accelerated Storage, shelf life and color of mango powder. **Journal of Food Processing and Preservation** 29: 45-62.
- Jiugao, Y., W. Ning and M. Xiaofei. 2005. The Effects of Citric Acid on the Properties of Thermoplastic Starch Plasticized by Glycerol. **Starch/Starke** 57: 494-504.

- Juliano, B. O., C. M. Perez, A. B. Blakeney, D. T. Castillo, N. Kongseree, B. Laignelet, E. T. Lapis, V. V. S. Murty, C. M. Paule and B. D. Webb. 1981. **International cooperative testing on the amylose content of milled rice**. *Starch/Starke* 33: 157-162.
- Kaaber, L., B. K. Martinsen, E. Brathen and I Shomer. 2002. Browning Inhibition and Textural Changes of Pre-Peeled Potatoes Caused by Anaerobic Conditions. **LWT-Food Science and Technology** 35(6): 526-531.
- Kaleemullah, S. and R. Kailappan. 2005. Drying Kinetics of Red Chillies in a Rotary Dryer. **Biosystems Engineering** 92(1):15-23.
- Kaur, M., S. K. Sandhu and N. Singh. 2007. Comparative study of the functional, thermal and pasting properties of flours from different field pea (*Pisum sativum* L.) and pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) cultivars. **Food Chemistry** 104(1): 259-267.
- Kent, N. L. and A. D. Evers. 1994. Bread made with gluten substitutes. pp. 215-216. *In* **Technology of cereals**. Oxford: Pergamon Press.
- Kopsell, D. A. and D. E. Kopsell. 2006. Accumulation and bioavailability of dietary carotenoids in vegetable crops. **Trends in Plant Science** 11(10): 499-507.
- Kukura, J. L., R. B. Beelman, M. Peiffer and R. Walsh. 1998. Calcium Chloride Added to Irrigation Water of Mushrooms (*Agaricus Bisporus*) Reduces Postharvest Browning. **Journal of Food Science** 63(3): 454-457.
- Kumar, P.S., V.R. Sagar and Lata. 2008. Quality of osmo-vac dehydrated ripe mango slices by packaging material and storage temperature. **Scientific and Industrial Research** 67: 1108-1114.
- Lavelli, V. and C. Vantaggi. 2009. Rate of antioxidant degradation and color variations in dehydrated apples as related to water activity. **Agricultural and Food Chemistry** 57: 4733-4738.
- Leach, H. W., L. D. McCowen and T. J. Schoch. 1959. Structure of the starch granule: Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry** 36: 534-544.
- Leblanc, N., R. Saiah, E. Beucher, R. Gattin, M. Castandet and J. M. Saiter. 2008. Structural investigation and thermal stability of new extruded wheat flour based polymeric materials. **Carbohydrate Polymers** 73: 548-557.

- Lee, C. Y. and J. R. Whitaker. 1995. **Enzymatic Browning and Its Prevention**. American Chemical Society. Washington, D.C: ACS Symposium 600. 338 p.
- Lee, F. A. 1983. **Basic Food Chemistry**. 2<sup>nd</sup> ed. Westport: The AVI Publishing. 430 p.
- Lemus, R., M. Perez, A. Andres, T. Roco, C. Tello and A. Vega. 2008. Kinetic study of dehydration and desorption isotherms of red alga *Gracilaria*. **LWT-Food Science and Technology** 41(9): 1592-1599.
- Liu, K., Y. C. Hung and R. D. Phillips. 1993. Mechanism of hard-to-cook defect in cowpeas: verification via microstructure examination. **Food Structure** 12(1): 51-58.
- Lopez-Nicolas, J. M., A. J. Perez-Lopez, A. Carbonell-Barrachina and F. Garcia-Carmona. 2007. Use of natural and modified cyclodextrins as inhibiting agents of peach juice enzymatic browning. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 55(13): 5312-5319.
- Lorenz, K. and L. Coulter. 1991. Quinoa flour in baked products. **Plant Foods for Human Nutrition** 41(3): 213-223.
- Luna-Guzman, I., M. Cantwell and D.M. Barrett. 1999. Fresh-cut cantaloupe: effects of CaCl<sub>2</sub> dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. **Postharvest Biology and Technology** 17(3): 201-213.
- Ma Z., J. I. Boye, B. K. Simpson, S. O. Prasher, D. Monpetit and L. Malcolmson. 2011. Thermal processing effects on the functional properties and microstructure of lentil, chickpea, and pea flours. **Food Research International** 44(8): 2534-2544.
- Macheix, J. J., A. Fleuriet and J. Billot. 1990. **Fruit Phenolics**. Boca Raton, FL: CRC Press. 378 p.
- Macheix, J. J., J. C. Sapis, A. Fleuriet and C. Y. Lee. 1991. Phenolic compounds and polyphenoloxidase in relation to browning in grapes and wines. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 30(4): 441-486.
- Maisuthisakul, P. and R. Pongsawatmanit. 2004. Effect of sample preparation methods and extraction time on yield and antioxidant activity from kradonbok (*Careya sphaerica* Roxb.) leaves. **Kasetsart J. (Nat. Sci.)** 38: 8-14.
- Mansour, E. H., E. Dworschak, Z. Pollhamer, A. Gergely and J. Hovari. 1999. Pumpkin and canola seed proteins and bread quality. **Acta Alimentaria Hungary** 28: 59-70.

- Marshall, M. R., J. Kim and C. Wei. 2000. **Enzymatic browning in fruits, vegetables and seafoods**. [Online]. Available: <http://www.fao.org/> (10 May 2012).
- Martinez, M. V. and J. R. Whitaker. 1995. The biochemistry and control of enzymatic browning. **Trends in Food Science & Technology** 6(6): 195-200.
- Mathew, A. G. and H. A. B. Parpia. 1971. Food browning as a polyphenol reaction. **Advances in Food Research** 19: 75-145.
- Mayer, A. M. and E. Harel. 1979. Polyphenol oxidases in plants. **Phytochemistry** 18: 193-215.
- McWatters, K. H., J. B. Quedraogo, A. V. A. Resurreccion, Y. C. Hung and R.D. Phillips. 2003. Physical and sensory characteristic of sugar cookies containing mixture of wheat, fonio (*Digitaria exilis*) and cowpea (*vigna unguiculata*). **International Journal of Food Science & Technology** 38: 403-410.
- Meilgaard, M., G. V. Civille and B. T. Carr. 1991. **Sensory evaluation techniques**. 2<sup>nd</sup> ed. Florida: CRC Press. 354 p.
- Montgomery, D. C. 2005. **Design and Analysis of Experiments**. 6<sup>th</sup> ed. New Jersey: John Wiley and Sons. 634 p.
- Narasimha, H. V. and H. S. R. Desikachar. 1978. Objective methods for studying cookability of tur pulse (*Cajanus cajan*) and factors affecting varietal differences in cooking. **Journal of Food Science and Technology** 15(2): 47-50.
- Newport Scientific Pty. Ltd. 1998. **Applications Manual for the Rapid Visco<sup>TM</sup> Analyzer**. Warriewood: Newport Scientific. 110 p.
- Nip, W. K. 1997. Taro: Processing vegetable and technology. pp. 355-387. In D. S. Smith, J. N. Cash, W. K. Nip and Y. H. Hui (eds.). **Processing Vegetables: Science and Technology**. Pennsylvania: Technomic Publishing.
- Njintang, Y. N. and C. M. F. Mbofung. 2003. Development of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) flour as an ingredient for food processing: effect of gelatinisation and drying temperature on the dehydration kinetics and colour of flour. **Journal of Food Engineering** 58(3): 259-265.
- \_\_\_\_\_. 2006. Effect of precooking time and drying temperature on the physico-chemical characteristics and in-vitro carbohydrate digestibility of taro flour. **LWT-Food Science and Technology** 39: 684-691.

- Njintang, Y. N., C. M. F. Mbofung, G. K. Moates, M. L. Parker, F. Craig, A. C. Smith and W. K. Waldron. 2007. Functional properties of five varieties of taro flour, and relationship to creep recovery and sensory characteristics of achu (taro based paste). **Journal of Food Engineering** 82, 114-120.
- Noonan, S. C. and G. P. Savage. 1999. Oxalate content of foods and its effect on humans. **Asia Pacific Journal of Clinic Nutriron** 8(1): 64-74.
- Okoye, J. I., A. C. Nkwocha and A. O. Agbo. 2008. Chemical Composition and Functional Properties of Kidney Bean/Wheat Flour Blends. **Continental Journal of Food Science and Technology** 2: 27-32.
- Onwueme, I. C. 1978. **The Tropical Tuber Crops; Yam, Cassava, Sweet Potato, and Cocoyams**. Chiohester: John Wiley & Sons. 278 p.
- Patel, A., R. Pawar, S. Mishra, S. Sonawane and P. K. Ghosh. 2004. Kinetic studies on thermal denaturation of C-phycocyanin. **Indian Journal of Biochemistry and Biophysics** 41(5): 254-257.
- Pokorny, J., N. Yanishlieva and M. Gordon. 2001. **Antioxidants in food**. New York: Woodhead Publishing. 380 p.
- Pomeranz, Y. 1991. **Functional Properties of Food Components**. 2<sup>nd</sup> ed. San Diego: Academic press. 569 p.
- Pongjanta, J., A. Naulbunrang, S. Kawngdang, T. Manon and T. Thepjaikat. 2006. Utilization of pumpkin powder in bakery products. **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 28 (1): 71-79.
- Pongjanta, J., S. Jomdoun and R. Panomwan na Ayuttaya. 2003. Effect of processing and drying treatment on quality of pumpkin powder. **Food journal** 33: 68-76.
- Queiroz, K. S., A. C. de Oliveira, E. Helbig, S. M. Reis and F. Carraro. 2002. Soaking the common bean in a domestic preparation reduced the contents of raffinose-type oligosaccharides but did not interfere with nutritive value. **Journal of Nutritional Science and Vitaminology** 48(4): 283-289.
- Radi, M., M. Mahrouz and A. Jaouad. 1997. Phenolic composition, browning susceptibility and carotenoid content of several apricot cultivars at maturity. **Hort Science** 32(6): 1087-1091.

- Ranganna, S. 1977. **Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Products**. New Delhi: Tata McGraw-Hill. 634 p.
- Saeleaw, M. and G. Schleining. 2011. **Composition, Physicochemical and Morphological Characterization of Pumpkin Flour**. [Online]. Available <http://www.icef11.org/content/papers/fms/FMS328.pdf> (16 June 2012).
- Saper, G. M. and R. L. Miller. 1995. Heated Ascorbic/Citric Acid Solution as Browning Inhibitor for Pre-Peeled Potatoes. **Journal of Food Science** 60(4): 762-766.
- Sapers, G. M., W. Frederic and J. R. Douglas. 1987. Measurement of enzymatic browning at cut surfaces and in juice of raw apple and pear fruits. **Journal of Food Science** 52(5): 1258-1285.
- Sayavedra-Soto, L. A. and M. W. Montgomery. 1986. Inhibition of polyphenoloxidase by sulfite. **Journal of Food Science** 51(6): 1531-1536.
- See, E. F., W. A. Wan Nadiyah and A. A. Noor Aziah. 2007. Physico-Chemical and Sensory Evaluation of Breads Supplemented with Pumpkin Flour. **ASEAN Food Journal** 14(2): 123-130.
- Sefa-Dedeh, S. and W. D. Stanley. 1979. The relationship of microstructure of cowpea to water absorption capacity and dehulling properties. **Cereal Chemistry** 56(4): 379-386.
- Shimelis, E. A., M. Meaza and S. K. Rakshit. 2006. **Physico-chemical Properties, Pasting Behavior and Functional Characteristics of Flours and Starches from Improved Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Varieties Grown in East Africa**. [Online]. Available <http://hdl.handle.net/1813/10533> (16 June 2012).
- Shipp, J. and E. M. Abdel-Aal. 2010. Food Applications and Physiological Effects of Anthocyanins as Functional Food Ingredients. **The Open Food Science Journal** 4: 7-22.
- Simal, S., A. Femenia, P. Llull and C. Rossello. 2000. Dehydration of aloe vera: simulation of drying curves and evaluation of functional properties. **Journal of Food Engineering** 43(2): 109-114.
- Singh, G., A. Kawatra, S. Sehgal and Pragati. 2003. Effect of storage on nutritional composition of selected dehydrated green leafy vegetable, herb and carrot powders. **Plant Foods for Human Nutrition** 58: 1-9.

- Singh, U. and V.R. Sagar. 2010. Quality characteristics of dehydrated leafy vegetables influenced by packaging materials and storage temperature. **Scientific and Industrial Research** 69: 785-789.
- Sotomayor, C., J. Frias, J. Fornal, J. Sadowska, G. Urbano and C. Vidal-Valverde. 1999. Lentil starch content and its microscopical structure as influenced by natural fermentation. **Starch/Starke** 51(5): 152-156.
- Stauffer, C. E. 1998. Fats and oils in bakery products. **Cereal Foods World** 43(3): 120-126.
- Steffens, J. C., E. Harel and M. D. Hunt. 1994. Polyphenol oxidase. pp. 276-304. *In* B. Ellio, G. W. Kuroki, H. A. Stafford (eds.). **Genetic Engineering of Plant Secondary Metabolism**. New York: Plenum Press.
- Sunday, Y. G. and A. B. Dickson. 1992. Proximate composition and functional properties of raw and processed full-fat fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis*) seed flour. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 59(3): 321-325.
- Suttirak, W. and S. Manurakchinakorn. 2010. Potential Application of Ascorbic Acid, Citric Acid and Oxalic Acid for Browning Inhibition in Fresh-Cut Fruits and Vegetables. **Walailak Journal of Science and Technology** 7(1): 5-14.
- Tagodoe, A. and W. K. Nip. 1994. Functional properties of raw and precooked taro (*Colocasia esculenta*) flours. **International Journal of Food Science & Technology** 29(4): 457-462.
- Takeoka, G. R., L. T. Dao, G. H. Full, R. Y. Wong, L. A. Harden, R. H. Edwards and J. D. J. Berrios. 1997. Characterization of Black Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Anthocyanins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 45(9): 3395-3400.
- Taoukis, P.S., A.E. Meskine and T.P. Labuza. 1998. Moisture transfer and shelf life of packaged foods. **Food Packaging Interactions** 365: 243-261.
- Taylor, A. J. and F. M. Clydesdale. 1987. Potential of oxidase phenolic as food colorants. **Food Chem** 24: 301-313.
- Tello-Ireland, C., R. Lemus-Mondaca, A. Vega-Gálvez, J. Lopez and K. D. Scala. 2011. Influence of hot-air temperature on drying kinetics, functional properties, colour, phycobiliproteins, antioxidant capacity, texture and agar yield of alga *Gracilaria chilensis*. **LWT-Food Science and Technology** 44(10): 2112-2118.

- Tipton, K. F. and H. B. F. Dixon. 1979. Effects of pH on enzymes. **Method in Enzymology** 63: 183-234.
- Tong Q., X. Zhang, F. Wu, J. Tong, P. Zhang and J. Zhang. 2010. Effect of honey powder on dough rheology and bread quality. **Food Research International** 43(9): 2284-2288.
- Tsuda, T., T. Osawa, K. Ohshima and S. Kawakishi. 1994. Antioxidative Pigments Isolated from the Seeds of *Phaseolus vulgaris* L. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 42(2): 248-251.
- Urga, K., H. Fufa, E. Biratu and M. Gebretsadik. 2006. Effects of blanching and soaking on some physical characteristic of grass pea. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development** 7(1): 1-17.
- Vamos-Vigazoz, L. 1981. Polyphenoloxidase and peroxidase in fruits and vegetables. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 15(1): 49-127.
- Varriano-Marston, E. and G. M. Jackson. 1980. Hard-to-Cook Phenomenon in Beans: Structural Changes During Storage and Imbibition. **Journal of Food Science** 46(5): 1379-1385.
- Vega, A., P. Fito, A. Andres and R. Lemus. 2007. Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red bell pepper (var. Lamuyo). **Journal of Food Engineering** 79(4): 1460-1466.
- Walker, J. R. L. 1995. Enzymatic Browning in Fruits – Its Biochemistry and Control. **Enzymatic Browning and Its Prevention** 600: 8-22.
- Wang, J., C. M. Rosell and C. B. de Barber. 2002. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. **Food Chemistry** 79(2): 221-226.
- Whitaker, J. R. 1995. Polyphenol Oxidase Food Enzymes Structure and Mechanism. pp. 271-307. **In** D. W. S. Wong (Ed.). **Trends in Food Science & Technology**. New York: Chapman & Hall.
- Wiriyap, P., T. Paiboon and S. Somchart. 2009. Effect of drying air temperature and chemical pretreatments on quality of dried chilli. **International Food Research Journal** 16:441-454.
- Wu, J. R. and T. M. Jin. 1998. Determination of betacarotene in different pumpkin varieties by HPLC. **Acta Agriculturae Boreali-Sinica** 13(3): 141-144.



- Wu, W., W. P. Williams, M. E. Kunkel, J. C. Acton, F. B. Wardlaw, Y. Huang and L. W. Grimes. 1994. Thermal effects on in vitro protein quality of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Food Science** 59(6): 1187-1191.
- Yoruk, R. and M. R. Marshall. 2003. Physicochemical Properties and Function of Plant Polyphenol Oxidase: A Review. **Journal of Food Biochemistry** 27(5): 361-422.
- Zawistowski, J., C. G. Biliaderis and N. A. M. Eskin. 1991. Polyphenol oxidase. pp. 217-273. In D. S. Robinson and N. A. M. Eskin (eds.). **Oxidative Enzymes in Foods**. London: Elsevier Applied Science Publisher.



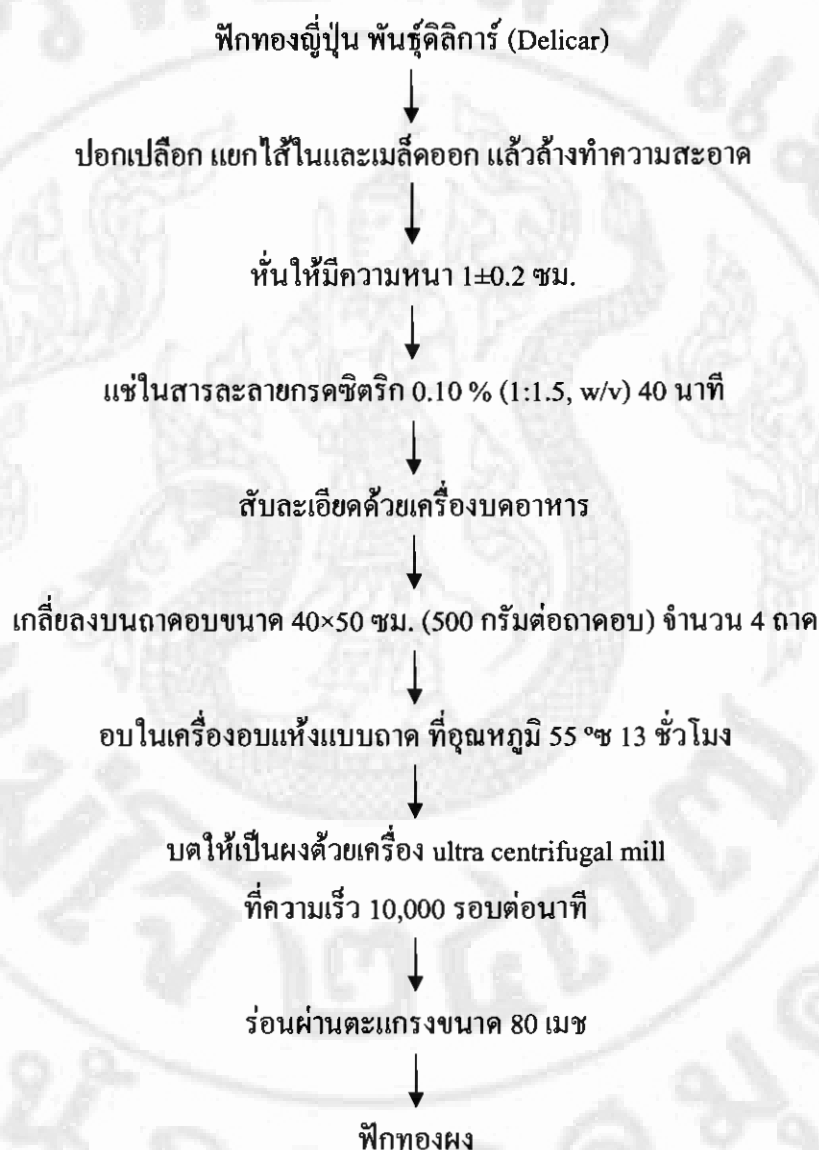
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

กระบวนการผลิตฟักทอง เผือก และถั่วแดงผงที่เหมาะสม

## กระบวนการผลิตฟักทอง ผีอก และถั่วแดงผงที่เหมาะสม

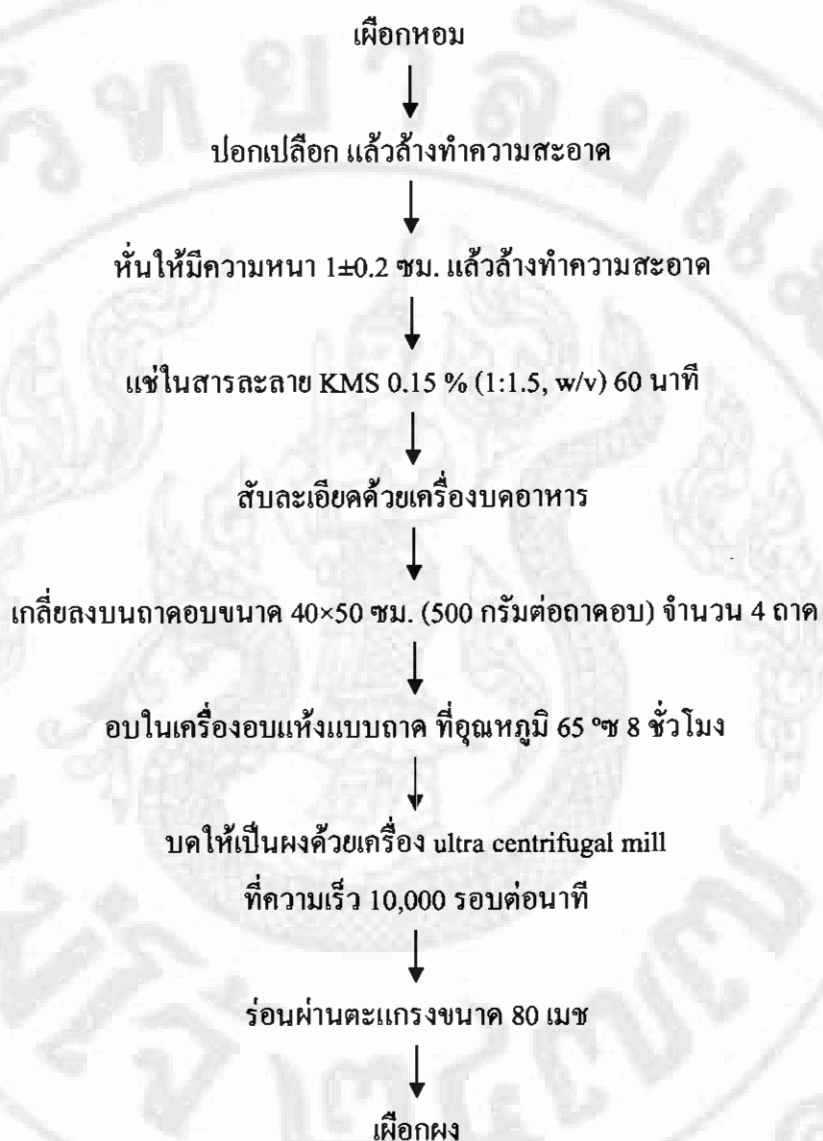
### 1. กระบวนการผลิตฟักทองผงที่เหมาะสม



ภาพผนวก 1 ขั้นตอนการผลิตฟักทองผงที่เหมาะสมจากการทดลอง

หมายเหตุ การผลิตฟักทองผง 1,000 กรัม ใช้ฟักทองสด 6,897 กรัม ราคาฟักทองสด เท่ากับ 18 บาท/กก. (ราคาขายของร้านค้ามูลนิธิโครงการหลวง จังหวัดเชียงใหม่) ดังนั้น ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตฟักทองผง เท่ากับ 124 บาท/กก.

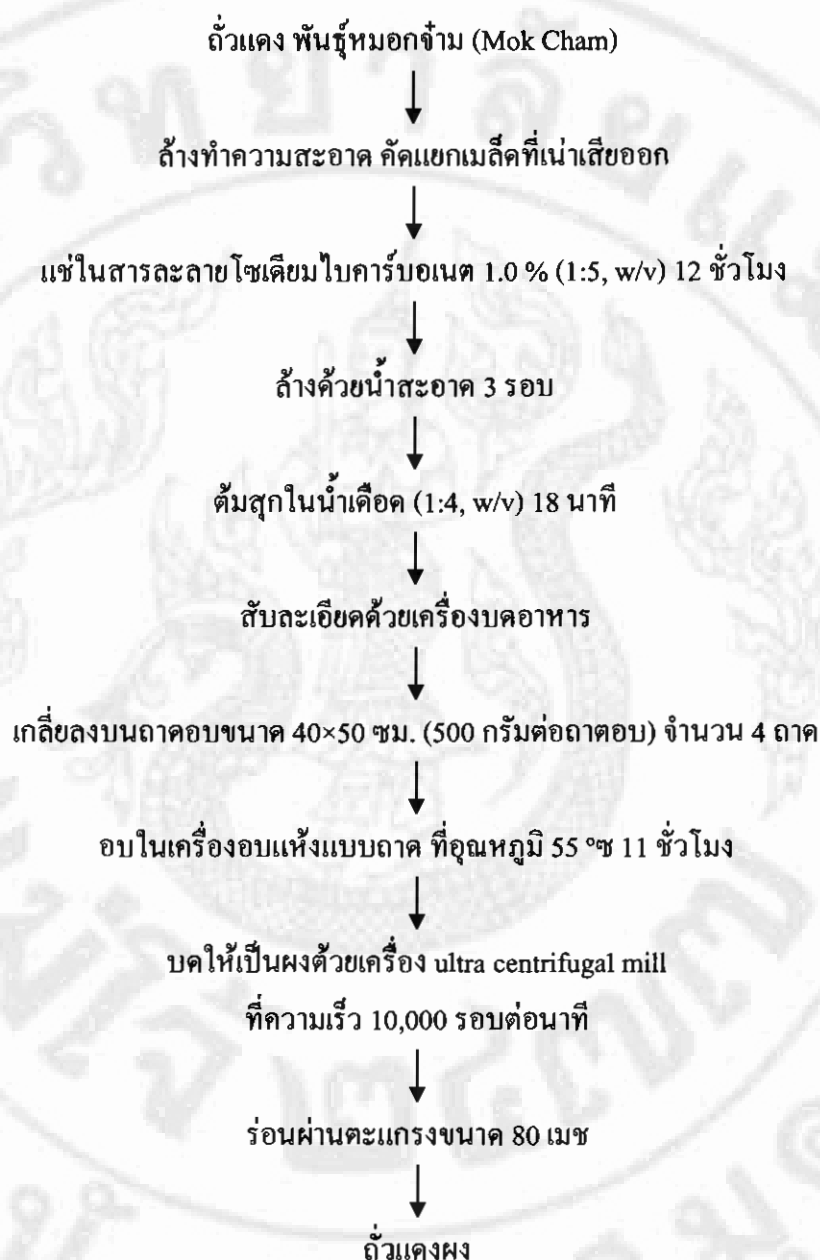
## 2. กระบวนการผลิตเปลือกผงที่เหมาะสม



ภาพผนวก 2 ขั้นตอนการผลิตเปลือกผงที่เหมาะสมจากการทดลอง

หมายเหตุ การผลิตเปลือกผง 1,000 กรัม ใช้เปลือกสด 4,484 กรัม ราคาเปลือกสด เท่ากับ 20 บาท/กก. (ราคาขายของตลาดเมืองใหม่ จังหวัดเชียงใหม่) ดังนั้นต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตเปลือกผง เท่ากับ 90 บาท/กก.

### 3. กระบวนการผลิตถั่วแดงผงที่เหมาะสม



ภาพผนวก 3 ขั้นตอนการผลิตถั่วแดงผงที่เหมาะสมจากการทดลอง

หมายเหตุ การผลิตถั่วแดงผง 1,000 กรัม ใช้เมล็ดถั่วแดง 1,515 กรัม ราคาเมล็ดถั่วแดง เท่ากับ 45 บาท/กก. (ราคาขายของร้านค้ามูลนิธิโครงการหลวง จังหวัดเชียงใหม่) ดังนั้น ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตถั่วแดงผง เท่ากับ 68 บาท/กก.



ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

## การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

### 1. ค่าสี

ใช้เครื่องวัดสี (Tri-stimulus colorimeter) ยี่ห้อ Juki รุ่น JC801 อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชั่วโมงก่อนใช้งาน สวมเลนส์และแท่นรองให้สัมพันธ์กับขนาดของตัวอย่าง ปรับมาตรฐานของเครื่องโดยใช้ standard white plate ทำการวัดค่าสี บันทึกค่าที่อ่านได้จากจอแสดงผล ซึ่งจะแสดงค่าสีในระบบ CIE ประกอบด้วย

- 1.1. ค่า  $L^*$  หมายถึง ค่าความสว่าง มีค่าจาก 0 คือสีดำ ถึง 100 คือสีขาว
- 1.2. ค่า  $a^*$  หมายถึง ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว โดยค่าบวกแสดงถึงความเป็นสีแดง และค่าลบแสดงถึงความเป็นสีเขียว
- 1.3. ค่า  $b^*$  หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าบวกแสดงถึงความเป็นสีเหลือง และค่าลบแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน

### 2. ค่ากิจกรรมของน้ำ ( $a_w$ )

ใช้เครื่องวัดค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity meter) ยี่ห้อ AquaLab รุ่น 3SE อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาทีก่อนใช้งาน ปรับมาตรฐานของเครื่องโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว บรรจุน้ำตัวอย่างที่บดละเอียดแล้วลงในถ้วยวัด นำไปวางในช่องใส่ตัวอย่าง ทำการวัดค่ากิจกรรมของน้ำ บันทึกค่าที่อ่านได้จากจอแสดงผล

### 3. ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology)

ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy; SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410LV ติดเทปคาร์บอนลงบนแท่นติดตัวอย่าง (stub) โรยตัวอย่างผงลงบนเทปคาร์บอน นำไปฉาบเคลือบด้วยทองคำบริสุทธิ์โดยใช้เครื่องเคลือบทอง (fine coater) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JFC-1200 ทำการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่ความต่างศักย์ 5.0 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 1,000 เท่า สำหรับฟีกทองผง ความต่างศักย์ 10 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 5,000 เท่า สำหรับเปลือกผง ความต่างศักย์ 5.0 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 350 เท่า สำหรับถั่วแดงผง และความต่างศักย์ 10 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 1,000 เท่า สำหรับแป้งสาลี



#### 4. สมบัติด้านความหนืด (pasting properties) (Newport Scientific Pty. Ltd., 1998)

ใช้เครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว (rapid visco analyzer; RVA) ยี่ห้อ Newport Scientific รุ่น RVA-4SA ตามวิธีการ RVA<sup>TM</sup> wheat and rye flour method อุ่นเครื่อง RVA และเครื่องหล่อเย็นประมาณ 30 นาทีก่อนใช้งาน เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ เปิดซอฟต์แวร์ Thermocline for Windows (TCW) ตั้งสถานะในการทำงานของเครื่องดังแสดงในตารางผนวก 1

ตารางผนวก 1 สถานะในการทำงานของเครื่อง RVA

| Time     | Type  | Value   |
|----------|-------|---------|
| 00:00:00 | Temp  | 50 °C   |
| 00:00:00 | Speed | 960 rpm |
| 00:00:10 | Speed | 160 rpm |
| 00:01:00 | Temp  | 50 °C   |
| 00:04:42 | Temp  | 95 °C   |
| 00:07:12 | Temp  | 95 °C   |
| 00:11:00 | Temp  | 50 °C   |

Idle temperature: 50 ± 1 °C

End of test: 13 min.

Time between readings: 4 sec.

คำนวณน้ำหนักตัวอย่างและปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ (เทียบจากตัวอย่างมีความชื้น 14 %) จากสมการ

$$M_2 = \frac{(100 - 14) \times M_1}{100 - W_1}$$

$$W_2 = 25.0 + (M_1 - M_2)$$

|       |       |   |                                                                             |
|-------|-------|---|-----------------------------------------------------------------------------|
| เมื่อ | $M_1$ | = | น้ำหนักตัวอย่างที่ต้องใช้เมื่อมีความชื้น 14 %<br>ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.50 กรัม |
|       | $M_2$ | = | น้ำหนักตัวอย่างที่ต้องใช้ (กรัม)                                            |
|       | $W_1$ | = | ปริมาณความชื้นของตัวอย่าง (%)                                               |
|       | $W_2$ | = | ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ (มล.)                                                   |

เติมน้ำกลั่น ( $W_2$ ) ลงในกระป๋องสำหรับบรรจุตัวอย่าง ชั่งตัวอย่าง ( $M_2$ ) แล้วเทลงในกระป๋อง ใช้ใบพัดกวนผสมตัวอย่างให้เข้ากันและไม่จับเป็นก้อน นำไปต่อเข้ากับเครื่องวัดและทำการวิเคราะห์ บันทึกกราฟความหนืดและค่าต่างๆ ได้แก่ ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำเย็น (holding strength) ความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำเย็น (breakdown) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายและความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำเย็น (setback) และอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด (pasting temperature)

#### 5. ปริมาตรจำเพาะ (ดัดแปลงจาก AACC, 2000)

นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก ( $W_s$ ) หาปริมาตรของตัวอย่างโดยใช้วิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงาคอย เริ่มจากวัดปริมาตรของภาชนะที่มีรูปทรงแน่นอน โดยบรรจุเมล็ดงาคอยให้เต็มภาชนะ ปาดผิวหน้าให้เรียบ วัดปริมาตรของเมล็ดงาคอยที่เหลือในภาชนะโดยใช้กระบอกตวงขนาดต่างๆ บันทึกเป็นปริมาตรของภาชนะ ( $V_1$ ) บรรจุเมล็ดงาคอยลงในภาชนะใบเดิมประมาณ  $\frac{1}{4}$  นำตัวอย่างใส่ลงไป บรรจุเมล็ดงาคอยให้เต็มภาชนะ ปาดผิวหน้าให้เรียบ เทเมล็ดงาคอยและตัวอย่างออกจากภาชนะ วัดปริมาตรของเมล็ดงาคอยด้วยกระบอกตวง บันทึกเป็นปริมาตรของอากาศในภาชนะ ( $V_2$ ) คำนวณหาปริมาตรจำเพาะของตัวอย่างโดยเทียบจากปริมาตร 1 มล. เท่ากับ 1 ซม.<sup>3</sup> จากสมการ

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ (ซม.}^3\text{/กรัม)} = \frac{V_1 - V_2}{W_s}$$



ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

## การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

### 1. ค่า pH (AOAC, 2005)

เตรียมสารละลายตัวอย่างความเข้มข้น 10 % (w/v) โดยชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองฝาเกลียว เติมน้ำกลั่น 10 มล. ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสมสารละลาย (vortex mixer) ยี่ห้อ IKA รุ่น MS2 Minishaker นำไปวัดค่า pH ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Mettler-Toledo รุ่น S20 SevenEasy

### 2. ปริมาณความชื้น (AOAC, 2005)

นำกระป๋องอลูมิเนียมพร้อมฝาไปอบในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ยี่ห้อ Termaks รุ่น TS4115 ที่อุณหภูมิ 105 °C 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ ) ชั่งตัวอย่าง 2-5 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ( $W_s$ ) ใส่ลงในกระป๋องอะลูมิเนียม นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C จนมีน้ำหนักคงที่ ( $W_1$ ) คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสมการ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{W_s}$$

### 3. ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2005)

ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในหลอดย่อย ใส่สารเร่งปฏิกิริยาสำเร็จรูปอัดเม็ด (Kjeldahl tablets, 5 g/tablet) 1 เม็ด เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 12 มล. นำไปย่อยในตู้ดูดควันโดยใช้เครื่องย่อย (digestor) ยี่ห้อ Tecator รุ่น 2012 ที่อุณหภูมิ 420 °C จนได้สารละลายใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปกลั่นโดยใช้เครื่องกลั่น (distilling unit) ยี่ห้อ Tecator รุ่น 1026 ซึ่งเป็นระบบอัดโนมิตี (น้ำกลั่น 25 มล. และด่าง 20 มล.) ดักจับก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นโดยใช้สารละลายกรดบอริก 4 % 25 มล. ที่เติมอินดิเคเตอร์ผสมของเมทิลเรดและบรอมกลีซอลกรีนลงไป 2-3 หยด นำสารละลายที่ได้มาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล จนได้สารละลายสีเทาอมน้ำเงิน ทำแบลนด์ (blank) เช่นเดียวกับตัวอย่างแต่ไม่ใส่ตัวอย่าง คำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสมการ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \frac{(V_s - V_b) \times N \times F \times 14.007 \times 100}{W}$$

|       |       |   |                                                                                                                            |
|-------|-------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| เมื่อ | $V_s$ | = | ปริมาตรของกรดที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (มล.)                                                                                 |
|       | $V_b$ | = | ปริมาตรของกรดที่ใช้ไทเทรตกับเบลงค์ (มล.)                                                                                   |
|       | $N$   | = | ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ไทเทรต (นอร์มอล)                                                                                    |
|       | $F$   | = | ค่าคงที่ในการเปลี่ยนค่าไนโตรเจนเป็นโปรตีน<br>$F = 6.25$ (กรณีของฟักทอง เผือก และถั่วแดงผง)<br>$F = 5.70$ (กรณีของแป้งสาลี) |
|       | $W$   | = | น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)                                                                                                     |

#### 4. ปริมาณไขมัน (AOAC, 2005)

ชั่งตัวอย่าง 2-5 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ( $W_s$ ) ลงบนกระดาษกรอง ห่อให้นิดชิด ใส่ลงในทิมเบิลแล้วปิดด้วยสำลีปราศจากไขมัน เติมหะเสน 50 มล. ลงในถ้วยสกัดที่ผ่านการอบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอน ( $W_1$ ) ต่ออุปกรณ์ทุกส่วนเข้ากับชุดสกัด (extraction unit) ยี่ห้อ Tecator รุ่น 1043 ซึ่งจะทำงานร่วมกับหน่วยบริการ (service unit) ยี่ห้อ Tecator รุ่น 1046 ทำการสกัดไขมันโดยจะใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง นำถ้วยสกัดที่มีไขมันอยู่ไปอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ ) ทำเบลงค์เช่นเดียวกับตัวอย่างแต่ไม่ใส่ตัวอย่าง ( $W_b$ ) คำนวณหาปริมาณไขมันจากสมการ

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{(W_2 - W_1 - W_b) \times 100}{W_s}$$

#### 5. ปริมาณเถ้า (AOAC, 2005)

นำครุชีเบลกระเบื้องไปใส่ในเตาเผาอุณหภูมิสูง (muffle furnace) ยี่ห้อ Lenton รุ่น AWF130-12 ที่อุณหภูมิ 550 °ซ 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_1$ ) ชั่งตัวอย่าง 3-5 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ( $W_s$ ) ใส่ลงในครุชีเบล นำไปตั้งบนเตาให้ความร้อน (hot plate) ยี่ห้อ Framo รุ่น M21/1 ที่อุณหภูมิประมาณ 200 °ซ จนหมดควัน นำไปใส่ในเตาเผาที่

อุณหภูมิ 550 °ซ ประมาณ 6 ชั่วโมง จนได้เถ้าสีขาวหรือจนตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ ) คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสมการ

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{W_s}$$

#### 6. ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2005)

ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 400 มล. (ทำตัวอย่างละ 2 ข้าง และแบลнк 2 ข้าง) เติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 50 มล. ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง  $6.0 \pm 0.2$  เติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส 0.1 มล. ปิดฝาขวดด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 100 °ซ 30 นาที โดยเขย่าทุกๆ 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.275 โมลาร์ 10 มล. เพื่อปรับ pH ให้อยู่ในช่วง  $7.5 \pm 0.2$  เติมเอนไซม์โปรติเอส 5 มก. (อาจเตรียมโดยละลายเอนไซม์โปรติเอส 50 มก. ลงในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 1 มล. แล้วเปิดใช้ครั้งละ 0.1 มล.) ปิดฝาขวดด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบแบบเขย่า (shaking water bath) ยี่ห้อ FOSS Tecator รุ่น 1024 ที่อุณหภูมิ 60 °ซ 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.325 โมลาร์ 10 มล. ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 4.0-4.6 เติมเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส 0.3 มล. นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่อุณหภูมิ 60 °ซ 30 นาที เติมสารละลายเอทานอล 95 % (อุ่นไว้ให้มีอุณหภูมิประมาณ 60 °ซ) 280 มล. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง นำมากรองผ่านครุชชีเบลแก้วที่มีสารช่วยกรอง (Celite 545) 0.5 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอนของครุชชีเบลและสารช่วยกรอง) โดยใช้ชุดกรอง (filtration module) ยี่ห้อ FOSS Tecator รุ่น 1023 วางครุชชีเบลในตำแหน่งกรอง ล้างตะกอนด้วยสารละลายเอทานอล 78 % 20 มล. 3 ครั้ง และสารละลายเอทานอล 95% 10 มล. 2 ครั้ง นำครุชชีเบลไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °ซ ประมาณ 12 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก นำตัวอย่างและแบลнкข้าง 1 ไปหาปริมาณโปรตีน และข้าง 2 ไปหาปริมาณเถ้า คำนวณหาปริมาณใยอาหารทั้งหมดจากสมการ

$$\begin{aligned} & \text{ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (\%)} \\ &= \frac{[(((S_1 + S_2) / 2) - S_{\text{protein}} - S_{\text{ash}}) - (((B_1 + B_2) / 2) - B_{\text{protein}} - B_{\text{ash}})] \times 100}{[(W_1 + W_2) / 2]} \end{aligned}$$

|       |                      |   |                                      |
|-------|----------------------|---|--------------------------------------|
| เมื่อ | $S_1$                | = | น้ำหนักตะกอนของตัวอย่าง ซ้ำ 1 (กรัม) |
|       | $S_2$                | = | น้ำหนักตะกอนของตัวอย่าง ซ้ำ 2 (กรัม) |
|       | $S_{\text{protein}}$ | = | ปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง (กรัม)        |
|       | $S_{\text{ash}}$     | = | ปริมาณเถ้าในตัวอย่าง (กรัม)          |
|       | $B_1$                | = | น้ำหนักตะกอนของเบลงค์ ซ้ำ 1 (กรัม)   |
|       | $B_2$                | = | น้ำหนักตะกอนของเบลงค์ ซ้ำ 2 (กรัม)   |
|       | $B_{\text{protein}}$ | = | ปริมาณโปรตีนในเบลงค์ (กรัม)          |
|       | $B_{\text{ash}}$     | = | ปริมาณเถ้าในเบลงค์ (กรัม)            |
|       | $W_1$                | = | น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น ซ้ำ 1 (กรัม) |
|       | $W_2$                | = | น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น ซ้ำ 2 (กรัม) |

## 7. ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

นำปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และใยอาหารทั้งหมดของตัวอย่างมาคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากสมการ

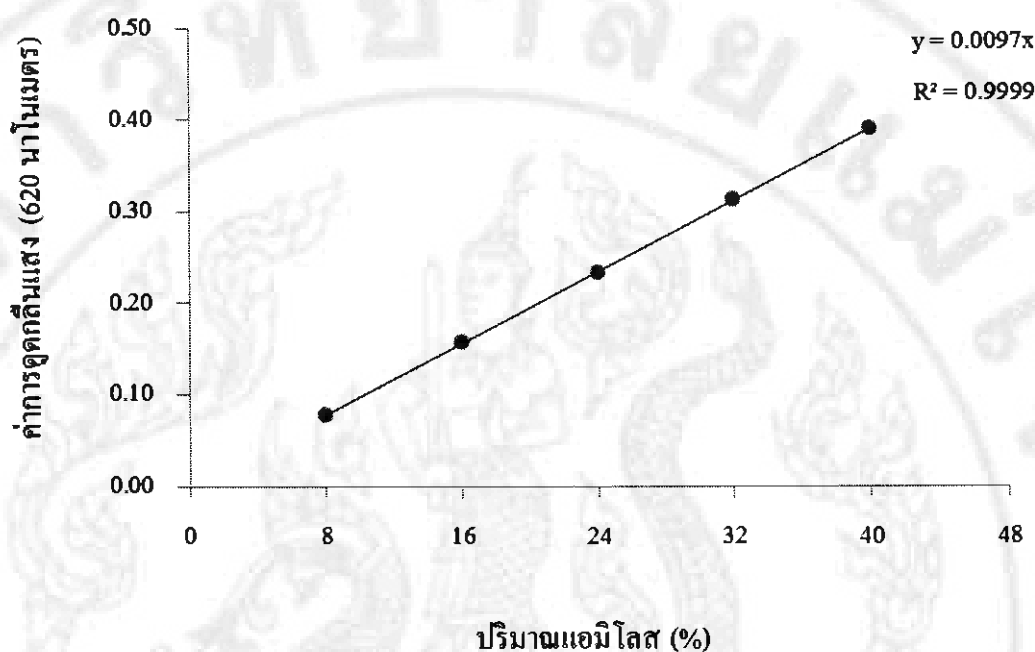
$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (\%)} = 100 - (\text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เถ้า} + \text{ใยอาหารทั้งหมด})$$

## 8. ปริมาณแอมิโลส (Juliano et al., 1981)

### 8.1. การสร้างกราฟมาตรฐาน

ซังสารมาตรฐานแอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (potato amylose pure) 0.04 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำละลายเอทานอล 95% 1 มล. เขย่าให้เข้ากัน เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มอล 9 มล. โดยไม่ต้องเขย่า นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 100 °ซ 10 นาที ถ่ายสารละลายที่ได้ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที ปิเปตสารละลายมาตรฐานที่ได้ 1, 2, 3, 4 และ 5 มล. ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล. เติมน้ำละลายกรดอะซิติก 1 นอร์มอล 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มล. ลงในขวดปรับปริมาตรแต่ละขวด คามล้าดับ เติมน้ำละลายไอโอดีน 2 มล. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ยี่ห้อ

RAYLEIGH รุ่น VIS-723G สร้างกราฟมาตรฐานโดยให้ปริมาณแอมิโลสเป็นแกน X และค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกน Y แล้วสร้างสมการเส้นตรงเพื่อแสดงความสัมพันธ์ ดังแสดงในภาพผนวก 4



ภาพผนวก 4 กราฟมาตรฐานของปริมาณแอมิโลส

เมื่อนำปริมาณแอมิโลส และค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแอมิโลส ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร มาสร้างกราฟมาตรฐาน (ภาพผนวก 4) พบว่ามีความสัมพันธ์ดัง สมการ  $y = 0.009x$  โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.999

## 8.2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่าง 0.1 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำตาลละลาย เอทานอล 95% 1 มล. เขย่าให้เข้ากัน เติมน้ำตาลละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มอล 9 มล. โดยไม่ต้องเขย่า นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 100 °ซ 10 นาที ถ่ายสารละลายที่ได้ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที ปิเปิดสารละลายตัวอย่าง 5 มล. ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มล. เติมน้ำตาลละลาย กรดอะซิติก 1 นอร์มอล 1 มล. และสารละลายไอโอดีน 2 มล. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 10 นาที ทำแบลนด์เช่นเดียวกับตัวอย่างแต่ไม่ใส่สารละลายตัวอย่าง นำไปวัดค่า



การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยปรับค่าของแบลด์เป็นศูนย์ คำนวณหาปริมาณอะมิโลสโดยเทียบจากกราฟมาตรฐาน

#### 9. ปริมาณเบต้าแคโรทีน (ดัดแปลงจาก Biswas et al., 2011)

ใช้เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography; HPLC) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น LC-20A พร้อมคอลัมน์ Inertsil ODS-3 ขนาด  $4.6 \times 150$  มม. และซอฟต์แวร์ LCsolution

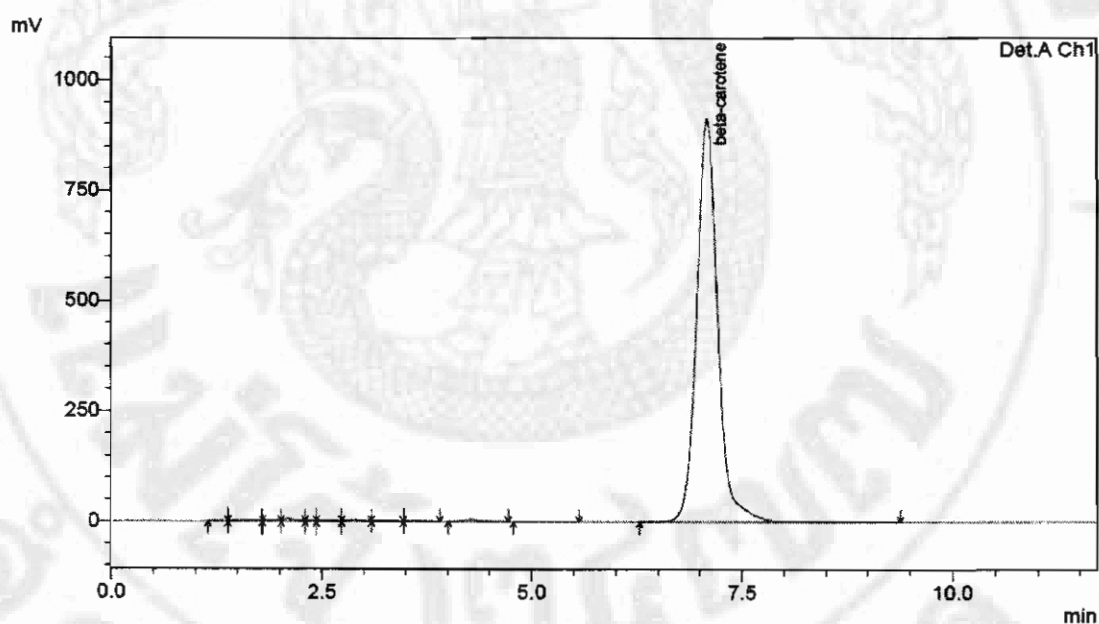
เตรียมเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ได้แก่ เอทานอล และอะซิโตไนไตรล์ (HPLC grade) โดยนำมากรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร (เส้นผ่านศูนย์กลาง 45 มม.) ด้วยชุดกรองสุญญากาศ (vacuum filter assembly) ยี่ห้อ Wheaton ขนาด 47 มม. แล้วนำไปกำจัดฟองอากาศด้วยอ่างล้างความถี่สูง (ultra sonic bath) ยี่ห้อ Branson รุ่น B-5510E-MT ประมาณ 15 นาที กำหนดสภาวะในการทำงานของเครื่อง HPLC ดังแสดงในตารางผนวก 2

ตารางผนวก 2 สภาวะในการทำงานของเครื่อง HPLC

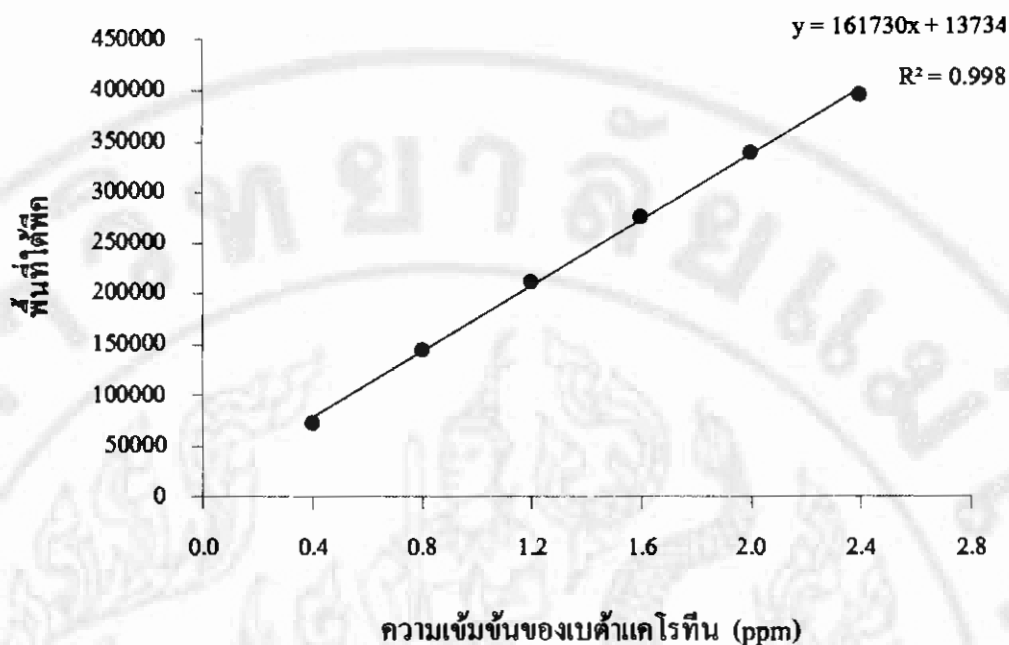
| Caption                             | Condition      |
|-------------------------------------|----------------|
| Mode                                | Isocratic flow |
| Mobile Phase A Conc. (Ethanol)      | 40 %           |
| Mobile Phase B Conc. (Acetonitrile) | 60 %           |
| Flow Rate                           | 1.50 ml/min    |
| Detector Wavelength                 | 450 nm         |
| Column Oven                         | 40 °C          |
| Injection Volume                    | 10 $\mu$ l     |
| End Time                            | 10.0 in        |

### 9.1. การสร้างกราฟมาตรฐาน

ชั่งสารมาตรฐานเบต้าแคโรทีน 10 มก. ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในขวดปรับปริมาตรที่บ่งขนาด 100 มล. ปรับปริมาตรด้วยอะซิโตน (แช่เย็นให้มีอุณหภูมิประมาณ 4 °ซ) เขย่าให้เข้ากัน ปิเปตสารละลายมาตรฐานที่ได้ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 มล ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรที่บ่งขนาด 50 มล. ปรับปริมาตรด้วยอะซิโตนแช่เย็น กรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร (เส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มม.) โดยใช้ชุดกรอง (syringe filter holder) ปู่หือ Whatman ขนาด 13 มม. ใส่ลงในขวดบรรจุสารที่บ่งขนาด 1.5 มล. นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC สร้างกราฟมาตรฐานโดยให้ความเข้มข้นของเบต้าแคโรทีนเป็นแกน X และพื้นที่ใต้พีก (peak area) เป็นแกน Y แล้วสร้างสมการเส้นตรงเพื่อแสดงความสัมพันธ์ ดังแสดงในภาพผนวก 6



ภาพผนวก 5 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานเบต้าแคโรทีนความเข้มข้น 2.4 ppm



ภาพผนวก 6 กราฟมาตรฐานของปริมาณเบต้าแคโรทีน

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ที่ความยาวคลื่นของการตรวจวัดเท่ากับ 450 นาโนเมตร พบว่าเบต้าแคโรทีนมีเวลาริเทนชัน (retention time) ประมาณ 7.0 นาที ดังแสดงในภาพผนวก 5 และเมื่อนำความเข้มข้นของเบต้าแคโรทีนและพื้นที่ใต้พีคมาสร้างกราฟมาตรฐาน (ภาพผนวก 6) พบว่ามีความสัมพันธ์ดังสมการ  $y = 161730x + 13734$  โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.998

## 9.2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ซึ่งตัวอย่าง 1.5 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในหลอดทดลองที่บดแสงชนิดฝาเกลียว เดิมอะซิโตนแห้งเย็น 10 มล. ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสมสารละลาย 20 วินาที 3 ครั้ง แห้งเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 4 °ซ 15 นาที นำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ (centrifuge) ยี่ห้อ Sorvall รุ่น RC-5C Plus ที่อุณหภูมิ 4 °ซ ความเร็ว 1,370 g 10 นาที ใช้ปิเปตดูดสารละลายด้านบนใส่ลงในขวดปริมาตรที่บดแสงขนาด 50 มล. นำตะกอนไปสกัดซ้ำเช่นเดิม 4 รอบ จนได้สารละลายใสไม่มีสี ปริมาตรสารละลายตัวอย่างด้วยอะซิโตนแห้งเย็น กรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร ใส่ลงในขวดบรรจุสารที่บดแสงขนาด 1.5 มล. นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC คำนวณหาปริมาณเบต้าแคโรทีนโดยเทียบจากกราฟมาตรฐาน

## 10. ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Ranganna, 1977)

### 10.1. ตัวอย่างเปลือกผล

ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในหลอดทดลองที่บดแสงชนิดฝาเกลียว เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1.0 % 10 มล. ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสมสารละลาย 20 วินาที 3 ครั้ง แช่เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 4 °C 12 ชั่วโมง นำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิที่ 4 °C ความเร็ว 1,370 g 10 นาที ใช้ปิเปตดูดสารละลายด้านบนใส่ลงในขวดปริมาตรที่บดแสงขนาด 25 มล. นำตะกอนไปสกัดซ้ำเช่นเดิมอีก 1 รอบ กรองสารละลายที่สกัดได้ผ่านกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman เบอร์ 4 ปริมาตรด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1.0 % นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ยี่ห้อ RAYLEIGH รุ่น VIS-723G ที่ความยาวคลื่น 496 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดจากสมการ

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (มก./100 กรัม)} = \frac{\text{Absorbance} \times 25 \times 1000}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง} \times E}$$

เมื่อ  $E$  = molecular extinction coefficient ของแอนโทไซยานินที่พบในตัวอย่าง

ซึ่งจากรายงานของ Chan et al. (1977) พบว่าแอนโทไซยานินหลักที่พบในเปลือกคือ pelargonidin-3-glucoside ซึ่งมีค่า  $E$  เท่ากับ 561

### 10.2. ตัวอย่างถั่วแดง

ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างเปลือกผล (ข้อ 10.1.) แต่ใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกในเมทานอล 0.1 % เป็นตัวสกัด วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร และคำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดโดยใช้ค่า  $E$  ของ delphinidin-3-glucoside ซึ่งมีค่าเท่ากับ 559 เนื่องจากเป็นแอนโทไซยานินหลักที่พบในถั่วแดง (Tsuda et al., 1994; Takeoka et al., 1997; Choung et al., 2003)



ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยา

## การวิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยา

### 1. ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (AOAC, 2005)

สุ่มตัวอย่างผง 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว เติมน้ำสารละลายเปปโตน 9 มล. ผสมให้เข้ากัน ทำการเจือจางตัวอย่างจนได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมโดยใช้สารละลายเปปโตน จากนั้นทำการ pour plate โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ PCA แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตรวจสอบจำนวนโคโลนีบนจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนอยู่ระหว่าง 25-250 โคโลนี รายงานผลในหน่วยจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (cfu/g)

### 2. ปริมาณยีสต์และรา (AOAC, 2005)

สุ่มตัวอย่างผง 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว เติมน้ำสารละลายเปปโตน 9 มล. ผสมให้เข้ากัน ทำการเจือจางตัวอย่างจนได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมโดยใช้สารละลายเปปโตน จากนั้นทำการ spread plate โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 72-120 ชั่วโมง ตรวจสอบจำนวนโคโลนีบนจานเพาะเชื้อ หาค่าเฉลี่ย แล้วรายงานค่าเป็นจำนวนโคโลนีของยีสต์และราทั้งหมดต่อตัวอย่าง 1 กรัม (cfu/g)



ภาควิชาภาษาไทย

การวิเคราะห์สมบัติทางหน้าที่

## การวิเคราะห์สมบัติทางหน้าที่

### 1. ความสามารถในการดูดซับน้ำ (water absorption capacity; WAC) และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (oil absorption capacity; OAC) (ดัดแปลงจาก AACC, 2000)

นำหลอดปั่นเหวี่ยงที่แห้งสนิทขนาด 15 มล. มาชั่งน้ำหนัก ( $W_1$ ) ซึ่งตัวอย่าง 1 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ( $W_s$ ) ใส่ลงในหลอดปั่นเหวี่ยง เติมน้ำกลั่น (สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำ) หรือน้ำมันถั่วเหลือง (สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน) 10 มล. ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสมสารละลาย 20 วินาที 3 ครั้ง ตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที นำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °ซ ความเร็ว 1000 g 15 นาที ใช้ปิเปตดูดส่วนที่เป็นของเหลวด้านบนออก คว่ำหลอดโดยเอียงทำมุม 45 องศา ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที แล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ ) คำนวณหาความสามารถในการดูดซับน้ำ และความสามารถในการดูดซับน้ำมันจากสมการ

$$\text{WAC หรือ OAC (\%)} = \frac{[(W_2 - W_1) - W_s] \times 100}{W_s}$$

### 2. ดัชนีการละลายน้ำ (water solubility index; WSI) และความสามารถในการพองตัว (swelling capacity; SC) (ดัดแปลงจาก Bello-Perez, 1999)

นำหลอดปั่นเหวี่ยงที่แห้งสนิทขนาด 15 มล. มาชั่งน้ำหนัก ( $W_1$ ) ซึ่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ( $W_s$ ) ใส่ลงในหลอดปั่นเหวี่ยง เติมน้ำกลั่น 10 มล. ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสมสารละลาย 20 วินาที 3 ครั้ง นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 95 °ซ 30 นาที โดยนำออกมาเขย่าทุกๆ 5 นาที นำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °ซ ความเร็ว 1000 g 15 นาที ใช้ปิเปตดูดส่วนที่เป็นของเหลวด้านบนใส่ลงในกระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมฝาที่ผ่านการอบแห้งและทราบน้ำหนักแน่นอน ( $W_2$ ) นำหลอดปั่นเหวี่ยงพร้อมตัวอย่างที่พองตัวไปชั่งน้ำหนัก ( $W_3$ ) นำกระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมส่วนที่เป็นของเหลวไปอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ จนมีน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_4$ ) คำนวณหาดัชนีการละลายน้ำ และความสามารถในการพองตัวจากสมการ



$$WSI (\%) = \frac{(W_4 - W_2) \times 100}{W_s}$$

$$SC = \frac{(W_3 - W_1) \times 100}{W_s \times (100 - WSI)}$$

### 3. ความหนาแน่นจำเพาะ (Bulk density; BD) (ดัดแปลงจาก Kaur et al., 2007)

นำกระบอกตวงขนาด 10 มล. ที่แห้งสนิทมาชั่งน้ำหนัก ( $W_1$ ) บรรจุตัวอย่างลงในกระบอกตวงประมาณ 10 มล. แล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ ) กระแทกกระบอกตวงกับโต๊ะพื้นเรียบ โดยยกกระบอกตวงให้สูงจากพื้นโต๊ะประมาณ 15 ซม. จนกระทั่งระดับของตัวอย่างไม่เปลี่ยนแปลง บันทึกปริมาตรของตัวอย่างในกระบอกตวง ( $V$ ) คำนวณหาความหนาแน่นจำเพาะโดยเทียบจากปริมาตร 1 มล. เท่ากับ 1 ซม.<sup>3</sup> จากสมการ

$$BD (\text{กรัม/ซม.}^3) = \frac{W_2 - W_1}{V}$$

### 4. ลักษณะเนื้อสัมผัส

ใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ยี่ห้อ Stable Microsystems รุ่น TA.XT Plus และซอฟต์แวร์ Texture Exponent 32 โดยใช้วิธีการวัดแบบ texture profile analysis (TPA)

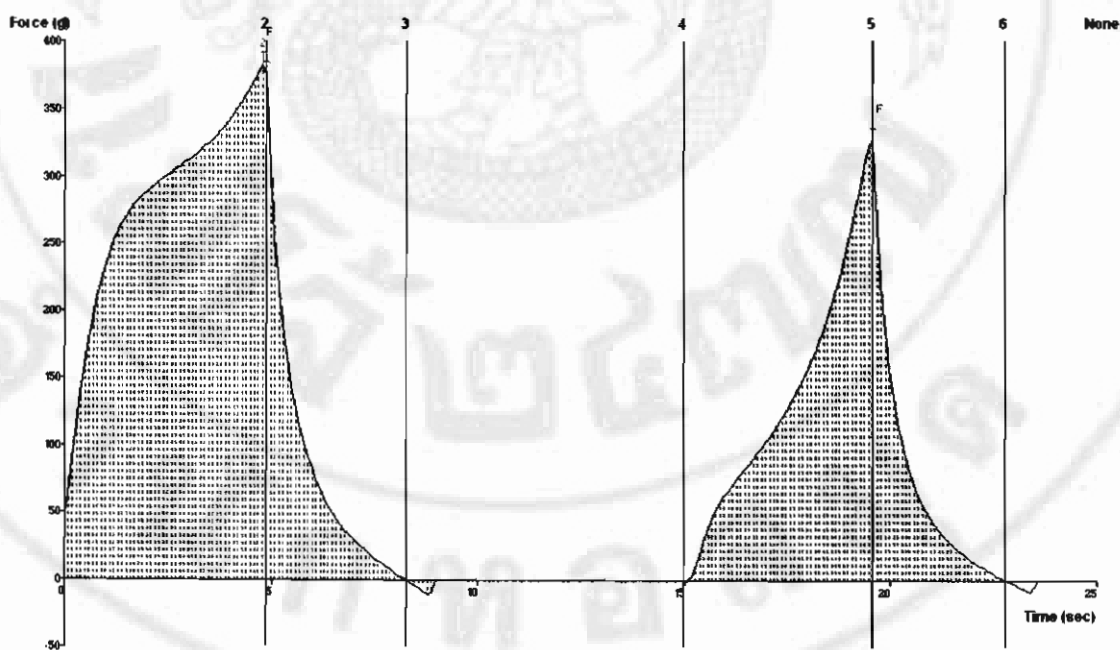
#### 4.1. ตัวอย่างขนมปังและเค้กเนย (ดัดแปลงจาก Huttner et al., 2010)

หั่นตัวอย่างตามแนวขวางให้เป็นแผ่นหนา 25 มม. ตัดขอบทุกด้านออก 1 ซม. หั่นตัวอย่างให้มีขนาด 25×25×25 มม. (กว้าง×ยาว×สูง) ต่อหัววัดทรงกระบอก (cylindrical probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. เข้ากับเครื่องวัด กำหนดสภาวะในการทำงานของเครื่องดังแสดงในตารางผนวก 3

### ตารางผนวก 3 สภาวะในการทำงานของเครื่อง texture analyzer

| Caption         | Value | Units  |
|-----------------|-------|--------|
| Pre-Test Speed  | 2.00  | mm/sec |
| Test Speed      | 2.00  | mm/sec |
| Post-Test Speed | 2.00  | mm/sec |
| Strain          | 40.00 | %      |
| Time            | 5.00  | sec    |
| Trigger Force   | 50.0  | g      |

ทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่าง ซึ่งจะได้กราฟ TPA ดังแสดงในภาพผนวก 7 คำนวณค่าความแข็ง (hardness) การยึดเกาะ (adhesiveness) การคืนตัว (springiness) การเกาะตัวกัน (cohesiveness) และความยากในการเคี้ยว (chewiness) ดังนี้



ภาพผนวก 7 กราฟ TPA ของตัวอย่างเค้กเนยที่ทำจากแป้งสาลีล้วน

$$\begin{aligned}
 \text{Hardness (g)} &= \text{Force 2} \\
 \text{Adhesiveness (g.s)} &= \text{Area 3:4} \\
 \text{Springiness} &= \frac{\text{Time difference 4:5}}{\text{Time difference 1:2}} \\
 \text{Cohesiveness} &= \frac{\text{Area 4:6}}{\text{Area 1:3}} \\
 \text{Chewiness} &= \frac{\text{Force 2} \times \text{Area 4:6} \times \text{Time difference 4:5}}{\text{Area 1:3} \times \text{Time difference 1:2}} \\
 \text{หรือ} &= \text{Hardness} \times \text{Cohesiveness} \times \text{Springiness}
 \end{aligned}$$

#### 4.2. ตัวอย่างไส้ขนมปัง (คัดแปลงจาก เฉลิมพล, 2547)

ซึ่งตัวอย่าง 100 กรัม ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มม. สูง 40 มม. ต่อบั้ววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. เข้ากับเครื่องวัด กำหนดสถานะในการทำงานของเครื่องดังแสดงในตารางผนวก 2 ทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่าง คำนวณค่าความแข็ง การบีบเคาะ การเกาะตัวกัน และความยากในการเคี้ยว



ภาคผนวก จ

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

## การทดสอบทางประสาทสัมผัส

### 1. วิธีการทดสอบ

ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างขนมปัง เค้กเนย และไส้ขนม โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน (semi-trained panelists) ซึ่งเป็นนักศึกษาและบุคลากรในคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 30 คน

เตรียมตัวอย่างขนมปังและเค้กเนย โดยใช้มีดหั่นตามแนวขวางให้เป็นแผ่นหนาประมาณ 1.5 ซม. ตัดแบ่งครึ่งตามแนวตั้ง บรรจุลงในถุงซิปล็อค ระบุรหัสของตัวอย่างเป็นตัวเลข 3 หลักที่ได้จากการสุ่ม

เตรียมตัวอย่างไส้ขนม โดยทำไส้ขนมลงบนขนมปังแซนวิชให้มีความหนาประมาณ 0.5 ซม. ประกบด้วยขนมปังแซนวิชอีก 1 แผ่น หั่นขอบขนมปังทั้ง 4 ด้านออก ตัดแบ่งครึ่งให้เป็น 4 ชิ้นเท่าๆ กัน บรรจุลงในถุงซิปล็อค ระบุรหัสของตัวอย่างเป็นตัวเลข 3 หลักที่ได้จากการสุ่ม

ให้ผู้ทดสอบประเมินความชอบที่มีต่อตัวอย่างในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-point hedonic scale (Meilgaard et al., 1991) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (Montgomery, 2005) ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows เวอร์ชัน 16.0

## 2. แบบทดสอบ

## แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์.....

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

คำแนะนำ: กรุณาทดสอบตัวอย่างต่อไปนี้ตามลำดับจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนตามระดับความชอบของท่าน (กรุณาบ้วนปากด้วยน้ำที่เตรียมไว้ก่อนการชิมตัวอย่างทุกครั้ง)

คะแนนความชอบ: 1 = ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง  
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย  
7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากอย่างยิ่ง

| ลักษณะ<br>ทางประสาทสัมผัส | รหัสตัวอย่าง |       |       |       |       |       |
|---------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                           | .....        | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| สี                        |              |       |       |       |       |       |
| กลิ่น                     |              |       |       |       |       |       |
| รสชาติ                    |              |       |       |       |       |       |
| เนื้อสัมผัส               |              |       |       |       |       |       |
| ความชอบโดยรวม             |              |       |       |       |       |       |

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

“ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ”



ภาคผนวก ข

ประวัติผู้วิจัย

## ประวัติผู้วิจัย

|                      |          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ-สกุล            |          | นายวิศรุต สุวรรณ                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| เกิดเมื่อ            |          | 4 พฤษภาคม 2529                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| ประวัติการศึกษา      | พ.ศ.2551 | วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร)<br>มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                      | พ.ศ.2547 | มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเมืองเชียงราย<br>(โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ เชียงราย)<br>จังหวัดเชียงราย                                                                                                                                                                                                                      |
| ผลงานทางวิชาการ      | พ.ศ.2555 | “Effects of Additive and Drying Temperature on<br>Pumpkin Powder Quality and Potential Use in Bread<br>Making”. In The 1 <sup>st</sup> ASEAN Plus Three Graduate<br>Research Congress (AGRC) 2012.<br>1 <sup>st</sup> – 2 <sup>nd</sup> March 2012. The Empress Convention<br>Center, The Empress Hotel, Chiang Mai, Thailand |
|                      | พ.ศ.2555 | “Effects of Soaking and Cooking on Physicochemical<br>and Function Properties of Red Kidney Bean Powder”.<br>In International Conference on Food and Applied<br>Bioscience. 6 <sup>th</sup> – 7 <sup>th</sup> February 2012<br>Kantary Hill Hotel, Chiang Mai, Thailand                                                       |
|                      | พ.ศ.2555 | “ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของถั่วแดงผงและ<br>การนำไปใช้ทำขนมปัง” ในการประชุมทางวิชาการของ<br>มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50<br>ระหว่างวันที่ 31 มกราคม – 2 กุมภาพันธ์ 2555<br>ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ                                                                                                 |
| ทุนการศึกษาที่ได้รับ | พ.ศ.2552 | ทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการ<br>ผลิตกับงานวิจัย ทุนสกว.-อุตสาหกรรม                                                                                                                                                                                                                                        |
|                      | พ.ศ.2549 | Japanese Chamber of Commerce (JCC) 21 <sup>st</sup> Century<br>Education Fund                                                                                                                                                                                                                                                 |