รหัสโครงการ 2554A16662004

# โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นจากข้าวหอมนิล

# Product development of extruded snack from Hom Nil rice

ผู้วิจัย

นางอาภัสรา แสงนาค

นางสาวอัญชลี เรืองเดช

นางสาวกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์

นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล

นางสาวอุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

มหาวิทยาลัยบูรพา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนับสนุนโดย สำนักบริหารโครงการวิจัยในอุดมศึกษา

และพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

# บทคัดย่อ

งานวิจัยมีการสร้างเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยวซึ่งทำจากสแตนเลสสตีล โดยมีโครงสร้างขนาด 50 x 80 x 90 เซนติเมตร โดยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ดังกล่าวประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนป้อนวัตถุดิบ ส่วนให้ความร้อนวัตถุดิบ และส่วนทางออกของผลิตภัณฑ์ ส่วนของบาร์เรลซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ทำให้วัตถุดิบสุก และส่วนที่เป็นทางออกของผลิตภัณฑ์ ในส่วนของสกรูลำเลียงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร และมีความยาว 25 เซนติเมตร ขนาดของรูเปิดซึ่งเป็นทางออกของผลิตภัณฑ์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 มิลลิเมตร แหล่งให้ความร้อนของบาร์เรลมีชุดให้ความร้อนกำลัง 550 วัตต์ ความต่างศักย์ 220 โวลท์ มีมอเตอร์กระแสตรงขนาดกำลัง 5 แรงม้า ความต่างศักย์ 380 โวลท์ เพื่อขับเคลื่อนสกรูของเครื่อง จากผลการทดลองเบื้องต้น พบว่าเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดการดำเนินการทดลอง

ศึกษาผลของความชื้นของแป้งข้าวหอมนิลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและการยอมรับของผู้บริโภค โดยแปรความชื้นของแป้งข้าวหอมนิลเป็นร้อยละ 13, 15 และ 17 ตามลำดับ โดยควบคุมอุณหภูมิของบาร์เรลส่วนทำให้แป้งสุก และบาเรลส่วนที่เป็นทางออกของผลิตภัณฑ์เป็น 80 และ 120 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และกำหนดให้การส่งผ่านวัตถุดิบโดยสกรูที่ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที พบว่าการเพิ่มความชื้นของแป้งข้าวหอมนิลจากร้อยละ 15 เป็น 17 ส่งผลให้สัดส่วนการพองตัว การดูดซับน้ำ การละลายน้ำ และความแข็งของผลิตภัณฑ์ลดลง และผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นที่ทำทำจากแป้งข้าวหอมนิลที่มีความชื้นร้อยละ 15 เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด ต่อมาศึกษาผลของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิของบาร์เรลในส่วนทางออกของผลิตภัณฑ์ (120, 140 และ 160 องศาเซลเซียส) และความเร็วรอบของสกรู (150, 200 และ 250 รอบต่อนาที) ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและการยอมรับของผู้บริโภค ผลการทดลองพบว่า อิทธิพลของทั้งสองปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อคุณภาพและการยอมรับของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความเร็วรอบของสกรูส่งผลให้สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์จึงมีความหนาแน่นและความแข็งลดลง โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีสมบัติด้านสัดส่วนการพองตัว ความหนาแน่น การดูดซับน้ำ การละลายน้ำ และค่าความแข็งอยู่ในช่วงร้อยละ 2.45-3.60, 0.22-0.46 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร, 5.28-6.52 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง, ร้อยละ 4.04-10.76 และ 2.10-3.14 นิวตัน จากผลการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าวหอมนิล คือ กำหนดอุณหภูมิของทางออกของผลิตภัณฑ์ที่บาร์เรลเป็น 120 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบของสกรูเท่ากับ 250 รอบต่อนาที จากนั้นศึกษาเปรียบเทียบชนิดของภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ภาชนะบรรจุที่ทำจาก Oriented polypropylene (OPP) และ Metallized Oriented polypropylene (Met OPP) ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ($a_w$) ความชื้นลดลง แต่มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในภาชนะบรรจุทั้ง 2 ชนิดยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคตลอดอายุการเก็บรักษา 12 สัปดาห์

## Abstract

Single screw extruder was installed on the stainless steel table in dimension 50 * 80 *90 cm. The extruder composed of three sections, feeding section, cooking or compression section, and metering or die section. There were two zone of barrels, transition zone and die zone. Screw was 2.5 cm diameter and 25 cm length. The die hole was 0.3 mm in diameter. Barrel sections were heated with band heater (220 Volt, 550 Watt). The extruder screw was driven by DC motor (5 HP, 380V). The preminary performance of laboratory scale single screw extruder could maintain temperature during extrusion.

The effect of Hom Nil rice flour moisture contents at 13, 15, and 17% on physiochemical properties and consumer acceptance of Hom Nil rice snack were firstly investigated. Where as transition and die zone of barrel temperature were fixed at 80 and 120 °C, respectively; feeding operated at 250 rpm screw speed. Increasing feed moisture content from 15% to 17% resulted in extrudates with a lower expansion ratio, lower water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), hardness and higher density At 15% feed moisture content caused the most acceptability by consumer of the extrudate. Secondly, die barrel temperature (120, 140, 160°C) and screw speed (150, 200, 250 rpm) on physiochemical properties of Hom Nil rice snacks qualities and acceptance were then investigated. The results for the effect of extrusion conditions indicated that interaction of the two factors were significantly affected on physiochemical properties and consumer acceptance of products ($p<0.05$). Increasing temperature and scerw speed caused an increase in expansion ratio, a decrease in density and hardness. The values of expansion ratio, density, WAI, WSI and hardness varied from 2.45-3.60, 0.22-0.46 g/cm$^3$, 5.28-6.52 g $H_2O$/g sample, 4.04-10.76%, and 2.10-3.14 N, respectively within the combination of studied variables. The results of physiochemical properties and sensory evaluation showed the samples for the conditions of die barrel temperature and screw speed at 120$^{\circ}$C 250 rpm, respectively, obtained the highest product qualities. Thus, this condition was selected as optimum extrusion to produce Hom Nil rice snack for this extruder. Finally, the two suitable types of the snack packages, Oriented polypropylene (OPP) and Metallized Oriented polypropylene (Met OPP) packages, on extrudate qualities were compared for 12 weeks at room temperature. As a results, water activity ($a_w$), and moisture content of extrudates were increased directly with preservation peroid as increased hardness along 12 weeks ($p<0.05$). Extrudates of the both packages were still accepted by consumer for 12 week preservation.

# กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนการดำเนินการวิจัยจากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา งบประมาณ ปี พ.ศ. 2554 สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) กลุ่มเรื่องการเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรเพื่อการส่งออกและลดการนำเข้า

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สำนักงานวิจัยและพัฒนา (สวพ.) และสำนักงานกองคลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ทุกท่านที่ประสานงานด้านเอกสารและด้านการเงินในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อ ค

กิตติกรรมประกาศ จ

สารบัญ ฉ

สารบัญตาราง ซ

สารบัญภาพ ญ

บทที่ 1 บทนำ

ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย 1

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าวหอมนิล 3

กระบวนการเอกซ์ทรูชั่น 4

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ 5

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น 11

การบรรจุและเก็บรักษาขนมขบเคี้ยว 12

บทที่ 3 วิธีดำเนินการ

วัตถุดิบ 13

อุปกรณ์ 13

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว 13

2. ศึกษาผลของความชื้นของแป้งข้าวหอมนิล อุณหภูมิที่บาร์เรล และความเร็วรอบสกรู ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว 14

3. ศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล 18

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4

1. ผลการออกแบบและสร้างเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยว 20
2. ผลการศึกษาผลของความชื้นของแป้งข้าวหอมนิล อุณหภูมิที่บาร์เรล และความเร็วรอบสกรู ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว 24
3. ผลการศึกษาหาชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล 39

บทที่ 5 สรุปผล 45

บรรณานุกรม 46

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องเติมในแป้งเพื่อให้ได้ความชื้นที่ต้องการ 49

ภาคผนวก ข แบบประเมินผลการทดลองทางประสาทสัมผัส 52

ภาคผนวก ค ตารางผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 54

ภาคผนวก ง ผลงานเชิงสาธารณะของงานวิจัย 73

ภาคผนวก จ รายงานการเงิน 81

ภาคผนวก ฉ ประวัติผู้วิจัย 83

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2-1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวหอมนิลเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิ ([1] เอกสารการเผยแพร่ บริษัทสีนิล ไรน์ จำกัด,2550 ; [2] ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น, 2550 ; [3] โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา, 2006) 4

2-2 ลักษณะและการทำงานของเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทต่างๆ 9

4-1 อัตราการผลิตการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่ใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้นเริ่มต้นของแป้งต่างกัน 25

4-2 สัดส่วนการพองตัวและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่ใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้นเริ่มต้นของแป้งต่างกัน 26

4-3 การดูดซับน้ำ (WAI) และการละลายของผลิตภัณฑ์ (WSI) ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่ใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้นเริ่มต้นของแป้งต่างกัน 27

4-4 ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่ใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้นเริ่มต้นของแป้งต่างกัน 27

4-5 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของที่ได้จากการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่ใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที 28

4-6 อัตราการผลิตการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ 30

4-7 ค่า F และ p ของสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ การดูดซับน้ำ (WAI) การละลาย (WSI) และความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ 31

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-8 สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ 32
4-9 การดูดซับน้ำ (WAI) และการละลายของผลิตภัณฑ์ (WSI) ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ 33
4-10 ค่า F และ p ของลักษณะเนื้อสัมผัสค่าความแข็งที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ 35
4-11 ลักษณะเนื้อสัมผัสค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ 35
4-12 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของที่ได้จากการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ 38
4-13 ค่า $a_w$ ความชื้น และความแข็ง (Hardness) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าว-หอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP และ Met OPP เป็นเวลา 12 สัปดาห์ 41
4-14 ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP และ Met OPP เป็นเวลา 12 สัปดาห์ 42
4-15 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP และ Met OPP เป็นเวลา 12 สัปดาห์ 43
4-16 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP และ Met OPP เป็นเวลา 3 เดือน 44

# สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 ข้าวหอมนิล 3
2-2 ภาพตัดขวางของเอกซ์ทรูเดอร์ 6
2-3 ภาพตัดลักษณะเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยว (Single screw extruder) 10
2-4 เอกซ์ทรูเดอร์สกรูคู่ (Twin screw extruder) 11
3-1 ภาพลายเส้นแสดงส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยว 14
3-2 ตัวอย่างการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส 17
4-1 เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวขนาดทดลอง 20
4-2 บาร์เรล (Barrel) และหัวตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature sensor) 21
4-3 สกรูของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวขนาดทดลอง 22
4-4 ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวขนาดทดลอง 22
4-5 ชุดป้อนวัตถุดิบ 23
4-6 พลูเลย์ตามเป็นร่องวี 3 ร่อง โดยมีอัตราทด 1:3 23
4-7 ชุดตัดผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยใบมีดตัด ขับด้วยมอเตอร์ขนาด DC Motor 12V 24
4-8 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เตรียมจากความชื้นเริ่มต้นของแป้งต่างกันโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 10 เท่า 29
4-9 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่างๆ 36
4-10 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่ได้จากการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่อุณหภูมิ และความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 10 เท่า 37

# บทที่ 1
# บทนำ

**ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย**

กระบวนการเอกซ์ทรูชั่น (Extrusion) เป็นกระบวนการแปรรูปอาหารโดยอาศัยหลักการใช้ความร้อนที่เกิดจากแรงต้านทานและแรงเฉือนระหว่างวัตถุดิบกับสกรูและบาร์เรลของเอกซ์ทรูเดอร์ ทำให้ได้อาหารที่มีลักษณะสุกหรือเกือบสุก ปัจจุบันมีการยอมรับและใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร โดยกระบวนการนี้จะใช้อุณหภูมิสูง (ประมาณ 200 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาสั้น (5-120 วินาที) เรียกว่า High temperature short time (HTST) ซึ่งสามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบที่นำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารได้เป็นอย่างดี และยังเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใหม่อีกด้วย (พอใจ, 2532; Harper, 1981)

ประเทศไทยมีการผลิตอาหารสำเร็จรูปโดยวิธีการเอกซ์ทรูชั่นมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรให้มีรูปแบบหลากหลาย และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น ขนมขบเคี้ยวต่างๆ ที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง อย่างไรก็ตามเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ผลิตขายมีราคาแพงมาก ทั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ตระหนักถึงความสำคัญของเครื่องมือดังกล่าวในการนำไปพัฒนางานด้านการเรียนการสอนและการวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารของอาจารย์และนักศึกษาภาควิชาเทคโนโลยีอาหารและโภชนาการได้ เนื่องจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ต้นแบบนี้สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ให้เหมาะสมกับวัตถุดิบและกระบวนการผลิตได้ เช่น อุณหภูมิ ความเร็วรอบของสกรู ความเร็วของการป้อนของวัตถุดิบ เพื่อรองรับกับการผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลายรูปแบบ จึงมีความคิดที่จะสร้างเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยวต้นแบบโดยใช้วัสดุที่ผลิตภายในประเทศไทย ซึ่งเป็นเครื่องที่มีกำลังที่พอเหมาะกับการทำงานวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการรวมทั้งอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลาง โดยเครื่องต้นแบบนี้จะมีข้อได้เปรียบในด้านต้นทุนการผลิตที่ต่ำ การดูแลบำรุงรักษาและการทำความสะอาดง่าย และใช้พลังงานต่ำ จึงสามารถต่อยอดงานวิจัยไปสู่การพัฒนาทางอุตสาหกรรมเกษตรโดยเฉพาะอุตสาหกรรมเกษตรขนาดเล็กและขนาดย่อมภายนอกมหาวิทยาลัย เพื่อเป็นการเสริมสร้างความเข้มแข็งให้ระบบเศรษฐกิจชุมชนต่อไปด้วย

จากการรายงานของกองโภชนาการ (2546) พบว่าภาวะการขาดธาตุเหล็กของคนไทยมีเพิ่มขึ้น โดยพบในเด็กอายุ 6-8 ปี มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 46.7 ของจำนวนคนที่สำรวจ 501 คน ข้าวหอมนิลเป็นพันธุ์ข้าวที่พัฒนาขึ้นโดยวิธีการปรับปรุงด้านพันธุกรรมของข้าว Hin Bao ที่เป็นข้าวเหนียวดำจากประเทศจีน และเป็นพันธุ์ข้าวที่มีธาตุเหล็กสูงถึง 3.26 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (อภิชาติ วรรณวิจิตร, 2548) โดยหากนำข้าวหอมนิลมาผลิตเป็นแป้งข้าวเพื่อผลิตเป็นขนมขบเคี้ยว จะช่วยลดการนำเข้าแป้งสาลีจากต่างประเทศ และช่วยลดปัญหาการขาดธาตุเหล็กของคนไทยได้ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มศักยภาพการนำแป้งข้าวหอมนิลมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้นด้วย

**วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย**

1. เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว
2. เพื่อศึกษาผลของความชื้นของวัตถุดิบ อุณหภูมิที่บาร์เรล และความเร็วของสกรูต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวหอมนิล
3. เพื่อศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล

# บทที่ 2
# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## ข้าวหอมนิล

ข้าวหอมนิลเป็นพันธุ์ข้าวที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยวิธีการปรับปรุงด้านพันธุกรรมของข้าว Hin Bao ซึ่งเป็นข้าวเหนียวดำจากประเทศจีน จนได้ข้าวที่มีเมล็ดข้าวเรียวยาวสีม่วงเข้ม เมื่อหุงสุก มีลักษณะนุ่ม เหนียวและหอม

1. ลักษณะประจำพันธุ์

ข้าวหอมนิลเป็นข้าวนาสวน ไม่ไวแสง สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี อายุเก็บเกี่ยวสั้นประมาณ 90 วันหลังหว่าน ลำต้นสูงประมาณ 50 เซนติเมตร การแตกกอดี ใบและลำต้นมีสีเขียวเข้มปนสีม่วง เปลือกหุ้มเมล็ดข้าวมีสีม่วงเข้ม เมล็ดข้าวกล้องมีสีดำยาวประมาณ 6.5 มิลลิเมตร (ภาพที่ 2-1) ผลผลิตเฉลี่ย 400-700 กิโลกรัมต่อไร่ ต้านทานโรคไหม้ ทนทานต่อสภาพแล้งและดินเค็ม

**ภาพที่ 2-1** ข้าวหอมนิล (สิริวรรณค้าข้าว, 2007)

2. คุณค่าทางโภชนาการ

ข้าวหอมนิลเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีปริมาณโปรตีนและปริมาณธาตุเหล็กสูงกว่าข้าวหอมมะลิเป็น 2 และ 4 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีปริมาณสังกะสี แคลเซียม และโพแทสเซียมสูงกว่าในข้าวหอมมะลิ (ตารางที่ 2-1) ข้าวหอมนิลมีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 12-13 และปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ (Antioxidant) สูง ประมาณ 293 ไมโครโมลต่อกรัม ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดที่เป็นสีม่วงเข้มประกอบไปด้วยแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) โปรแอนโทไซยานิดิน (Proanthocyanidin) ไบโอฟลาโวนอยด์ (Bioflavonoids) วิตามินอี ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และสี

ผสมอาหารตามธรรมชาติ จากข้อมูลทางโภชนาการนับได้ว่าข้าวหอมนิลเป็นข้าวที่มีศักยภาพในการนำมาแปรรูปทางอุตสาหกรรมอาหารสูง เช่น การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งข้าวหอมนิล รวมทั้งขนมขบเคี้ยวต่าง ๆ (เอกสารการเผยแพร่บริษัทสีนิล ไรน์ จำกัด, 2550)

**ตารางที่ 2-1** คุณค่าทางโภชนาการของข้าวหอมนิลเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิ ([1]เอกสารเผยแพร่บริษัทสีนิล ไรน์ จำกัด,2550 ; [2]ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น, 2550 ;[3]โครงการส่วนพระองค์ สวนจิตรลดา, 2006)

| คุณค่าทางโภชนาการ | ข้าวหอมนิล[1] | ข้าวหอมมะลิ |
|---|---|---|
| โปรตีน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) | 12.56 | 6.0[1] |
| คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)ธาตุ | 70.0 | 80.0[1] |
| เหล็ก (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) | 3.26 | 0.94[2] |
| สังกะสี (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) | 2.9 | 1.48[2] |
| แคลเซียม (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) | 4.2 | 0.1-0.5[3] |
| โพแทสเซียม (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) | 339.4 | 0.6-2.8[3] |
| ทองแดง (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) | 0.1 | - |

**กระบวนการเอกซ์ทรูชั่นอาหาร**

กระบวนการเอกซ์ทรูชั่นเป็นการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นอาจจะเป็นความร้อนที่ให้โดยตรง โดยการใช้ไอน้ำหรือขดลวดความร้อน (Heater) และความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเสียดทานและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นภายในบาร์เรล หรือเรียกว่าพลังงานทางกล (Mechanical energy) ผลของการเอกซ์ทรูชั่นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในอาหารได้แก่ การเกิดเจลในผลิตภัณฑ์แป้ง (Gelatinization) เกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน (Denaturation of protein) ทำลายเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียของอาหารขณะเก็บรักษา (Inactivation of raw food enzyme) ทำลายสารพิษในธรรมชาติ เช่น สารยับยั้งการดูดซึมโปรตีนทริบซินในถั่วเหลือง (Trypsine inhibitors) ทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ Merrian Webster (2012) ให้ความหมายของคำว่ากระบวนเอกซ์ทรูดชั่น คือ กระบวนการขึ้นรูปโดยการออกแรงดันผ่านช่องทางออกหลังจากให้ความร้อนแก่วัตถุดิบแล้ว โดยทั่วไปมักจะใช้กับการขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์พลาสติกหรือวัตถุที่หลอมตัวผ่านช่องทางออก

ผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่า เอ็กซ์ทรูเดท (Extrudate) เอ็กซ์ทรูเดทที่ขยายตัวจะมีโครงสร้างของเซลล์เปิดประกอบด้วยเซลล์ที่แต่ละเซลล์ถูกล้อมรอบด้วยเมมเบรนของแป้งหรือโปรตีน ขนาดของเซลล์จะควบคุมลักษณะเฉพาะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ คือ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เอ็กซ์ทรูเดทมักถูกตัดที่ผิวหน้าของหน้าแปลนด้วยใบมีดที่หมุน และอบแห้งในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 2-12 ขึ้นอยู่กับความชื้นของผลิตภัณฑ์โดยผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้อาจเคลือบด้วยสี กลิ่น รส เพิ่มเติมได้

**เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์**

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เป็นการนำเข้าหรือผลักดันวัตถุดิบโดยสกรูที่หมุนรอบตัวเองภายในช่องทรงกระบอกที่มีขนาดใกล้เคียงกับสกรูทำให้เกิดแรงเสียดทานและแรงเฉือนเกิดขึ้น ทำให้เกิดความร้อนส่งผลให้วัตถุดิบเปลี่ยนแปลงทั้งภายใต้ความดันปกติและความดันสูง Harper (1981) กล่าวว่าความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบเอกซ์ทรูชั่น แบ่งได้ 3 ประเภท คือ

1. ความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานการเสียดสีและแรงเฉือนระหว่างสกรูกับวัตถุดิบและวัตถุดิบกับผนังของกระบอกอัดหรือบาร์เรล (Barrel)

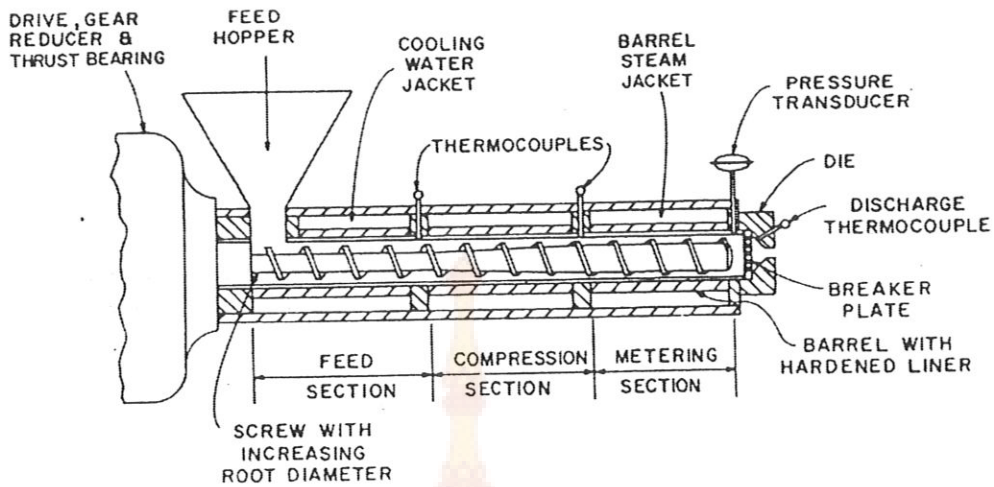
2. ความร้อนที่เกิดจากความร้อนภายนอกได้แก่ ความร้อนจากแผงความร้อนไฟฟ้า (Heater) หรือจากไอน้ำร้อน

3. ความร้อนที่ได้จากการพ่นไอน้ำร้อนเข้าผสมกับวัตถุดิบโดยตรงขณะสกรูเคลื่อนที่

ส่วนประกอบของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ (ภาพที่ 2-2) ดังนี้คือ

1. ส่วนขับเคลื่อน (Extruder drive) ในส่วนขับเคลื่อนจะประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ชุดโครงสร้าง (Stand) มอเตอร์ (Drive motor) ชุดควบคุมความเร็ว (Speed variation) และระบบส่งถ่ายกำลัง (Transmission)




**ภาพที่ 2-2** ภาพตัดขวางของเอกซ์ทรูเดอร์ (Harper, 1981)

2. ชุดเก็บและป้อนวัตถุดิบ (Feed assembly) เป็นส่วนที่ใช้เก็บวัตถุดิบ ป้อนผสมหรือปรับสภาพวัตถุดิบได้แก่ การเพิ่มความชื้น การอุ่นวัตถุดิบ ส่วนนี้เป็นส่วนสำคัญเนื่องจากความสม่ำเสมอของวัตถุดิบจะมีผลต่อการเอกซ์ทรูชั่น และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ชุดเก็บและป้อนวัตถุดิบประกอบด้วย ถังเก็บวัตถุดิบ (Hoppers) และชุดป้อนวัตถุดิบ (Feeder)

3. สกรูเอกซ์ทรูเดอร์ (Extrusion screw) เป็นส่วนที่สำคัญของเอกซ์ทรูเดอร์ ลักษณะของสกรูที่ใช้ในการทำงานของเครื่องมือ จะมีความแตกต่างกัน เช่น สกรูที่ใช้ในส่วนป้อนวัตถุดิบ (Feed section) มีร่องค่อนข้างลึก สกรูในส่วนอัดวัตถุดิบ (Compression section) จะมีความลึกมากขึ้น และระยะพิทท์ของสกรูจะสั้นลง เพื่อเพิ่มการอัดให้มากขึ้น และสกรูในส่วนทางออก (Die or Metering section) สกรูส่วนนี้จะมีร่องตื้น เพื่อเพิ่มอัตราการเฉือน (Shear rate) ให้สูงที่สุด ทำให้เกิดความร้อนสูงมาก อาหารจึงมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจะถูกดันออกตรงช่องทางออก

4. บาร์เรล (Barrel) บาร์เรลมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ที่มีขนาดโตกว่าสกรูเล็กน้อย โดยสกรูจะหมุนรอบตัวเองอยู่ภายในบาร์เรล เส้นผ่าศูนย์กลางภายในบาร์เรล (Diameter, D) โดยทั่วไปจะมีขนาดตั้งแต่ 5 –25 เซนติเมตร และมีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง (Length to diameter ratio, L/D) อยู่ในช่วง 1: 1 ถึง 20: 1 โครงสร้างของบาร์เรลนิยมทำด้วยสแตนเลสชนิดทนความร้อน บาร์เรลประกอบด้วย ส่วนเปิดสำหรับป้อนวัตถุดิบ (Opening) ส่วนระบายความร้อน (Jacket) และ แผ่นความร้อน (Heater) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการควบคุมอุณหภูมิหรือทำความร้อนให้เกิดที่บาร์เรล

5. ส่วนทางออกของเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder discharge) เป็นส่วนที่ผลิตภัณฑ์ถูกอัดออกมาจากบาร์เรล เป็นส่วนปลายสุดของสกรู ส่วนนี้โดยทั่วไปจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ คือ ช่องทางออก (Die) มีดตัด (Cutters) และส่วนรองรับผลิตภัณฑ์ (Take-away devices)

การแบ่งประเภทของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีดังนี้คือ

1. Pasta extruders ใช้ทำผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลี เช่น มักกะโรนี เอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้มีร่องเกลียวที่ลึก ความเร็วของสกรูจะช้า สกรูเกลียวลึกทำหน้าที่ผลักพาแป้งเซโมไลนา (Semolina) ที่ชื้นนุ่มเคลื่อนที่ไปข้างหน้า และอัดผ่านรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลนออกมาซึ่งอาจทำให้แป้งเซโมไลนาสุกบ้างเล็กน้อย พลังงานที่ใช้ในเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้น้อยมาก เนื่องจาก มีอัตราการเฉือนเกิดขึ้นต่ำมากในตัวผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ถึงกับสุกพอง ต้องนำผลิตภัณฑ์ที่ได้เข้าสู่อีกขั้นตอนเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์สุกพร้อมจะรับประทานได้

2. High-pressure forming extruders เป็นเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ภายในมีความดันสูง ตัวเครื่องต้องออกแบบให้ผนังด้านในของปลอกเหล็กผนังสองชั้นเป็นร่องเกลียว เพื่อมิให้เกิดการไหลลื่นที่ผนัง และสกรูต้องออกแบบให้เป็นชนิดที่ทำให้เกอดแรงอัดมาก ซึ่งจะทำให้เอ็กซ์ทรูเดทมีความดันสูงที่บริเวณด้านหลังของหน้าแปลน อุณหภูมิที่สูงเกินไป อาจทำให้เกิดการสุกพองที่ไม่ต้องการจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิโดยการใช้น้ำหล่อเย็นรอบผนังของบาร์เรลที่เป็นผนังสองชั้น

3. Low-shear cooking extruders เป็นเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ผนังด้านในเรียบและช่องว่างระหว่างผนังสองชั้นของบาร์เรลมีของเหลวอุณหภูมิสูง ไอน้ำหรือความร้อนจากขดลวดไฟฟ้าไหลผ่านอยู่ตลอดเวลา ความร้อนจะส่งผ่านไปยังวัตถุอาหารโดยการนำความร้อน นอกจากนี้ การหมุนตัวของสกรูทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างวัตถุอาหารกับสกรู เกิดเป็นความร้อน และความร้อนนี้จะแพร่ไปยังส่วนผสมของวัตถุอาหารด้วยวิธีการนำความร้อนเช่นเดียวกัน วิธีการนี้ทำให้ส่วนผสมจากแป้งเปลี่ยนเป็นโด และมีการพองตัวเกิดขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาที่วัตถุอาหารอยู่ภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ส่วนมากนิยมใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว เพื่อที่จะทำให้แป้งที่เป็นองค์ประกอบหลักของส่วนผสมวัตถุอาหารเปลี่ยนเป็นเจลตามต้องการ โดจะถูกทำให้เย็นตัวลงในช่วงสุดท้ายที่ติดกับหน้าแปลน อัดผ่านหน้าแปลนออกมาสู่บรรยากาศภายนอก และถูกตัดออกเป็นชิ้นๆ ความชื้นที่อยู่ภายในเพลเลท (Pellet) จะไม่ระเหยออกไป โดยเพลเลทที่ได้นี้จะมีลักษณะเนื้อแน่นมากกว่าการพองตัว จึงต้องนำไปผ่านกรรมวิธีการผลิตอื่นอีก เช่น อบแห้ง ทอด คั่ว เป็นต้น

4. Collet extruders เป็นเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบเรียบง่าย มีขนาดกะทัดรัด มีความยาวของตัวสกรูต่อเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยมาก ประมาณ 3:1 ใน Collet extruder มีแรงเฉือนสูงมากเนื่องมาจากสกรูมีร่องเกลียวที่ตื้นมากหมุนอยู่ภายในบาร์เรลที่ผนังด้านในเป็นร่องเกลียวเช่นเดียวกัน วัตถุดิบที่ใช้ส่วนมาก จะเป็นวัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำ ความร้อนเกือบทั้งหมดจะมาจากการเสียดสี (Friction) และทำให้เกิดความร้อนอย่างรวดเร็ว ทำให้แป้งเปลี่ยนเป็นเจลและเปลี่ยนเป็นเด็กซ์ตรินบางส่วน วัตถุดิบหรือส่วนผสมของวัตถุดิบอาหารที่เปลี่ยนสภาพและยังอยู่ภายในเอ็กศ์ทรูเดอร์ เอ็กซ์ทรูเดทจะถูกดันให้โผล่พ้นรูเปิดหน้าแปลนออกมาและเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จากภายในที่มีความดันสูง ออกสู่ภายนอกซึ่งมีความดันต่ำ (ความดันบรรยากาศ) ทำให้น้ำภายในเอ็กซ์ทรูเดทเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำและระเหยลอยตัวออกไปในขณะเดียวกันก็ถูกตัดด้วยใบมีด วัตถุดิบที่นิยมใช้กับ Collet extruders ได้แก่ คอร์นกริท ข้าวท่อน เป็นต้น

5. Hing shear cooking extruders เป็นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่ออกแบบมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลายลักษณะ เช่น พวกที่สุกเพียงบางส่วนหรือพวกกึ่งสำเร็จรูป เอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้มีบาร์เรลที่ยาว แต่สามารถทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้โดยใช้แหล่งความร้อน ความเย็นจากภายนอก เอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ใช้กับวัตถุดิบได้มากมายหลายชนิด ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดนี้ ได้แก่ อาหารสัตว์ อาหารเช้าซีเรียล โปรตีนเกษตร ขนมขบเคี้ยว เป็นต้น
โดยลักษณะการดำเนินการของเครื่องแต่ละประเภทจะแตกต่างกันดังตารางที่ 2-2

การแบ่งประเภทของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของความร้อน มีดังนี้คือ

1. Autogenous (Adiabatic) extruders ความร้อนทั้งหมดที่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ได้รับมาจากการเสียดสี คือ เปลี่ยนมาจากพลังงานกล มีเพียงปริมาณเล็กน้อยหรือไม่มีความร้อนที่ป้อนหรือระบายออกจากบาร์เรล อุณหภูมิภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้จะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไป ดังนั้น เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ประเภทนี้จึงไม่ค่อยคล่องตัวนักสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารในบางชนิดและยากต่อการควบคุมการทำงานของเครื่องด้วย

2. Isothermal extruder เป็นเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่มีระบบควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เท่ากันตลอดความยาวของบาร์เรล โดยความร้อนจะถูกลดหรือระบายผ่านช่องว่าง (Jacket) ระหว่างผนังสองชั้นของบาร์เรล

3. Polytropic extruders เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่พบในปัจจุบัน เกือบทุกชนิดจัดอยู่ในประเภท Polytropic extruders คือ จะได้รับความร้อนทั้งสองทาง คือ ความร้อนจากพลังงานกลและความร้อนที่ได้จากแหล่งความร้อนภายนอกที่ส่งผ่านมาทางช่องว่างของบาร์เรล

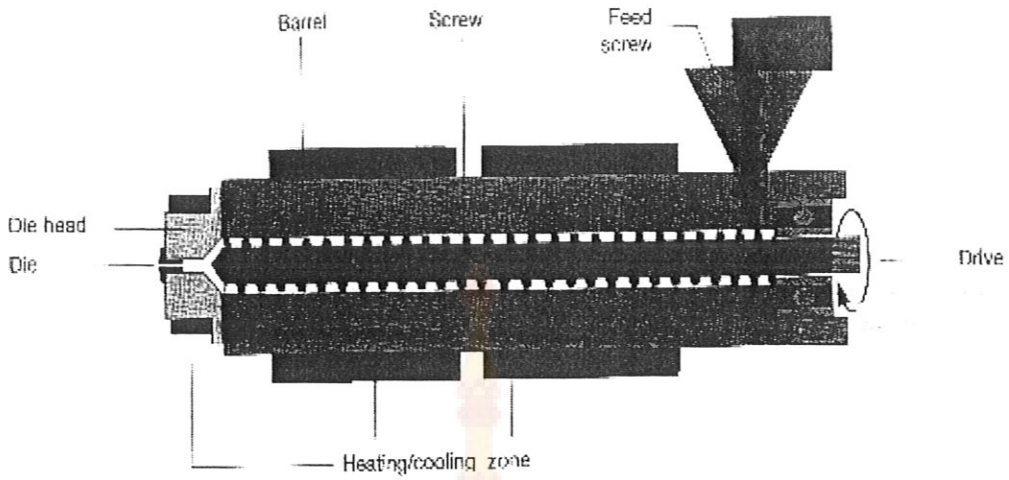
**ตารางที่ 2-2** ลักษณะและการทำงานของเอกซ์ทรูเดอร์ประเภทต่างๆ (Rosen and Miller, 1973)

| ลักษณะ | ลักษณะเมื่อดำเนินการของแต่ละประเภท | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Pasta extruder | High-pressure foaming extruder | Low-shear cooking extruder | Collect extruder | High-shear cooking extruder |
| -ความชื้นวัตถุดิบ (ร้อยละ) | 30-32 | 24-26 | 20-35 | 10-14 | 20-22 |
| -ความชื้นผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ) | 29-30 | 24-26 | 15-30 | 2-5 | 4-10 |
| -อุณหภูมิของของผลิตภัณฑ์ ($^{o}$C) | 50-52 | 80-82 | 150-155 | 200-210 | 180-190 |
| -ความเร็วรอบ (rpm) | 30-32 | 40-42 | 60-200 | 300-320 | 350-500 |
| -อัตราการเฉือนที่สกรู ($S^{-1}$) | 5-6 | 10-12 | 20-100 | 140-150 | 120-180 |
| -พลังงานกลที่ใช้ต่อกิโลกรัม (kW-hr/kg) | 0.05 | 0.05 | 0.02-0.05 | 0.13 | 0.14 |
| -พลังงานสุทธิต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ (kW-hr/kg) | 0.02 | 0.03 | 0.06-0.07 | 0.10 | 0.10-0.7 |
| -ชนิดของผลิตภัณฑ์ | -มะกะโรนี | -อาหารสำเร็จรูป | -ซุปสำเร็จรูป<br>-ผลิตภัณฑ์ความชื้นสูง | -ผลิตภัณฑ์พองกรอบ | -โปรตีนพืช<br>-อาหารแห้งสำเร็จรูป<br>-อาหารสัตว์เลี้ยงแห้ง |

ประเภทของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (ตามวิธีการสร้างประกอบเครื่อง) ดังนี้

1. เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder)

กรณีที่ใช้เพื่อการขึ้นรูป สกรูต้องมีเกลียวที่ลึกและหมุนช้าๆ เพื่อให้ปริมาณพลังงานกลถูกปลดปล่อยออกมาระหว่างกระบวนการเฉือนน้อยที่สุด เช่น การทำมักกะโรนี หมากฝรั่ง กรณีที่ใช้ทำให้สุก จะมีสกรูสำหรับการอัดโดยการลดความลึกของเกลียวสกรูและหมุนด้วยความเร็วสูงเพื่อเพิ่มแรงเฉือนและพลังงานกล ส่วนผสมอาจได้รับความร้อนจากการเติมไอน้ำก่อนที่จะป้อนเข้าสู่เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ภาพเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวแสดงได้ดังภาพที่ 2-3

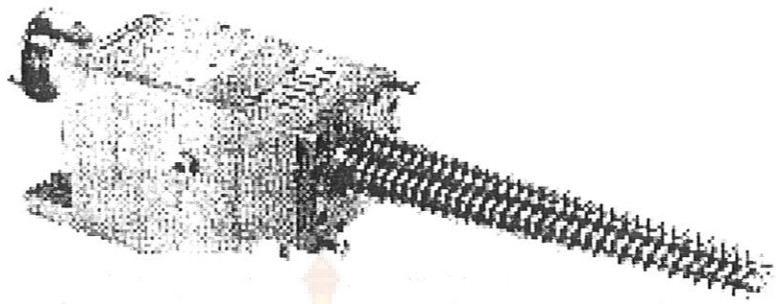



**ภาพที่ 2-3** ภาพตัดลักษณะเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยว (Single screw extruder; Dziezak, 1989)

เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder) แยกตามระดับการเฉือนที่กระทำต่ออาหารได้ ดังนี้

- แรงเฉือนสูง เช่น อาหารเช้าธัญชาติ เป็นต้น
- แรงเฉือนปานกลาง เช่น ขนมปังต่างๆ อาหารสัตว์ที่ค่อนข้างชื้น เป็นต้น
- แรงเฉือนต่ำ เช่น พาสต้า เป็นต้น

เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูคู่ (Twin-screw extruder) เป็นเอกซ์ทรูเดอร์ที่มีสกรูสองสกรูที่เคลื่อนที่พร้อมกันไปดังแสดงในภาพที่ 2-4 โดยแบ่งออกตามลักษณะการหมุนของสกรูทั้งสองได้ดังนี้คือ การเคลื่อนที่หรือหมุนในทางเดียวกัน (Co-rotating) และเคลื่อนที่หรือหมุนตรงข้าม (Counter- rotating; Schuler, 1986) ชนิดสกรูหมุนตรงข้ามกันนิยมใช้อุตสาหกรรมผลิตเยลลี ลูกอม หรือผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายพลาสติก (Dziezak, 1989) ส่วนชนิดสกรูหมุนตามกันนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ประเภทขนมขบเคี้ยว และมีข้อได้เปรียบ คือ มีประสิทธิภาพสูง ควบคุมเวลาได้ง่ายมีระบบการทำความสะอาดด้วยตนเอง และมีกระบวนการผลิตที่สม่ำเสมอ



Conical Twin Screw Measuring Extruder (barrel dismantled)

**ภาพที่ 2-4** เอกซ์ทรูเดอร์สกรูคู่ (Twin screw extruder; Dziezak, 1989)

การเปรียบเทียบเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวกับเอกซ์ทรูเดอร์สกรูคู่พบว่า เอกซ์ทรูเดอร์สกรูคู่จะมีราคาแพงกว่า 1.5-2.5 เท่า เนื่องจากความซับซ้อนของการออกแบบสกรู การทำงานและการขับสกรู และมีข้อจำกัดในด้านแรงบิด แรงดัน ซึ่งจะต้องไม่สูงมากนัก เพื่อป้องกันความเสียหายจากการขับสกรู แต่อย่างไรก็ตามเอกซ์ทรูเดอร์สกรูคู่จะให้กำลังผลิตที่สูงกว่าและสามารถกำหนดช่วงการผลิตได้กว้างกว่า ในขณะที่เอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยว นิยมใช้และมีราคาถูกกว่า การใช้งานบำรุงรักษา ทำได้ง่ายและต้นทุนต่ำ

**ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น**

กระบวนการเอกซ์ทรูชั่นทำให้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติเปลี่ยนไป โมเลกุลของวัตถุดิบจะถูกทำให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยในกระบวนการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิของบาร์เรล และความเร็วของสกรู เป็นต้น

โดยทั่วไปวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นจะเป็นวัตถุดิบประเภทแป้ง ซึ่งประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเปกติน อะไมโลสส่งผลให้แป้งมีความเหนียวสูงและความยืดหยุ่นต่ำ ทำให้การเคลื่อนที่ของแป้งในบาร์เรลยากขึ้น และการพองตัวของผลิตภัณฑ์ลดลง (Harper, 1981) แป้งข้าวเจ้าที่มีอะไมโลสต่ำมีการดูดซึมน้ำและการเกิดเจลสูง ส่งผลให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น (Lee et al., 1996) นอกจากนี้ความชื้นของวัตถุดิบยังมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย จากรายงานของ Chinnaswamy and Hanna (1990) พบว่าการลดความชื้นของแป้งข้าวโพดจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติการเกิดเจล การดูดซึมน้ำลดลง และเคลื่อนที่ภายในบาร์เรลได้ยาก เป็นสาเหตุให้เกิดแรงเฉือนมากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวและการละลายน้ำได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามวัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำมากๆ มีผลทำให้แรงเฉือนเพิ่มขึ้น อุณหภูมิสูงขึ้น และ

ใช้เวลาในการอัดผ่านนานขึ้น เม็ดแป้งจึงถูกทำลายเป็น เดกซ์ตริน และการพองตัวของผลิตภัณฑ์จะลดลง จากการศึกษาของ Panuwat (2004) เมื่อใช้แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ดอกมะลิ105 (KDML105) ซึ่งมีอะไมโลสต่ำ มาผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นโดยปรับให้มีความชื้นตั้งแต่ร้อยละ 16-28 พบว่า เมื่อความชื้นของวัตถุดิบเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการพองตัวและการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่จะทำให้การเกิดเจล ความหนืด และการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น

ข้อดีของเอกซ์ทรูเดอร์

1. อัตราการผลิตสูง (High production) เนื่องจาก เป็นกระบวนการการผลิตแบบต่อเนื่องและมีกำลังการผลิตสูงกว่าระบบอื่น

2. ต้นทุนการผลิตต่ำ (Low cost) เนื่องจากอัตราส่วนของผู้ปฏิบัติงานและพื้นที่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่อหนึ่งหน่วยการผลิตน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตด้วยวิธีอื่น

3. รูปทรงของผลิตภัณฑ์ (Product shapes) ทำได้หลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับรูปทรงของรูเปิดบนรูหน้าแปลน

4. คุณภาพของผลิตภัณฑ์ (High product quality) เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตแบบอื่นเนื่องจาก เป็นระบบ HTST (High temperature and short time)

5. ประหยัดพลังงาน (Energy efficient)

**การบรรจุและเก็บรักษาขนมขบเคี้ยว**

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทพร้อมรับประทาน ที่มีความชื้นต่ำ จึงมีความกรอบเป็นลักษณะเด่น สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ประมาณ 2-16 สัปดาห์ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความชื้น ออกซิเจน และแสง โดยปกติผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 1-1.5 แต่เมื่อผลิตภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 4-5 ผลิตภัณฑ์จะเริ่มไม่เป็นที่ยอมรับเนื่องจากมีความกรอบลดลง ส่วนออกซิเจนเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเหม็นหืนของไขมันโดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดหรือมีไขมันสูง จึงนิยมเติมก๊าซไนโตรเจนแทนที่ก๊าซออกซิเจนในการบรรจุเพื่อช่วยลดการเหม็นหืน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ได้แก่ ความร้อน ความชื้น และแสง ที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันอีกด้วย ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ที่นำมาใช้ควรมีคุณสมบัติที่ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนได้ดี ควรเป็นบรรจุภัณฑ์ทึบแสง สามารถป้องกันการซึมของไขมัน (Grease proofness) มีความแข็งแรงสามารถทนต่อกระบวนการเติมก๊าซไนโตรเจนได้รวมทั้งสามารถปิดผนึกได้สนิทและไม่รั่วซึมง่าย

# บทที่ 3
# วิธีการดำเนินการวิจัย

## วัตถุดิบ

1. ข้าวหอมนิล จากศูนย์การเรียนรู้เกษตรอินทรีย์ อ.ท่าวุ้ง จ.ลพบุรี

## อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven, Shel Lab รุ่น 1350 FX, ULE 600, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
2. เครื่องชั่งชนิดหยาบ (Sartorius, รุ่น AC 211S, ประเทศเยอรมนี)
3. เครื่องชั่งชนิดละเอียด (Sartorius, รุ่น AC 211S–00MS, ประเทศเยอรมนี)
4. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge, HERMLE 2323K, ประเทศเยอรมนี)
5. เครื่องกลั่นสาร (Distillation Unit, Buchi, รุ่น B–324, ประเทศสวิสเซอร์แลนด์)
6. เครื่องวัดสี (Miniscan XE Plus, Hunter Lab, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
7. เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, Stable Micro System, รุ่นTA–XT2, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
8. เครื่องแก้ว และเครื่องตวงวัดต่าง ๆ

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวมีส่วนประกอบหลัก ดังนี้

1.1 ชุดโครงสร้างและแท่นวางเครื่อง ประกอบด้วยแท่นวางบาร์เรล สกรู และแท่นวางมอเตอร์ขับต้นกำลัง

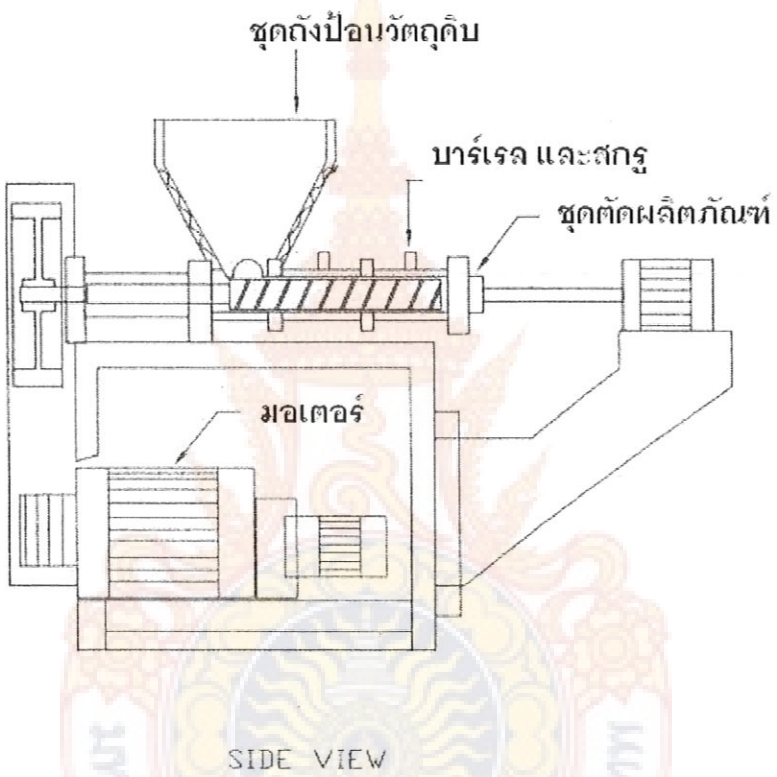
1.2 บาร์เรล (Barrel) และสกรู (Screw) ยาว 250 มิลลิเมตร ทำจากโลหะสแตนเลส

1.3 ชุดควบคุมการทำงาน อุณหภูมิและความเร็วรอบ ประกอบด้วยแท่นวาง แผงวงจรไฟฟ้าหน้าปัดมีโชว์การปิดเปิดระบบไฟฟ้า หน้าปัดโชว์อุณหภูมิด้วยระบบดิจิตอล และชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของสกรู

1.4 ชุดต้นกำลังและระบบส่งกำลัง ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า 380 โวลต์ 50 เฮิร์ต

1.5 ชุดถังป้อนวัตถุดิบชุดถังจะประกอบด้วยถังเก็บวัตถุดิบและสกรูป้อนวัตถุดิบชุดถังป้อนวัตถุดิบทำด้วยโลหะสแตนเลส

1.6 ชุดตัดผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยใบมีดตัด เป็นโลหะสแตนเลส ขับด้วยมอเตอร์สามารถปรับความเร็วรอบการหมุนของใบมีดได้




**ภาพที่ 3-1** ภาพลายเส้นแสดงส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยว

**2. ศึกษาผลของความชื้นของแป้งข้าวหอมนิล อุณหภูมิที่บาร์เรล และความเร็วรอบสกรู ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว**

การเตรียมวัตถุดิบ

นำข้าวหอมนิลมาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตระแกรงขนาด 80 เมส บรรจุในถุงระบบสุญญากาศและเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาทดลอง

2.1 ศึกษาผลของความชื้นของแป้งข้าวหอมนิลต่อการผลิตขนมขบเคี้ยว

โดยแปรปริมาณความชื้นในแป้งเป็นร้อยละ 13 15 และ 17 โดยน้ำหนักแป้ง (ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องเติมในแป้งเพื่อให้ได้ความชื้นที่ต้องการแสดงในภาคผนวก ก) จากนั้นนำไปผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์โดยกำหนดอุณหภูมิที่บาร์เรลชุดที่ 1 (Die zone) เป็น 120 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่บาร์เรลชุดที่ 2 (Compression zone) เป็น 80 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรูเป็น 250 รอบต่อนาที ประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวดังนี้

2.1.1 อัตราการผลิต

โดยคำนวณค่าจากน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อเวลา (กรัมต่อนาที) หาค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ 5 ครั้ง

$$\text{อัตราการผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (กรัม)}}{\text{เวลา (นาที)}}$$

2.1.2 สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์

โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดและคำนวณสัดส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางออกที่หน้าแปลนของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ โดยคำนวณดังนี้

$$\text{สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์} = \frac{\text{เส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์}}{\text{เส้นผ่าศูนย์กลางช่องทางออกหน้าแปลน}}$$

2.1.3 การดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ (Water absorption index, WAI) ตามวิธีของ Anderson et al. (1969)

ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการบด 2.5 กรัม ใส่ลงในหลอดเซนตริฟิวส์ (Centrifuge tube) จากนั้นเติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาทีพร้อมทั้งกวนอย่างสม่ำเสมอ หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000g เป็นเวลา 15 นาที แยกส่วนที่เป็นของเหลวออกแล้วนำส่วนที่เป็นตะกอนมาชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณหาค่าการดูดซับน้ำดังนี้

$$\text{ค่าการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ (กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอน (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}}$$

2.1.4 การละลายของผลิตภัณฑ์ (Water solubility index, WSI) ตามวิธีของ Anderson et al. (1969)

ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการบด 2.5 กรัม ใส่ลงในหลอดเซนตริฟิวส์ จากนั้นเติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาทีพร้อมทั้งกวนอย่างสม่ำเสมอ หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000g เป็นเวลา 15 นาที แยกส่วนที่เป็นของเหลวที่ได้ใส่ในถาดอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอนและนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นนำของแข็งที่ได้ไปชั่งน้ำหนักคำนวณหาค่าการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ดังนี้

$$\text{ค่าการละลายของผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่ได้จากการอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}} * 100$$

2.1.5 ความหนาแน่น (Density) ตามวิธีการของ Alvarez-Martinez et al. (1988)

ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์คำนวณได้ดังนี้

$$\text{ความหนาแน่น (กรัม/เซนติเมตร}^3) = \frac{4m}{\pi d^2 L}$$

เมื่อ m = น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (กรัม)

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว (เซนติเมตร)

L = ความยาวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว (เซนติเมตร)

ความหนาแน่นหาได้จากหาค่าเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ 10 ครั้ง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

2.1.6 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture)

โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Stable Micro System รุ่น TA-XT2 วัดค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ (Hardness) โดยใช้หัว 3PB/HDP อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัดก่อนการทดสอบ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ขณะทำการทดสอบเท่ากับ 3 มิลลิเมตรต่อวินาที และอัตราเร็วหลังการทดสอบเท่ากับ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที เตรียมตัวอย่างโดยตัดผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวให้มีความยาว 10 เซนติเมตร วัดค่า 10 ครั้งต่อตัวอย่าง ตัวอย่างการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสดังภาพที่ 3-2

2.1.7 การยอมรับประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบความชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้วิธีทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scale โดย 1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝน 30 คน (แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงในภาคผนวก ข)

2.1.8 การประเมินลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

ศึกษาโครงสร้างแบบภาพตัดขวาง (Cross Section) ของขนมขบเคี้ยว โดยหักชิ้นตัวอย่างขนาดสูงประมาณ 10 มิลลิเมตร วางในแนวตั้งสำหรับศึกษาภาพตัดขวางโดยใช้ เทปกาวติดบนแท่นวางตัวอย่าง แล้วนำตัวอย่างไปเคลือบทองโดยใช้เครื่อง Sputter-Coater (Polaron Range, SC7620, England) ในสภาวะสุญญากาศ จากนั้นนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ใช้ความต่างศักย์ 10 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 10 เท่า

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD, Completed Randomize Design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนการยอมรับประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบบลอคสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธีเดียวกัน เลือกความชื้นที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพกำลังการผลิต และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคสูงสุดเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

**ภาพที่ 3-2** ตัวอย่างการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

2.2. ผลการอุณหภูมิที่บาร์เรลและความเร็วรอบสกรูของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ต่อคุณภาพ ของขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล

โดยแปรอุณหภูมิที่บาร์เรลชุดที่ 1 (Die zone) เป็น 120 140 และ 160 องศาเซลเซียส และแปรความเร็วรอบสกรูเป็น 150 200 และ 250 รอบต่อนาที และกำหนดอุณหภูมิที่บาร์เรลชุดที่ 2 (Compression zone) เป็น 80 องศาเซลเซียส ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์โดยการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 2.1

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD, Completed Randomize Design) โดยจัดสิ่งทดลองแบบแฟกทอเรียล (3 x 3) โดยกำหนดให้อุณหภูมิที่บาร์เรล และความเร็วรอบของสกรู เป็นปัจจัยหลัก ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนการยอมรับประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบบลอคสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธีเดียวกัน เลือกอุณหภูมิ และความเร็วรอบสกรู ที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพกำลังการผลิต และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคสูงสุดเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

**3. ศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล**

แปรชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ 2 ชนิด คือ ถุงพลาสติกชนิด Oriented polypropylene (OPP) และ ถุงพลาสติกชนิด Metallized OPP บรรจุขนมขบเคี้ยวในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด และปิดผนึกบรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศ เก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลาประมาณ 3 เดือน สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาประเมินคุณภาพทุกสองสัปดาห์ โดยวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

3.1 ปริมาณความชื้น โดยใช้ Moisture analyzer

3.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Hardness) โดยใช้ Texture analyzer

3.3 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี ($a_w$)

3.4 ค่า Oxidation โดยใช้ Thiobarbituric Acid (TBA; Pearson, 1976)

ชั่งตัวอย่างจำนวน 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร นำไปผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่น แล้วเทตัวอย่างใส่หลอดกลั่น ล้างตัวอย่างที่เหลือในเครื่องปั่นด้วยน้ำกลั่นจำนวน 47.5 มิลลิลิตร แล้วนำมาเทรวมกันในหลอดกลั่น เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 โมลาร์ จำนวน 2.5 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้ความเป็นกรด-เบส 1.5 จากนั้นเติมสารป้องกันการเกิดฟองเล็กน้อย แล้วต่อหลอดกลั่นเข้ากับชุดกลั่น ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างด้วยการต้มโดยใช้เตาไฟฟ้า กลั่นจนได้ของเหลว 50 มิลลิลิตร (ภายใน 10 นาทีหลังเดือด) ปิเปตของเหลวที่ได้มา 5.0 มิลลิลิตร ใส่หลอดที่มีฝาปิด เติม

สารละลายกรดไทโอบาร์บิทูริกจำนวน 5.0 มิลลิลิตร ปิดฝา เขย่า แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 35 นาที เทน้ำกลั่น 5.0 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลองแทนตัวอย่าง (Blank) นำไปต้มพร้อมกัน หลังจากครบ 35 นาที แล้วนำไปทำให้เย็นจนมีอุณหภูมิห้อง (ภายในระยะเวลา 10 นาที) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 538 นาโนเมตร คำนวณปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริกตามสมการ

$$\text{ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก} = \frac{7.8 \times \text{ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 538}}{\text{นาโนเมตร (มิลลิกรัมมาโลนาดีไฮด์/กิโลกรัม)}}$$

3.5 วัดสี

นำผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น Miniscan XE Plus เตรียมตัวอย่าง โดยนำขนมขบเคี้ยวที่มีความยาว 5 เซนติเมตร วางลงในถ้วยสำหรับวัดค่าสี โดยวางตัวอย่างชิดกันไม่ให้มีช่องว่างแล้วนำมาวัดค่าสี รายงานเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*)

3.6 การยอมรับประสาทสัมผัส

ประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมขบคี้ยวที่บรรจุในถุงพลาสติกชนิด OPP และ Metallized OPP ทุก ๆ หนึ่งเดือนเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยวิธี 9-Point Hedonic Scale ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน เช่นเดียวกับข้อ 2.1.7

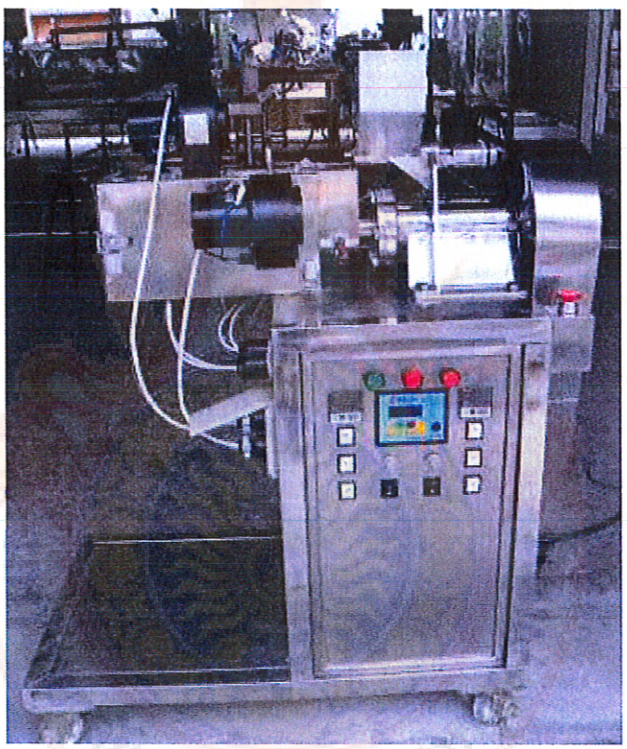
วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Mutlitple Range Test (DMRT) ส่วนการยอมรับทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

# บทที่ 4
# ผลการวิจัย

**1. ผลการออกแบบและสร้างเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยว**

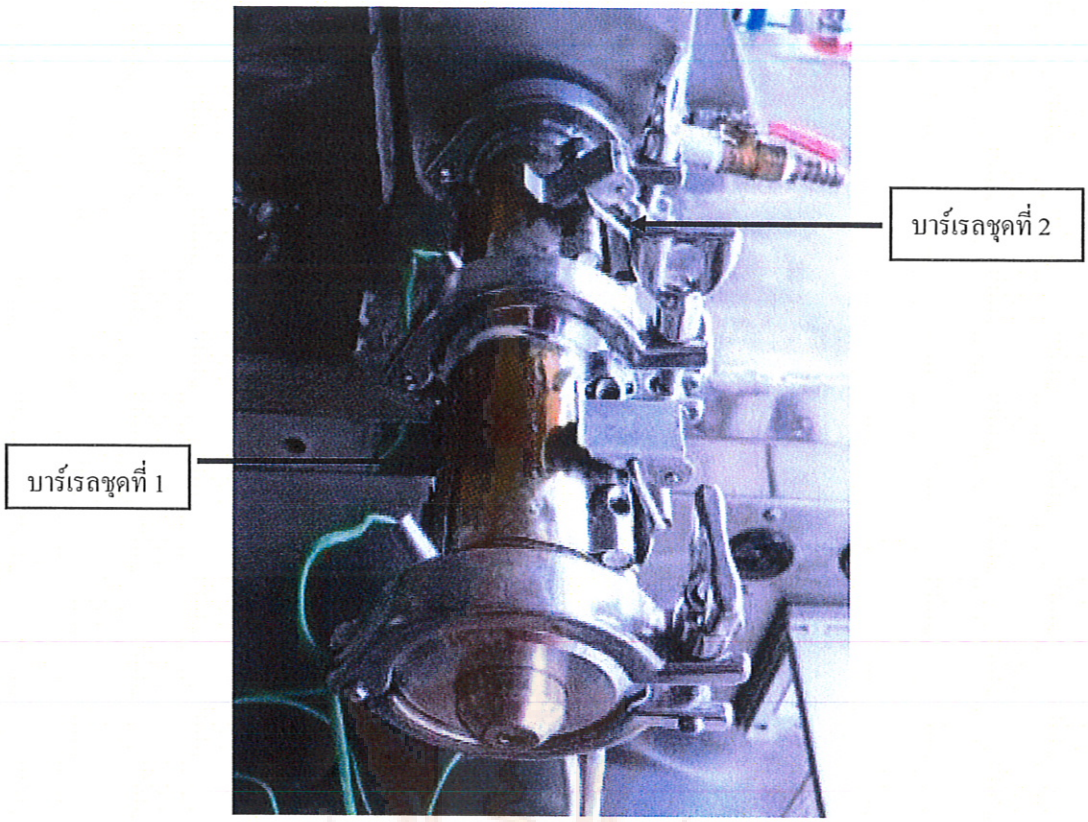
เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ขนาดทดลอง ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 7 ส่วน ได้แก่

1.1 ชุดโครงสร้างและแท่นวางเครื่อง ประกอบด้วยแท่นวางบาร์เรล สกรู และแท่นวางมอเตอร์ขับต้นกำลังขนาด 3.7 กิโลวัตต์ โดยชุดโครงสร้างมีขนาด 50 x 80 x 90 เซนติเมตร วัสดุเป็นโลหะ สแตนเลส NO.SUS304 (ภาพที่ 4-1)



**ภาพที่ 4-1** เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวขนาดทดลอง

1.2 ชุดบาร์เรล (barrel) ทำจากโลหะสแตนเลส NO.SUS304 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.55 เซนติเมตร หนา 0.9 เซนติเมตร ชุดของบาร์เรลประกอบด้วยบาร์เรล 2 ท่อน (ภาพที่ 4-2)



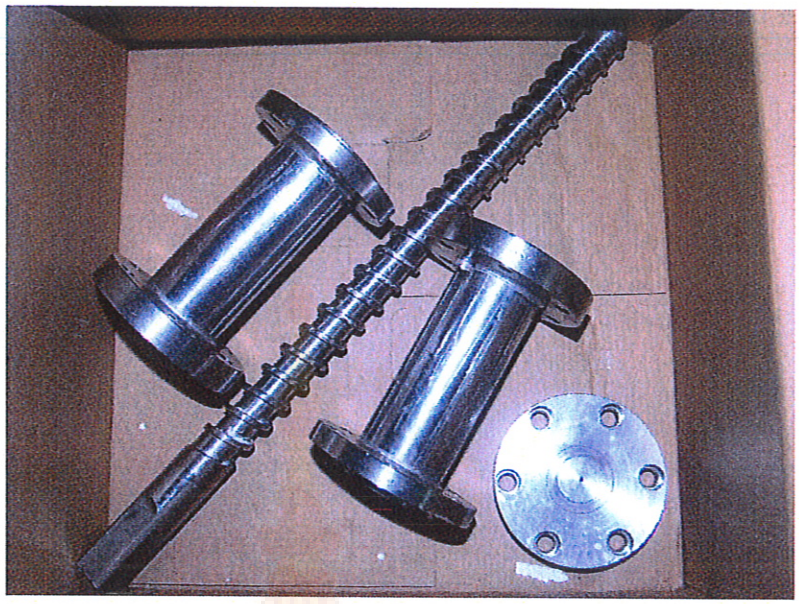

**ภาพที่ 4-2** บาร์เรล (barrel) และหัวตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature sensor)

1.3 ชุดสกรู (screw) ทำจากโลหะสแตนเลส NO.SUS304 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ยาว 25 เซนติเมตร (ภาพที่ 4-3)

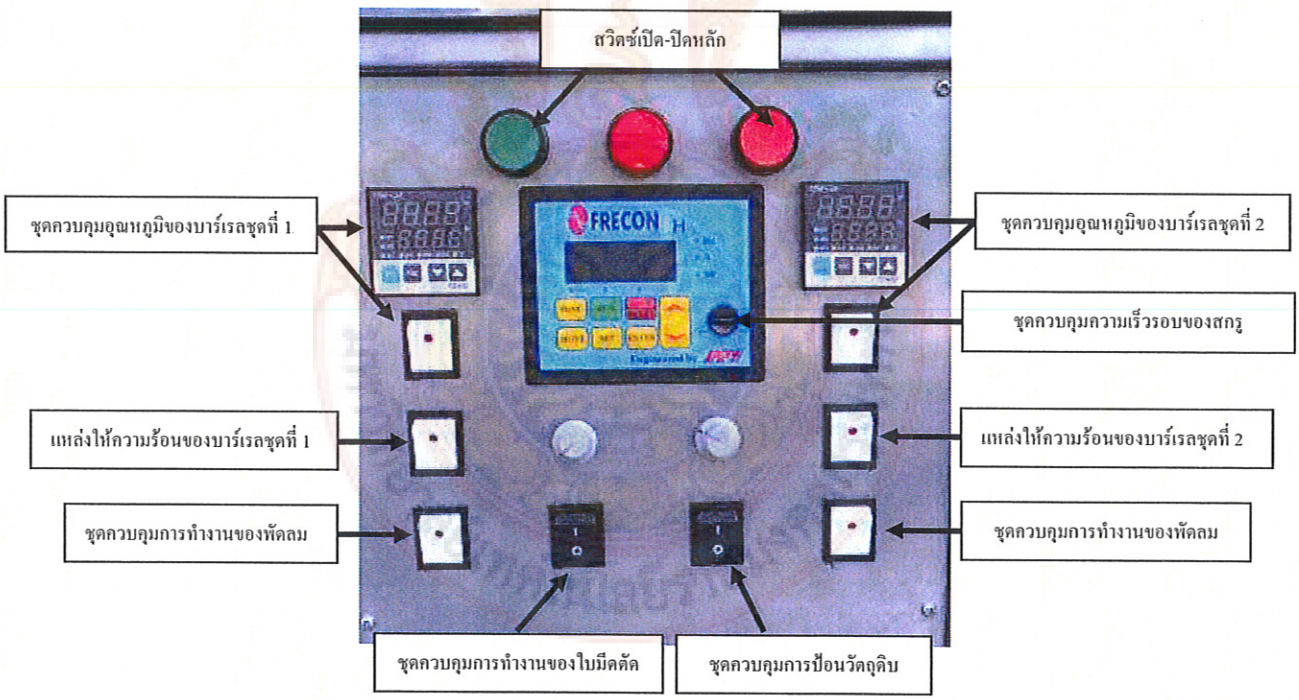
1.4 ชุดควบคุมการทำงาน อุณหภูมิและความเร็วรอบ ประกอบด้วยแท่นวางและแผงวงจรไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์ หน้าปัดมีโชว์การปิดเปิดระบบไฟฟ้า หน้าปัดโชว์อุณหภูมิด้วยระบบดิจิตอล ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของสกรู (ภาพที่ 4-4)

1.5 ชุดถังป้อนวัตถุดิบชุดถังจะประกอบด้วยถังเก็บวัตถุดิบและสกรูป้อนวัตถุดิบชุดถังป้อนวัตถุดิบทำด้วยโลหะสแตนเลส NO.SUS304 ขับด้วยมอเตอร์ขนาด DC Motor 12V (ภาพที่ 4-5)

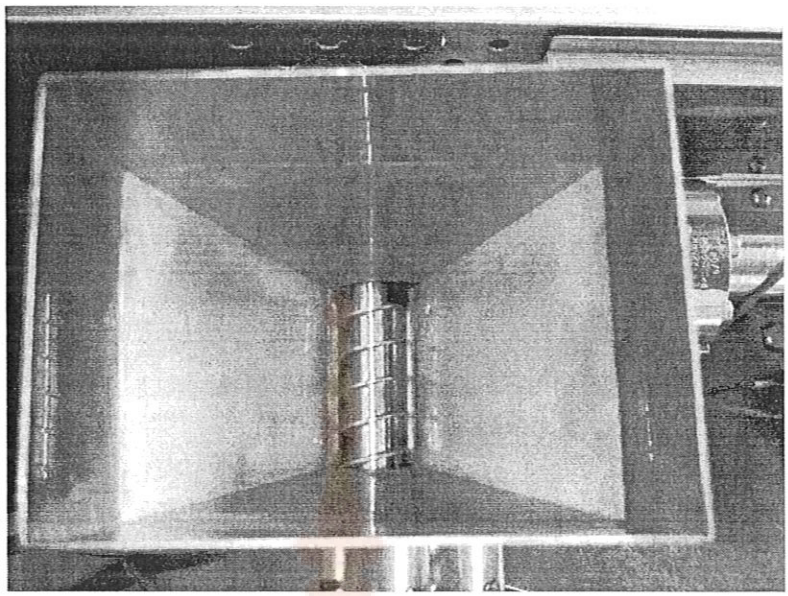
1.6 ชุดต้นกำลังและระบบส่งกำลัง ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ขนาด 3.7 กิโลวัตต์ (5 แรงม้า) ส่งกำลังไปยังสกรูด้วยระบบสายพานรองวี 3 เส้นมีอัตราทด 1:3 (ภาพที่ 4-6)



**ภาพที่ 4-3** สกรูของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวขนาดทดลอง



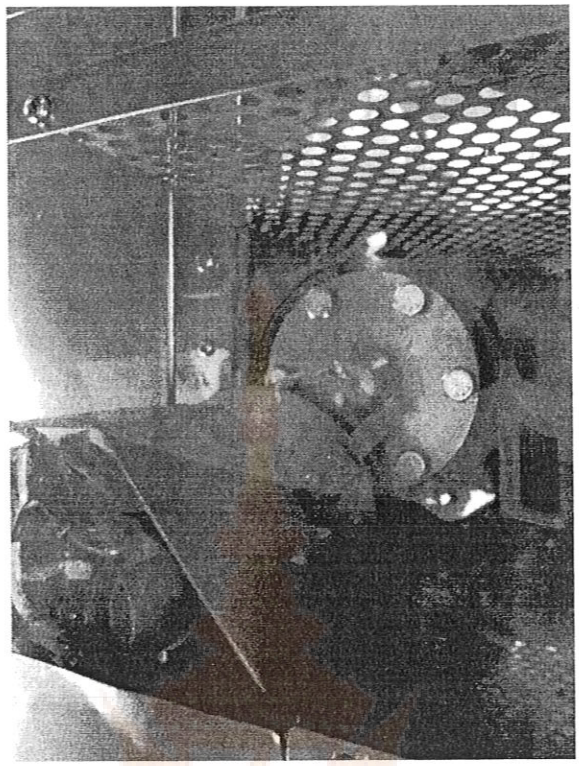

**ภาพที่ 4-4** ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวขนาดทดลอง



**ภาพที่ 4-5** ชุดป้อนวัตถุดิบ ด้านนอก (ภาพบน) และ ด้านใน (ภาพล่าง)

**ภาพที่ 4-6** พลูเลย์ตามเป็นร่องวี 3 ร่อง โดยมีอัตราทด 1:3

1.7 ชุดตัดผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยใบมีดตัด เป็นโลหะสแตนเลส ขับด้วยมอเตอร์ขนาด DC Motor 12V สามารถปรับความเร็วรอบการหมุนของใบมีดได้ (ภาพที่ 4-7)



**ภาพที่ 4-7** ชุดตัดผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยใบมีดตัด ขับด้วยมอเตอร์ขนาด DC Motor 12V

**2. ผลการศึกษาผลของความชื้นของแป้งข้าวหอมนิล อุณหภูมิบาร์เรล และความเร็วรอบสกรู ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว**

2.1 ผลของความชื้นของแป้งข้าวหอมนิลต่อการผลิตขนมขบเคี้ยว

จากการศึกษาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล โดยแปรปริมาณความชื้นในแป้งเป็นร้อยละ 13 15 และ 17 โดยน้ำหนักแป้ง จากนั้นนำไปผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์โดยกำหนดอุณหภูมิบาร์เรลชุดที่ 1 และ 2 เป็น 120 และ 80 องศาเซลเซียสตามลำดับ ความเร็วรอบสกรูเป็น 250 รอบต่อนาที พบว่าตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 13 และ 15 ให้ผลผลิตต่อนาทีใกล้เคียงกัน คือ 29.8 และ 31 กรัมต่อนาที ตามลำดับ (ตารางที่ 4-1) และตัวอย่างที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 17 ให้ผลผลิตต่ำที่สุดคือ 26 กรัมต่อนาที การที่ตัวอย่างที่มีความชื้นสูง (ร้อยละ 17) มีผลผลิตต่ำกว่าตัวอย่างอื่นนั้นอาจเนื่องมาจากความชื้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้วัตถุดิบ คือแป้งข้าวหอมนิลเคลื่อนที่ในชุดป้อนวัตถุดิบได้ยากขึ้น ทำให้อัตราการป้อนวัตถุดิบต่ำกว่าตัวอย่างที่มีความชื้นเริ่มต้นที่น้อยกว่า จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มีผลผลิตต่ำหรือมีน้ำหนักต่อนาทีน้อยกว่า

**ตารางที่ 4-1** อัตราการผลิตการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่ใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้นเริ่มต้นของแป้งต่างกัน

| ความชื้น (%) | อัตราการผลิต* (กรัมต่อนาที) |
|---|---|
| 13 | 29.83 ± 10.54 |
| 15 | 30.97 ± 15.36 |
| 17 | 25.97 ± 12.57 |

หมายเหตุ * ไม่ได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติเนื่องจากมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างมาก

การวิเคราะห์สัดส่วนการพองตัวและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมนิลที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ โดยกำหนดความชื้นของแป้งข้าวหอมนิลเริ่มต้นที่ร้อยละ 13 15 และ 17 โดยน้ำหนักแป้ง แสดงดังตารางที่ 4-2 พบว่าตัวอย่างที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 15 มีค่าสัดส่วนการพองตัวสูงสุดคือร้อยละ 3.6 ($p<0.05$) และตัวอย่างที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 13 และ 17 มีสัดส่วนการพองตัวลดต่ำลงตามลำดับ ในขณะเดียวกันค่าความหนาแน่นของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ข้าวหอมนิลที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มีค่าแปรผกผันกับค่าสัดส่วนการพองตัว กล่าวคือตัวอย่างที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 17 13 และ 15 มีค่าความหนาแน่นน้อยลงตามลำดับ ($p<0.05$) และเมื่อนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำและค่าการละลาย พบว่าตัวอย่างที่มีค่าความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 13 15 และ 17 มีค่าการดูดซับน้ำ 7.32, 7.57 และ 7.05 (กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง) ตามลำดับ (ตารางที่ 4-3) สำหรับค่าการละลายของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มีค่าแปรผกผันกับค่าความชื้นเริ่มต้นของแป้งข้าวหอมนิล ตัวอย่างที่มีค่าความชื้นเริ่มต้นที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าการละลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดย Harper (1981) อธิบายเกี่ยวกับการพองตัวของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันไว้ว่า เมื่อแป้งและน้ำอยู่ภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ซึ่งอยู่ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง ส่วนผสมดังกล่าวจะรวมตัวหลวมรวมกันอยู่ในสภาวะที่เป็นของเหลว เมื่อส่วนผสมถูกผลักพาออกจากหน้าแปลนให้สัมผัสกับอุณหภูมิและความดันที่ต่ำลง น้ำจึงเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำและระเหยออกจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว พร้อมทั้งดันโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ให้พองตัวขึ้น Chinnaswamy and Hanna (1990) รายงานว่าการลดความชื้นของแป้งข้าวโพดจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติการเกิดเจล และการดูดซึมน้ำลดลง ขณะที่การละลายน้ำได้มากขึ้น การลดลงของความชื้นของวัตถุดิบในกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นจะทำให้

ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเจล (Gelatinized–like) เป็นคุณสมบัติของเดกซ์ตริน (Dextrinized-like) (Gomez and Aguilera, 1984) วัตถุดิบความชื้นต่ำจะเคลื่อนที่ภายในบาร์เรลได้ยากเป็นสาเหตุให้เกิดแรงเฉือนมากขึ้นและเวลานานขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์ การพองตัวและการละลายน้ำได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามวัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำมาก ๆ ก็จะเพิ่มแรงเฉือนและเวลานานมากขึ้นอีก และมีอุณหภูมิสูงขึ้นมากด้วย เม็ดแป้งจะถูกทำลาย (Degradation) และเกิดเป็นเดกซ์ตริน (Dextrinization) และการพองตัวจะลดลง (Chinnaswamy and Hanna, 1990) Panuwat (2004) ศึกษการนำแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ดอกมะลิ 105 (KDML105) เป็นข้าวอะไมโลสต่ำ และมีความชื้นตั้งแต่ร้อยละ 16-28 มาผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น พบว่า ความชื้นของวัตถุดิบเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการพองตัวและการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่จะทำให้การเกิดเจล ความหนืด และการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น

**ตารางที่ 4-2** สัดส่วนการพองตัวและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่ใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้นเริ่มต้นของแป้งต่างกัน

| ความชื้น (%) | สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ | ความหนาแน่น (กรัมต่อเซนติเมตร$^3$) |
|---|---|---|
| 13 | $3.17 \pm 0.17^{b}$ | $0.19 \pm 0.03^{b}$ |
| 15 | $3.60 \pm 0.12^{a}$ | $0.15 \pm 0.01^{c}$ |
| 17 | $2.97 \pm 0.13^{c}$ | $0.27 \pm 0.02^{a}$ |

$^{a, b, c,\ldots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

**ตารางที่ 4-3** การดูดซับน้ำ (WAI) และการละลายของผลิตภัณฑ์ (WSI) ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่ใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้นเริ่มต้นของแป้งต่างกัน

| ความชื้น (%) | การดูดซับน้ำ (กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง) | การละลาย (%) |
|---|---|---|
| 13 | $7.32 \pm 0.26^{ab}$ | $9.01 \pm 1.56^{a}$ |
| 15 | $7.57 \pm 0.24^{a}$ | $5.59 \pm 0.70^{b}$ |
| 17 | $7.05 \pm 0.21^{b}$ | $5.03 \pm 0.15^{b}$ |

$^{a, b, c,\cdots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

**ตารางที่ 4-4** ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่ใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้นเริ่มต้นของแป้งต่างกัน

| ความชื้น (%) | ความแข็ง (นิวตัน) |
|---|---|
| 13 | $2.28 \pm 0.01^{b}$ |
| 15 | $2.71 \pm 0.04^{a}$ |
| 17 | $2.27 \pm 0.16^{b}$ |

$^{a, b, c,\cdots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แสดงด้วยค่าความแข็ง (hardness) ของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 4-4) ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) และวัดค่าแรงกดสูงสุด (Maximum force) ก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะเกิดการแตกหัก ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งมากจะต้านทานแรงกดได้มากหรือมีแรงกดสูงสุดมากนั่นเอง จากการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแป้งข้าวหอมนิลที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 15 มีค่าความแข็งสูงสุด คือ 2.7 นิวตัน ซึ่งมีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้แป้งข้าวหอมนิลที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 13 และ 17 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งเมื่อสังเกตจากผลิตภัณฑ์จะพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้แป้งข้าวหอมนิลที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 17 มีลักษณะนิ่ม เนื่องจากลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านความแข็งของ

ผลิตภัณฑ์นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นๆ เช่น ความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง ความเร็วรอบของสกรู และอุณภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้ในการผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ตัวอย่างที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 17 สูงกว่าตัวอย่างอื่น การปรับสภาวะของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ให้มีอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นั้นทำให้เกิดความร้อนไม่มากพอที่จะกำจัดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้ในระดับที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแห้งและแข็งกรอบได้ จึงมีความชื้นหลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์มากกว่าตัวอย่างอื่น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะนิ่ม ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค (ตารางที่ 4-5) โดยผู้บริโภคที่ทำการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ไม่ยอมรับในคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแป้งข้าวหอมนิลที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 17 โดยให้คะแนนการยอมรับโดยเฉลี่ย 3.8 เนื่องจากตัวอย่างมีลักษณะนิ่ม ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวยังส่งผลให้ไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ในด้านความชอบโดยรวมด้วย สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแป้งข้าวหอมนิลที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 13 และ 15 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างกัน โดยมีคะแนนการยอมรับเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.5 ถึง 7.2

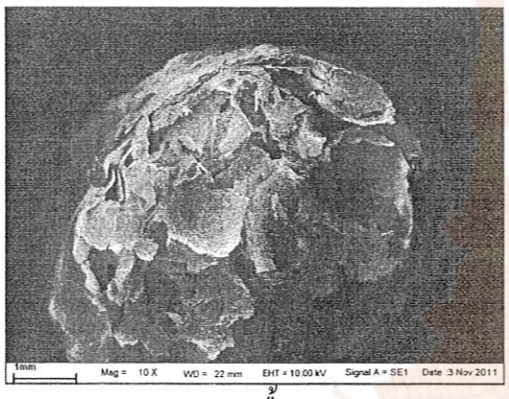
**ตารางที่ 4-5** คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของที่ได้จากการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่ใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที

| ความชื้น (%) | สี | กลิ่น | รสชาติ | เนื้อสัมผัส | ความชอบโดยรวม |
|---|---|---|---|---|---|
| 13 | $7.17 \pm 0.83^{a}$ | $6.70 \pm 0.84^{a}$ | $6.53 \pm 0.63^{a}$ | $6.97 \pm 0.85^{a}$ | $6.90 \pm 0.88^{a}$ |
| 15 | $7.23 \pm 0.82^{a}$ | $6.80 \pm 0.92^{a}$ | $6.57 \pm 0.86^{a}$ | $7.10 \pm 1.06^{a}$ | $7.00 \pm 0.87^{a}$ |
| 17 | $6.07 \pm 0.91^{b}$ | $6.17 \pm 0.91^{b}$ | $5.97 \pm 1.00^{b}$ | $3.77 \pm 1.43^{b}$ | $4.93 \pm 0.98^{b}$ |

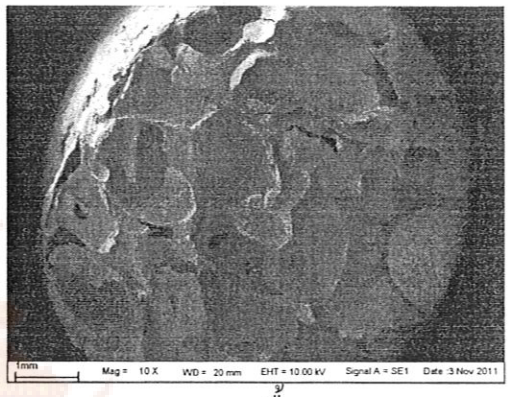
$^{a, b, c,\ldots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การวิเคราะห์ความเป็นรูพรุนของผลิตภัณฑ์ด้านภาคตัดขวางด้วยกล้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 13 (ภาพ 4-8 ก) มีรูพรุนสม่ำเสมอแต่มีขนาดเล็กจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการพองตัวต่ำ สำหรับตัวอย่างที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 15 (ภาพ 4-8 ข) มีรูพรุนสม่ำเสมอและมีขนาดใหญ่ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวดี ตัวอย่างที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 17 พบว่ามีจำนวนรูพรุนน้อย และขนาดเล็กใหญ่ไม่สม่ำเสมอกัน

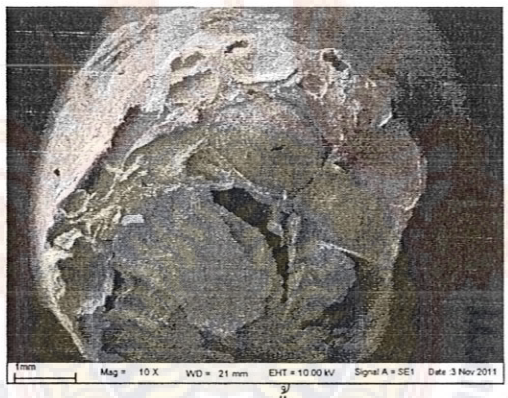
จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากตัวอย่างแป้งข้าวหอมนิลเริ่มต้นร้อยละ 15 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคและมีสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ดี ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้สำหรับการทดลองในขั้นตอนต่อไป




ก. ความชื้น 13 %




ข. ความชื้น 15 %




ค. ความชื้น 17 %

**ภาพที่ 4-8** ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เตรียมจากความชื้นเริ่มต้นของแป้งต่างกันโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 10 เท่า

2.2. ผลการอุณหภูมิที่บาร์เรลและความเร็วรอบสกรูของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล

ผลการอุณหภูมิที่บาร์เรลและความเร็วรอบสกรูของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลโดยแปรอุณหภูมิที่บาร์เรลชุดที่ 1 เป็น 120 140 และ 160 องศาเซลเซียส กำหนดอุณหภูมิที่บาร์เรลชุดที่ 2 เป็น 80 องศาเซลเซียส และแปรความเร็วรอบสกรูเป็น 150 200 และ 250 รอบต่อนาที จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่สภาวะต่างๆด้วยการผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยใช้แป้งข้าวหอมนิลที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 15 และเก็บตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณอัตราการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อ 1 นาที พบว่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แปรผันตรงกับความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที) เนื่องจากสกรูทำหน้าที่ขับเคลื่อนให้ผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่มายังบริเวณช่องทางออกและเกิดการพองตัวที่ด้านนอกของเครื่อง ดังนั้นการเพิ่มความเร็วรอบของสกรูจะทำให้ได้ผลผลิตมากขึ้นตามไปด้วย

**ตารางที่ 4-6** อัตราการผลิตการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ

| อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ความเร็วรอบสกรู (รอบต่อนาที) | อัตราการผลิต* (กรัมต่อนาที) |
|---|---|---|
| 120 | 150 | 25.96 ± 16.86 |
| | 200 | 31.19 ± 17.34 |
| | 250 | 81.13 ± 26.55 |
| 140 | 150 | 32.99 ± 11.78 |
| | 200 | 46.97 ± 12.55 |
| | 250 | 54.57 ± 20.42 |
| 160 | 150 | 33.55 ± 23.65 |
| | 200 | 76.66 ± 20.44 |
| | 250 | 101.76 ± 28.63 |

หมายเหตุ * ไม่ได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติเนื่องจากมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่อนข้างมาก

การวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบแฟคทอเรียล พบว่าอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ความเร็วรอบของสกรู และปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและความเร็วรอบของสกรู มีผลให้เกิดความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ ($p<0.05$, ตารางที่ 4-7) ในคุณลักษณะด้านการพองตัว ความหนาแน่น การดูดซับน้ำ และการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ ยกเว้นปัจจัยร่วมของอุณหภูมิและความเร็วรอบของสกรูไม่ส่งผลต่อการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ ($p \geq 0.05$)

**ตารางที่ 4-7** ค่า F และ p ของสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ การดูดซับน้ำ (WAI) การละลาย (WSI) และความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ

| แหล่งความแปรปรวน | F(p) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ | การดูดซับน้ำ | การละลาย | ความหนาแน่น |
| อุณหภูมิ | 5.875*(0.004) | 27.583*(0.000) | 47.476*(0.000) | 20.939*(0.000) |
| ความเร็วรอบสกรู | 105.466*(0.000) | 19.700*(0.000) | 14.476*(0.000) | 151.815*(0.000) |
| อุณหภูมิ × ความเร็วรอบสกรู | 55.118*(0.000) | 11.849*(0.000) | 1.905$^{ns}$(0.153) | 28.631*(0.000) |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากการทดลองโดยกำหนดความเร็วรอบของสกรูเป็น 150 รอบต่อนาที และปรับอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เป็น 120 140 และ 150 องศาเซลเซียส พบว่าการสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์มีค่าแปรผันตรงกับอุณหภูมิ (ตารางที่ 4-8) โดยมีสัดส่วนการพองตัวเท่ากับ 2.5 3.0 และ 3.2 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างนัยสำคัญ ($p<0.05$) และเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของสกรูจะไม่เห็นความสัมพันธ์ของความเร็วรอบกับอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ชัดเจนนัก แต่มีแนวโน้มว่าการใช้อุณหภูมิและความเร็วรอบสูงจะส่งผลให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์ดีกว่าการใช้อุณภูมิและความเร็วรอบต่ำ สภาวะที่ทำให้ได้สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์สูงที่สุดคือ การใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และความเร็วของสกรู 250 รอบต่อนาที ซึ่งมีสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 3.6 มีค่ามากกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และการใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และความเร็วของสกรู 150 รอบต่อนาที ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสัดส่วนการพองตัวต่ำที่สุด การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ พบว่ามีค่าแปรผกผันกับ

สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ การเพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการผลิตขนมขบเคี้ยวด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ให้สูงขึ้นมีแนวโน้มให้ค่าการดูซับน้ำของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง ซึ่งแปรผกผันกับความเร็วรอบของสกรู (ตารางที่ 4-9) เนื่องจากการเพิ่มความเร็วรอบส่งผลให้การดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิเดียวกัน สำหรับค่าการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างกันในทุกตัวอย่าง

**ตารางที่ 4-8** สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ

| อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ความเร็วรอบสกรู (รอบต่อนาที) | สัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ | ความหนาแน่น (กรัมต่อเซนติเมตร$^3$) |
|---|---|---|---|
| 120 | 150 | $2.45 \pm 0.12^{e}$ | $0.46 \pm 0.04^{a}$ |
| | 200 | $3.31 \pm 0.12^{b}$ | $0.26 \pm 0.02^{d}$ |
| | 250 | $3.59 \pm 0.17^{a}$ | $0.22 \pm 0.03^{e}$ |
| 140 | 150 | $2.98 \pm 0.08^{d}$ | $0.33 \pm 0.04^{b}$ |
| | 200 | $2.95 \pm 0.21^{d}$ | $0.30 \pm 0.04^{c}$ |
| | 250 | $3.38 \pm 0.13^{b}$ | $0.22 \pm 0.03^{e}$ |
| 160 | 150 | $3.17 \pm 0.17^{c}$ | $0.30 \pm 0.04^{c}$ |
| | 200 | $3.31 \pm 0.11^{b}$ | $0.24 \pm 0.02^{de}$ |
| | 250 | $3.18 \pm 0.08^{c}$ | $0.24 \pm 0.02^{de}$ |

$^{a, b, c,\ldots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Voragen (1996) ศึกษากระบวนการเอกซ์ทรูชั่นที่ใช้วัตถุดิบประเภทแป้งสาลี แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีความชื้นระหว่างร้อยละ 10-60 ที่อุณหภูมิประมาณ 100-200 องศาเซลเซียส โดยเวลาในการเอกซ์ทรูชั่น 0.1-5 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิบาร์เรลเพิ่มขึ้นส่งผลให้การเกิดเจลของแป้งเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee et al (1999) โดยส่งผลให้แป้งข้าวเจ้าผลิตภัณฑ์มีอัตราการพองตัวเพิ่มขึ้น แต่จากการศึกษาของ Guha et al.(1997) รายงานว่า การเพิ่มอุณหภูมิของบาร์เรลทำให้การดูดซึมน้ำของแป้งข้าวเจ้าลดลง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการทำลายโมเลกุลของเม็ดแป้งมากขึ้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ ต่อมา Giri and Bandyopadhyay

(2000) รายงานว่า การเพิ่มอุณหภูมิของบาร์เรล จาก 100-153 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าผสมเนื้อปลาเพิ่มขึ้น และความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ลดลง Lee et al. (1999) รายงานว่า อัตราการพองตัวและการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าวโพดลดลงเมื่อความเร็วรอบสกรูเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Wang et al. (1999) รายงานว่าสำหรับวัตถุดิบที่มีความชื้นสูง การเพิ่มความเร็วสกรูตั้งแต่ 100-1400 รอบต่อนาที จะทำให้การเกิดเจลเพิ่มขึ้น โดยที่ความเร็วสกรูสูงๆ จะทำให้เกิดการทำลายเม็ดแป้งมากขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์ละลายน้ำได้มากขึ้น ในลักษณะตรงกันข้ามที่ความเร็วสกรูต่ำจะเกิดแรงเฉือนน้อยเม็ดแป้งถูกทำลายน้อย เม็ดแป้งจึงดูดซึมน้ำได้มาก และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีกำลังพองตัวสูง

**ตารางที่ 4-9** การดูดซับน้ำ (WAI) และการละลายของผลิตภัณฑ์ (WSI) ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ

| อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ความเร็วรอบสกรู (รอบต่อนาที) | การดูดซับน้ำ (กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่าง) | การละลาย[ns] (%) |
|---|---|---|---|
| 120 | 150 | $5.35 \pm 0.37^{e}$ | $4.04 \pm 0.28$ |
| | 200 | $6.14 \pm 0.92^{bc}$ | $5.65 \pm 1.63$ |
| | 250 | $6.53 \pm 0.34^{ab}$ | $7.14 \pm 0.94$ |
| 140 | 150 | $5.99 \pm 0.15^{cd}$ | $5.50 \pm 0.61$ |
| | 200 | $6.51 \pm 0.15^{ab}$ | $7.54 \pm 0.72$ |
| | 250 | $6.82 \pm 0.20^{a}$ | $7.99 \pm 0.31$ |
| 160 | 150 | $5.65 \pm 0.20^{de}$ | $9.14 \pm 0.44$ |
| | 200 | $6.09 \pm 0.26^{c}$ | $8.72 \pm 0.92$ |
| | 250 | $5.28 \pm 0.27^{e}$ | $10.76 \pm 1.29$ |

[a, b, c,...] หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

[ns] หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4-10 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติแบบแฟคทอเรียล โดยพบว่าอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ความเร็วรอบของสกรู และปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและความเร็วรอบ ส่งผลให้ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบที่

อุณหภูมิเดียวกันพบว่าการเพิ่มความเร็วรอบเป็น 250 รอบต่อนาที ส่งผลให้ตัวอย่างมีค่าความแข็งน้อยลงในทุกอุณหภูมิ (ตารางที่ 4-11) เนื่องจากการปรับความเร็วรอบสูงๆ ส่งผลให้ตัวอย่างเคลื่อนที่ออกมายังด้านนอกเร็วเกินไปทำให้อุณภูมิของตัวอย่างมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่มีความเร็วรอบน้อยกว่า ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์นั้นส่วนหนึ่งมีปัจจัยมาจากอัตราการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ เมื่อน้ำระเหยไปได้มากผลิตภัณฑ์จะมีความแห้ง (ภาพที่ 4-9) และแข็งมากขึ้น ดังนั้นเมื่อตัวอย่างที่ผ่านเครื่องเอกซ์มีอุณหภูมิต่ำเนื่องจากมีความเร็วของของเครื่องสูง จึงส่งผลให้อัตราการระเหยของน้ำของผลิตภัณฑ์ต่ำตามไปด้วย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีค่าความแข็งต่ำ

ภาพที่ 4-10 แสดงภาพตัดขวางของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่ได้จากการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้อุณหภูมิ และความเร็วรอบสกรูต่างกัน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน แบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10 เท่า พบว่าตัวอย่างที่ได้มีลักษณะของรูพรุนที่แตกต่างกัน ซึ่งรูพรุนที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างที่มีรูพรุนจำนวนมากและมีขนาดใหญ่จะมีสัดส่วนการพองตัวสูง ดังแสดงในภาพ 4-10 ค ในขณะที่ตัวอย่างที่มีรูพรุนต่ำและมีขนาดเล็กจะส่งผลให้ตัวอย่างมีการพองตัวต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในตารางที่ 4-8

ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านสีและกลิ่นไม่แตกต่างกัน ยกเว้นตัวอย่างที่ได้จากอุณภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เนื่องจากตัวอย่างมีลักษณะนิ่ม เนื่องจากการใช้อุณหภูมิต่ำ (120 องศาเซลเซียส) จะทำให้ไม่เกิดการดันตัวของไอน้ำออกจากผลิตภัณฑ์หรือเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการพองตัว รวมทั้งมีความชื้นอยู่ในผลิตภัณฑ์มากผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงนิ่มไม่แข็งเปราะ นอกจากนี้ยังส่งผลให้ผู้บริโภคจึงไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ในด้านความชอบรวมด้วย แต่การเพิ่มความเร็วรอบของสกรูเป็น 250 รอบต่อนาที ทำให้ผู้บริโภคได้การยอมรับในผลิตภัณฑ์มากกว่า ทั้งด้านสี กลิ่นรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ($p<0.05$, ตารางที่ 4-12) จะเห็นได้ว่าค่าการพองตัว และค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ส่งผลต่อการยอมรับในผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้นั้นสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมที่จะผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวหอมนิลด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ คือ การปรับอุณภูมิของเครื่องเป็น 120 องศาเซลเซียส และมีความเร็วรอบเป็น 250 รอบต่อนาที

**ตารางที่ 4-10** ค่า F และ p ของลักษณะเนื้อสัมผัสค่าความแข็งที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ

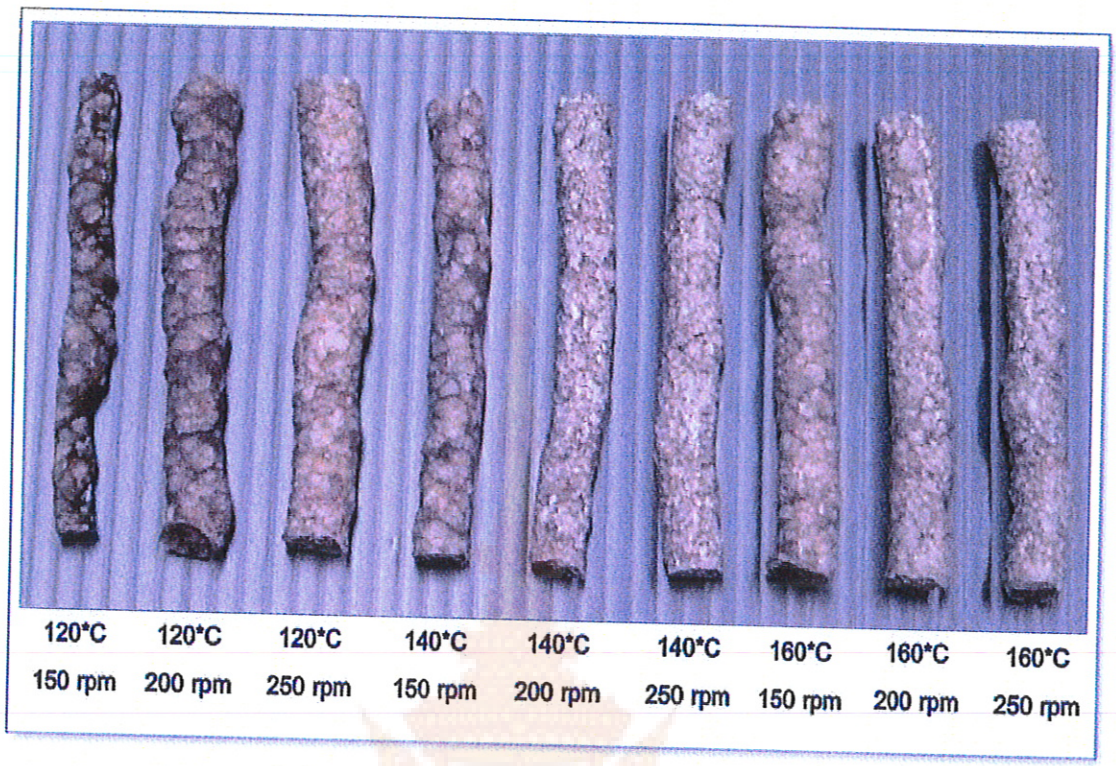
| แหล่งความแปรปรวน | F(p) |
|---|---|
| | ความแข็ง (นิวตัน) |
| อุณหภูมิ | 33.791*(0.000) |
| ความเร็วรอบสกรู | 14.153*(0.002) |
| อุณหภูมิ × ความเร็วรอบสกรู | 47.698*(0.000) |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

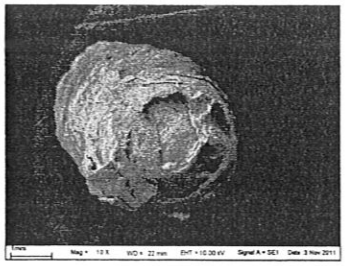
**ตารางที่ 4-11** ลักษณะเนื้อสัมผัสค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ

| อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ความเร็วรอบสกรู (รอบต่อนาที) | ความแข็ง (นิวตัน) |
|---|---|---|
| 120 | 150 | $2.10 \pm 0.04^{d}$ |
| | 200 | $3.12 \pm 0.01^{a}$ |
| | 250 | $2.63 \pm 0.01^{c}$ |
| 140 | 150 | $3.14 \pm 0.03^{a}$ |
| | 200 | $3.02 \pm 0.13^{a}$ |
| | 250 | $2.82 \pm 0.07^{b}$ |
| 160 | 150 | $3.08 \pm 0.11^{a}$ |
| | 200 | $2.65 \pm 0.05^{bc}$ |
| | 250 | $2.60 \pm 0.14^{c}$ |

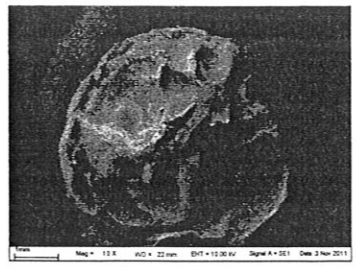
$^{a, b, c, \ldots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



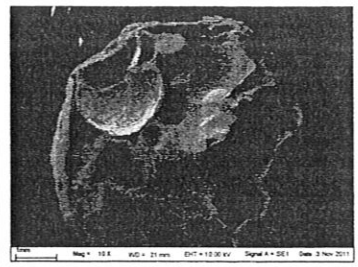

**ภาพที่ 4-9** ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่างๆ



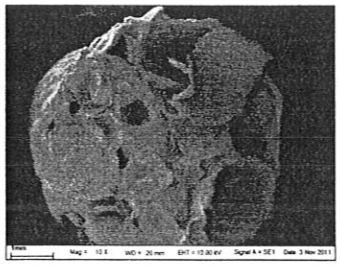
ก. 120 ° C, 150 rpm



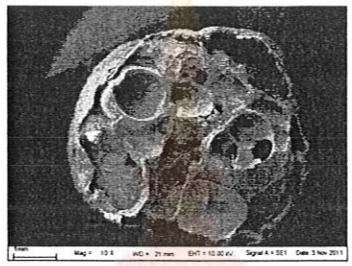
ข. 120 ° C, 200 rpm



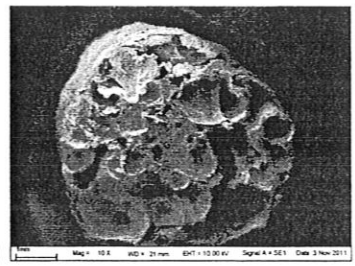
ค. 120 ° C, 250 rpm



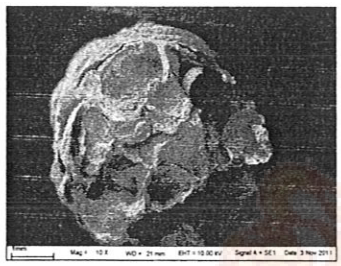
ง. 140 ° C, 150 rpm



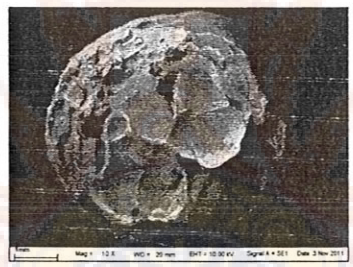
จ. 140 ° C, 200 rpm



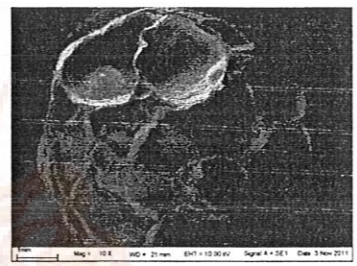
ฉ. 140 ° C, 250 rpm



ช. 160 ° C, 150 rpm



ซ. 160 ° C, 200 rpm



ฌ. 160 ° C, 250 rpm

**ภาพที่ 4-10** ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่ได้จากการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope,SEM) ที่กำลังขยาย 10 เท่า

**ตารางที่ 4-12** คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของที่ได้จากการทำงานของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ

| อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ความเร็วรอบสกรู (รอบต่อนาที) | สี | กลิ่น | รสชาติ | เนื้อสัมผัส | ความชอบโดยรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 120 | 150 | $4.17 \pm 2.07^{b}$ | $4.50 \pm 1.57^{b}$ | $3.40 \pm 1.67^{d}$ | $2.33 \pm 1.63^{e}$ | $3.33 \pm 1.58^{d}$ |
| | 200 | $5.47 \pm 1.43^{a}$ | $5.20 \pm 0.81^{a}$ | $4.73 \pm 1.28^{abc}$ | $4.43 \pm 1.98^{cd}$ | $4.90 \pm 1.03^{bc}$ |
| | 250 | $5.90 \pm 1.47^{a}$ | $5.37 \pm 1.03^{a}$ | $4.83 \pm 1.23^{abc}$ | $4.70 \pm 1.91^{bcd}$ | $5.43 \pm 1.25^{abc}$ |
| 140 | 150 | $5.87 \pm 1.55^{a}$ | $5.27 \pm 1.08^{a}$ | $4.60 \pm 1.50^{bc}$ | $4.53 \pm 1.63^{bcd}$ | $5.10 \pm 1.32^{bc}$ |
| | 200 | $5.93 \pm 1.66^{a}$ | $5.43 \pm 0.86^{a}$ | $5.27 \pm 1.14^{ab}$ | $5.57 \pm 1.85^{a}$ | $5.90 \pm 1.12^{a}$ |
| | 250 | $5.73 \pm 1.68^{a}$ | $5.27 \pm 0.91^{a}$ | $5.33 \pm 1.32^{a}$ | $5.27 \pm 1.74^{ab}$ | $5.67 \pm 1.47^{ab}$ |
| 160 | 150 | $5.93 \pm 1.20^{a}$ | $5.17 \pm 1.34^{a}$ | $4.83 \pm 1.56^{abc}$ | $4.67 \pm 2.29^{bcd}$ | $5.40 \pm 1.98^{abc}$ |
| | 200 | $6.13 \pm 1.80^{a}$ | $5.23 \pm 1.19^{a}$ | $5.03 \pm 1.45^{ab}$ | $5.20 \pm 1.92^{abc}$ | $5.53 \pm 1.48^{ab}$ |
| | 250 | $5.40 \pm 1.87^{a}$ | $5.20 \pm 1.10^{a}$ | $4.33 \pm 1.69^{c}$ | $4.00 \pm 2.12^{d}$ | $4.70 \pm 1.73^{c}$ |

$^{a, b, c, \ldots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

**3. ผลการศึกษาหาชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล**

การศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลทำโดยแปรชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว 2 ชนิด คือ ถุงพลาสติกชนิด Oriented polypropylene (OPP) และ ถุงพลาสติกชนิด Metallized Oriented polypropylene (Met OPP) บรรจุขนมขบเคี้ยวในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด และปิดผนึกบรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศ เก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง ($27 \pm 2\ ^{\circ}C$) เป็นเวลา 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาประเมินคุณภาพทุกสองสัปดาห์ ซึ่งบรรจุภัณฑ์ OPP มีคุณสมบัติใส ทนความร้อนสูง เหมาะสมหรับใช้บรรจุอาหารร้อน สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้ (Sealability) และป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้ดี สำหรับบรรจุภัณฑ์ Met OPP นั้นผลิตจากการเคลือบ OPP ด้วยไอของอะลูมิเนียม จึงทำให้มีความมันวาว มีคุณสมบัติคล้ายกับ OPP และสามารถป้องกันแสงได้เนื่องจากมีอะลูมิเนียมเคลือบอยู่ จึงเหมาะสำหรับอาหารที่มีความไวต่อแสง เช่น อาหารทอด ขนมขบเคี้ยว ฯลฯ จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่า $a_w$ และปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แสดงดังตารางที่ 4-13 โดยผลิตภัณฑ์ที่บรรจุใน OPP มีค่า $a_w$ เพิ่มขึ้นจาก 0.46 เป็น 0.62 และมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 9.27 เป็นร้อยละ 9.80 ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุใน Met OPP มีค่า $a_w$ อยู่ในช่วง 0.475 - 0.630 และมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 9.17 - 9.44 การเพิ่มขึ้นของค่า $a_w$ และปริมาณความชื้นนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากสภาพบรรยากาศในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในชิ้นอาหาร ($a_w$) ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของ ไอน้ำในบรรยากาศสู่ชิ้นอาหาร ถึงแม้ว่าถุงพลาสติกชนิด OPP และ Met OPP จะมีคุณสมบัติการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชนิดอื่น แต่ก็ไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงมีไอน้ำในบรรยากาศบางส่วนสามารถซึมผ่านไปยังชิ้นอาหารได้ ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่าการดูดซับความชื้นของอาหาร

จากข้อมูลที่ได้พบว่าค่า $a_w$ ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่บรรจุในถึงพลาสติกชนิด OPP และ Met OPP มีค่าเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 33.45 แต่มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยเพียงร้อยละ 4.33 เท่านั้น ทั้งนี้กระบวนการดูดซับความชื้นของอาหารนั้นจะรับความชื้นในบรรยากาศเข้าไปอยู่เฉพาะบริเวณผิวนอกของอาหาร โดยน้ำที่เพิ่มเข้าไปจะไม่เกิดการสร้างพันธะกับสารในอาหารหรือเกิดขึ้นเล็กน้อย จึงจัดเป็นปริมาณน้ำอิสระในชิ้นอาหาร (Free water) ซึ่งส่งผลให้ค่า $a_w$ ของอาหารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นในอาหาร ซึ่งเป็นไปตามหลักการของไอโซเทอมของอาหาร (Isotherm of food)

การวิเคราะห์ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้ง 2 ชนิด มีค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มีค่าแปรผกผันกับค่า $a_w$ และปริมาณความชื้นของอาหาร ทั้งนี้น้ำมีคุณสมบัติเป็นสารที่สามารถลดค่าอุณหภูมิทรานซิชัน (Tg) ของอาหารได้ (Pasticizer) เมื่ออาหารมีปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิทรานซิชันของอาหารลดต่ำลง ทำให้อาหารมีลักษณะนิ่มขึ้นหรือเรียกว่าสภาวะเหนียวคล้ายยาง (Rubbery) ทำให้ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างลดลง ซึ่งถ้าอาหารมีความชื้นสูงมากขึ้นเรื่อยๆจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะนิ่มจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาดังกล่าวจึงมีการคิดค้นวิธีการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำที่มีประสิทธิภาพดี เช่น ถุงพลาสติกชนิดลามิเนต เป็นต้น

ตารางที่ 4-15 แสดงค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยค่า TBA แสดงถึงการเกิดกลิ่นหืนของอาหาร โดยวิเคราะห์ปริมาณของสาร Malonaldehyde ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์อันดับ 2 (Secondary product) ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของอาหาร ซึ่งเป็นสารสำคัญทำให้เกิดกลิ่นหืนของอาหาร ทำให้อาหารไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งการเกิดกลิ่นหืนนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อมีน้ำมันหรือไขมันเป็นองค์ประกอบของอาหาร โดยน้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศทำให้เกิดสารอนุมูลอิสระแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ และเมื่อมีอนุมูลอิสระมากขึ้นก็ทำให้เกิดกลิ่นหืนขึ้น แต่จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในถุงพลาสติก OPP และ Met OPP และเก็บไว้เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์นั้น มีค่า TBA ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์เริ่มต้นการทดลอง นั่นแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติกทั้ง 2 ชนิดไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันตลอดระยะการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์นั้นผลิตจากข้าวหอมนิลเพียงชนิดเดียว ซึ่งข้าวหอมนิลนั้นมีไขมันเป็นองค์ประกอบเพียงเล็กน้อย จึงทำให้ไม่มีสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า TBA ของผลิตภัณฑ์

**ตารางที่ 4-13** ค่า $a_w$ ความชื้น และความแข็ง (Hardness) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP และ Met OPP เป็นเวลา 12 สัปดาห์

| บรรจุภัณฑ์ / สัปดาห์ที่ | $a_w$ | | ความชื้น (%) | | ความแข็ง (N) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | OPP | Met OPP | OPP | Met OPP | OPP | Met OPP |
| 0 | $0.463 \pm 0.003^{c}$ | $0.475 \pm 0.003^{c}$ | $9.27 \pm 0.37^{bc}$ | $9.17 \pm 0.02^{bc}$ | $2.29 \pm 0.00^{a}$ | $2.07 \pm 0.04^{a}$ |
| 2 | $0.514 \pm 0.004^{bc}$ | $0.510 \pm 0.005^{bc}$ | $9.09 \pm 0.17^{c}$ | $8.87 \pm 0.21^{d}$ | $2.10 \pm 0.29^{ab}$ | $1.94 \pm 0.00^{b}$ |
| 4 | $0.525 \pm 0.003^{b}$ | $0.503 \pm 0.005^{c}$ | $9.36 \pm 0.07^{bc}$ | $8.85 \pm 0.06^{d}$ | $1.98 \pm 0.01^{b}$ | $1.89 \pm 0.08^{b}$ |
| 6 | $0.522 \pm 0.003^{b}$ | $0.531 \pm 0.003^{b}$ | $9.07 \pm 0.06^{c}$ | $9.00 \pm 0.09^{bcd}$ | $1.61 \pm 0.00^{c}$ | $1.73 \pm 0.05^{c}$ |
| 8 | $0.545 \pm 0.003^{ab}$ | $0.543 \pm 0.002^{ab}$ | $9.33 \pm 0.13^{bc}$ | $8.99 \pm 0.15^{cd}$ | $1.56 \pm 0.04^{c}$ | $1.63 \pm 0.00^{d}$ |
| 10 | $0.554 \pm 0.004^{ab}$ | $0.564 \pm 0.004^{ab}$ | $9.46 \pm 0.04^{b}$ | $9.23 \pm 0.04^{ab}$ | $1.66 \pm 0.01^{c}$ | $1.77 \pm 0.03^{c}$ |
| 12 | $0.622 \pm 0.003^{a}$ | $0.630 \pm 0.003^{a}$ | $9.80 \pm 0.05^{a}$ | $9.44 \pm 0.18^{a}$ | $1.65 \pm 0.04^{c}$ | $1.72 \pm 0.01^{cd}$ |

$^{a, b, c, \ldots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

**ตารางที่ 4-14** ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP และ Met OPP เป็นเวลา 12 สัปดาห์

| บรรจุภัณฑ์ / สัปดาห์ที่ | TBA (mg malonaldehyde/kg) | |
|---|---|---|
| | OPP[ns] | Met OPP[ns] |
| 0 | 0.09±0.003 | 0.11±0.002 |
| 2 | 0.13±0.002 | 0.14±0.003 |
| 4 | 0.11±0.004 | 0.11±0.001 |
| 6 | 0.12±0.003 | 0.18±0.002 |
| 8 | 0.08±0.006 | 0.12±0.002 |
| 10 | 0.10±0.004 | 0.13±0.005 |
| 12 | 0.11±0.001 | 0.12±0.003 |

[ns] หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในถุงพลาสติกทั้ง 2 ชนิด เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) ของผลิตภัณฑ์ลดลงเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้การหักเหของแสงที่ส่องกระทบชิ้นอาหารเปลี่ยนแปลงไป แต่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) จากผลการยอมรับทางประสาทผัสของผู้บริโภคที่ทดสอบชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่เก็บไว้ในถุงพลาสติกชนิด OPP และ Met OPP พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 3 เดือน ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับในผลิตภัณฑ์ที่เก็บในถุงพลาสติกชนิด Met OPP ในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมไม่แตกต่างกับผลิตภัณฑ์ที่เริ่มต้นทดลอง ในขณะที่คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสและความชอบรวมของตัวอย่างที่เก็บในถุงพลาสติกชนิด OPP มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ก็อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ การใช้ถุงพลาสติกชนิด OPP และ Met OPP เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวให้ผลการทดลองด้านต่างๆ ไม่แตกต่างกัน

**ตารางที่ 4-15** ค่าสีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP และ Met OPP เป็นเวลา 12 สัปดาห์

| บรรจุภัณฑ์ / สัปดาห์ที่ | L* | | a* | | b* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | OPP | Met OPP | OPP$^{ns}$ | Met OPP$^{ns}$ | OPP$^{ns}$ | Met OPP$^{ns}$ |
| 0 | 44.79 ± 0.26$^{a}$ | 44.87 ± 0.38$^{a}$ | 6.28 ± 0.31 | 6.28 ± 0.12 | 9.71 ± 1.22 | 9.76 ± 0.47 |
| 2 | 45.11 ± 0.37$^{a}$ | 44.86 ± 0.56$^{a}$ | 6.45 ± 0.06 | 6.34 ± 0.24 | 9.95 ± 0.65 | 9.92 ± 0.71 |
| 4 | 44.84 ± 0.15$^{a}$ | 44.51 ± 0.70$^{ab}$ | 6.38 ± 0.05 | 6.31 ± 0.17 | 9.81 ± 0.10 | 10.15 ± 0.19 |
| 6 | 44.80 ± 0.49$^{a}$ | 44.72 ± 0.43$^{ab}$ | 6.49 ± 0.10 | 6.38 ± 0.07 | 10.02 ± 0.31 | 10.02 ± 0.09 |
| 8 | 43.62 ± 0.12$^{b}$ | 43.94 ± 0.20$^{bc}$ | 6.17 ± 0.08 | 6.19 ± 0.05 | 9.89 ± 0.26 | 9.92 ± 0.13 |
| 10 | 45.10 ± 0.85$^{a}$ | 43.66 ± 0.40$^{c}$ | 6.29 ± 0.17 | 6.22 ± 0.05 | 9.89 ± 0.57 | 9.59 ± 0.13 |
| 12 | 43.91 ± 0.36$^{b}$ | 44.11 ± 0.20$^{abc}$ | 6.39 ± 0.05 | 6.16 ± 0.12 | 9.76 ± 1.09 | 10.03 ± 0.41 |

$^{a, b, c, \ldots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

**ตารางที่ 4-16** คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP และ Met OPP เป็นเวลา 3 เดือน

| เดือนที่ | คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | สี | | กลิ่น | | รสชาติ | | เนื้อสัมผัส | | ความชอบโดยรวม | |
| | OPP$^{ns}$ | Met OPP$^{ns}$ | OPP$^{ns}$ | Met OPP$^{ns}$ | OPP$^{ns}$ | Met OPP$^{ns}$ | OPP | Met OPP$^{ns}$ | OPP | Met OPP$^{ns}$ |
| 0 | 6.43 ± 1.45 | 6.60 ± 1.28 | 6.00 ± 1.29 | 6.50 ± 1.41 | 5.57 ± 1.43 | 6.53 ± 1.33 | 6.13 ± 1.41$^{b}$ | 7.07 ± 1.08 | 6.03 ± 1.56$^{b}$ | 6.57 ± 1.52 |
| 1 | 6.73 ± 1.05 | 6.60 ± 0.93 | 6.13 ± 1.20 | 6.00 ± 1.23 | 6.00 ± 1.41 | 6.07 ± 1.17 | 7. 03 ± 1.33$^{a}$ | 7.13 ± 1.11 | 6.87 ± 1.20$^{a}$ | 6.77 ± 1.10 |
| 2 | 6.33 ± 1.12 | 6.33 ± 1.12 | 5.70 ± 1.12 | 6.07 ± 1.14 | 5.93 ± 1.28 | 6.07 ± 1.36 | 6.60 ± 1.22$^{ab}$ | 6.83 ± 1.26 | 6.50 ± 1.22$^{ab}$ | 6.80 ± 1.03 |
| 3 | 6.80 ± 0.96 | 7.00 ± 0.83 | 6.27 ± 1.05 | 6.63 ± 1.03 | 6.17 ± 1.26 | 5.97 ± 1.54 | 6.90 ± 1.12$^{a}$ | 6.60 ± 1.22 | 6.90 ± 0.96$^{a}$ | 6.90 ± 0.84 |

$^{a, b, c, \ldots}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

# บทที่ 5
# สรุปผล

การวิจัยเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นจากข้าวหอมนิลเป็นการวิจัยที่นำไปสู่การเพิ่มผลผลิตและสร้างมูลค่าเพิ่ม โดยมีการพัฒนาเครื่องมือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตที่มีต้นทุนต่ำ ทดแทนการนำเข้า โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เครื่องต้นแบบเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวสามารถใช้ได้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารขนาดเล็กและสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องต้นแบบเอกซ์ทรูเดอร์ประกอบด้วยชุดบาร์เรล 2 ส่วน บาร์เรลถูกควบคุมอุณหภูมิด้วยแถบความร้อนไฟฟ้า (Heaters) และพัดลม โดยมีหัวตรวจวัดอุณหภูมิ อุณหภูมิจะปรับได้ในช่วง 30-350 องศาเซลเซียส สกรูจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ยาว 25 เซนติเมตร ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ที่มีขนาด 5 แรงม้า และสามารถควบคุมความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 0-450 รอบต่อนาที ส่งกำลังโดยมีอัตราทด 1:3 ชุดป้อนวัตถุดิบประกอบด้วยถังบรรจุขนาดความจุ 4 กิโลกรัมแป้ง ป้อนวัตถุดิบด้วยสกรูอัตราป้อนประมาณ 20 กรัมต่อนาที ขับด้วย DC มอเตอร์ 12 โวลท์ 10 วัตต์ ผนังถังบรรจุวัตถุดิบเป็น 2 ชั้น ชุดตัดผลิตภัณฑ์เป็นใบมีดสแตนเลส ขับด้วย DC มอเตอร์ 12 โวลท์ 10 วัตต์

ความชื้นเริ่มต้นแป้งข้าวหอมนิลที่เหมาสมคือร้อยละ 15 ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลด้วยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว คือ การปรับอุณหภูมิของบาเรลชุดที่ 1 และชุดที่ 2 เท่ากับ 120 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และความเร็วรอบของสกรูเท่ากับ 250 รอบต่อนาที ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสัดส่วนการพองตัวสูง มีความหนาแน่นต่ำ มีลักษณะแข็งกรอบ และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สำหรับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้เป็นระยะเวลานานนั้นควรบรรจุใส่ถุงพลาสติกชนิด Met OPP และปิดผนึกแบบสุญญากาศ เพราะนอกจากจะไม่ทำให้ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างแล้ว Met OPP ยังมีคุณสมบัติป้องกันแสงได้ดี ซึ่งจะช่วยเก็บรักษาอาหารไว้ได้นานขึ้น

# บรรณานุกรม


กองโภชนาการ. 2546. **สถานการณ์ของภาวะโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็กในเด็กวัยเรียน.** กรมอนามัย. 9 (2).

โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา. 2006. **ข้าวหอมมะลิอนามัย.** วันที่สืบค้นข้อมูล 2 กรกฎาคม 2550, เข้าถึงได้ http://blog.9digits.com/?p=155.

พอใจ ลิ้มพันธ์อุดม. 2532. **กระบวนการเอกซ์ทรูชัน.** วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 4: 11-16

ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวขอนแก่น. 2550. **คุณค่าทางโภชนาการของข้าวขาวดอกมะลิ.** วันที่สืบค้นข้อมูล 2 มิถุนายน 2550, เข้าถึงได้จาก http://seedcenter17.doae.go.th/farmer/pedigree/08-daenghom.html.

สิริวรรณค้าข้าว. 2007. **ข้าวหอมนิล**. วันที่สืบค้นข้อมูล 2 ธันวาคม 2510, เข้าถึงได้จาก http://www.tarad.com/sirivanrice/.

อภิชาติ วรรณวิจิตร. 2548. **โครงการบูรณาการเทคโนโลยีชีวภาพในการสร้างพันธุ์ข้าวเพื่อเพิ่มมูลค่าและคุณค่าสูง** ใน เอกสารประกอบการสัมมนานวัตกรรมข้าวไทยธาตุเหล็กสูง 13 กันยายน 2548 (หน้า 1-25). กรุงเทพ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

เอกสารการเผยแพร่บริษัทสีนิล ไรน์ จำกัด. 2550. **ข้าวเจ้าหอมนิล.** วันที่สืบค้นข้อมูล 3 มิถุนายน 2550, เข้าถึงได้จาก http://www.sininrice.com/SininFile/information/2.html.

Alvarez-Martinez, L., Kondury, K. P. and Karper, J. M. 1988. A general model for expansion of extruded products. **Journal of Food Science.** 53: 609-615.

Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F. and Griffin, E. L. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**. 14: 4-12.

Chinnaswamy, R. and Hanna, M. A. 1990. Macromolecular and functional properties of native and extrusion cooking cornstarch. **Cereal Chemistry**. 87, 5: 490-499.

Dziezak, J.D. 1989. Single and twin screw extruders in food processing. **Food Technology**. 14: 164-174.

Giri,S.K. and Bandyopadhyay, S. 2000. Effect of extrusion avariables on extradite characteristics of fish muscle and rice. Flour blend in a single screw extruder. **J. of Food Processing Preservation**. 24: 177-190.

Gomez,M.H.and J.M.Aguilera. 1984. Amylose content and puffed volume of gelatinized rice. **Journal of Food Science**. 49: 40-43; 63

Guha, M., Ali, S.Z., and Bhattacharya, S. 1997. Twin extrusion of rice flour without a die: Effect of Barrel Temptation and Screw Speed on Extrusion and extradite characteristics. **J. of Food Engineering**. 32: 251-267.

Harper, J.M. 1981. **Extrusion of Foods**. Volume I and II, CRC Press, Inc. Baca Raton, Florida.

Lee, G. Y., Tsai, M. L., and Tseng, K. H. 1996. Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. **Cereal Chemistry**. 73, 4: 415-420.

Lee, E.Y., Ryu, G. H., and Lim, S. T. 1999. Effect of processing parameter on physical properties of cornstarch extradites expanded using supercritical $CO_2$ injection. **Cereal Chemistry**. 76, 1: 63-69.

Merrian Webster. 2012. **An Encyclopaedia Britannica Company**. Retrieved January 15, 2011. from http://www.merriam-webster.com/dictionary/extruding.

Pearson, D. 1976. **Laboratory Techniques in Food Analysis.** Wiley. New York.

Panutwat. S. 2004 . **Physical Modification of Low Amylose Rice (KDML105) Flour and Starch by Extrusion Cooking and Drum Drying**. Dissertation, AIT, Thailand

Rossen, J. L. and Miller, R. C. 1973. Extrusion of Food. **Food Technol**. 27, 8: 446.

Schuler, E. W. 1986. Twin screw extrusion cooking systems for food processing. **Cereal Food World**. 30, 6: 413-416.

Wang, N., Bhirud., P. R., Sosulski, F. W. and Tyler, R. T. 1999. Pasta like product from pea flour by twin screw extrusion. **Journal of Food Science**. 64, 4: 671-678.

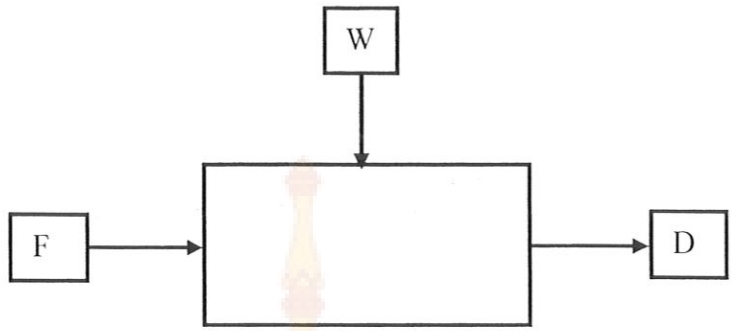
Voragen, A. G. J. 1996. **Specific Application of Tapioca Starch. Advanced Post Academic Courses on Technology**. Bangkok, Thailand

# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก

การคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องเติมในแป้งเพื่อให้ได้ความชื้นที่ต้องการ

**การคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องเติมในแป้ง**




โดยที่ F = Flour (แป้งข้าวหอมนิล)

W = Water (น้ำ)

D = Dough (โด)

**ตัวอย่างการคำนวณ**

เตรียมแป้งให้มีความชื้นร้อยละ 13 เตรียมดังนี้

แป้งข้าวหอมนิลมีความชื้นร้อยละ 8.68 และต้องการโดที่มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 13 ใช้แป้งข้าวหอมนิล 100 กรัม

Mass balance : $F + W = D$

Total solid : $100(0.0868) + W = (100 + W)\ 0.13$

แก้สมการหาค่า W จะได้ $W = 4.97$

ดังนั้นจะต้องเติมน้ำ 4.97 กรัม จึงจะได้โดที่มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 13

เตรียมแป้งให้มีความชื้นร้อยละ 15 เตรียมดังนี้

แป้งข้าวหอมนิลมีความชื้นร้อยละ 8.68 และต้องการโดที่มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 15 ใช้แป้งข้าวหอมนิล 100 กรัม

Mass balance : $F + W = D$

Total solid : $100(0.0868) + W = (100 + W)\ 0.15$

แก้สมการหาค่า W จะได้ $W = 7.44$

ดังนั้นจะต้องเติมน้ำ 7.44 กรัม จึงจะได้โดที่มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 15

เตรียมแป้งให้มีความชื้นร้อยละ 17 เตรียมดังนี้

แป้งข้าวหอมนิลมีความชื้นร้อยละ 8.68 และต้องการโดที่มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 17 ใช้แป้งข้าวหอมนิล 100 กรัม

Mass balance : $F + W = D$

Total solid : $100(0.0868) + W = (100 + W)\ 0.17$

แก้สมการหาค่า W จะได้ $W = 10.02$

ดังนั้นจะต้องเติมน้ำ 10.02กรัม จึงจะได้โดที่มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 17

# ภาคผนวก ข

แบบประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

**แบบประเมินผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-Point Hedonic Scale**

วันที่ทดสอบ.....

ผลิตภัณฑ์ ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล

คำชี้แจง กรุณาทดสอบขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลจากซ้ายไปขวาและให้คะแนนในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม ตามเกณฑ์ให้คะแนนดังนี้

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| กำหนดให้ | 9 | หมายถึง ชอบมากที่สุด | 4 | หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย |
| | 8 | หมายถึง ชอบมาก | 3 | หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง |
| | 7 | หมายถึง ชอบปานกลาง | 2 | หมายถึง ไม่ชอบมาก |
| | 6 | หมายถึง ชอบเล็กน้อย | 1 | หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด |
| | 5 | หมายถึง เฉยๆ | | |

| รหัสตัวอย่าง | สี | กลิ่น | รสชาติ | เนื้อสัมผัส | ความชอบโดยรวม |
|---|---|---|---|---|---|
| ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

# ภาคผนวก ค

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

**ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

ตารางภาคผนวก ค-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่กำหนดอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้นเริ่มต้นของแป้งข้าวหอมนิลต่างกัน

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 2.052 | 2 | 1.026 | 51.477* | 0.000 |
| Error | 0.538 | 27 | 0.020 | | |
| Total | 2.590 | 29 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการดูดซับน้ำ (WAI) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่กำหนดอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้นเริ่มต้นของแป้งข้าวหอมนิลต่างกัน

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 3981.874 | 2 | 1990.937 | 5.618* | 0.042 |
| Error | 2126.431 | 6 | 354.405 | | |
| Total | 6108.305 | 8 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการละลาย (WSI) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่กำหนดอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้นเริ่มต้นของแป้งข้าวหอมนิลต่างกัน

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 27.949 | 2 | 13.975 | 14.238* | 0.005 |
| Error | 5.889 | 6 | 0.981 | | |
| Total | 33.838 | 8 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่กำหนดอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้น เริ่มต้นของแป้งข้าวหอมนิลต่างกัน

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 0.073 | 2 | 0.0364 | 75.999* | 0.000 |
| Error | 0.013 | 27 | 0.0005 | | |
| Total | 0.086 | 29 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนลักษณะเนื้อสัมผัสค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่กำหนดอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้นเริ่มต้นของแป้งข้าวหอมนิลต่างกัน

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 0.252 | 2 | 0.126 | 13.643* | 0.031 |
| Error | 0.028 | 3 | 0.009 | | |
| Total | 0.280 | 5 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่กำหนดอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้นเริ่มต้นของแป้งข้าวหอมนิลต่างกัน

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 25.756 | 2 | 12.878 | 38.151* | 0.000 |
| Block | 43.822 | 29 | 1.511 | 4.477* | 0.000 |
| Error | 19.578 | 58 | 0.338 | | |
| Total | 4278.000 | 90 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่กำหนดอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้นเริ่มต้นของแป้งข้าวหอมนิลต่างกัน

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 6.956 | 2 | 3.478 | 13.408* | 0.000 |
| Block | 54.222 | 29 | 1.870 | 7.208* | 0.000 |
| Error | 15.044 | 58 | 0.259 | | |
| Total | 3944.000 | 90 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่กำหนดอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้นเริ่มต้นของแป้งข้าวหอมนิลต่างกัน

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 6.822 | 2 | 3.411 | 10.688* | 0.000 |
| Block | 43.289 | 29 | 1.493 | 4.677* | 0.000 |
| Error | 18.511 | 58 | 0.319 | | |
| Total | 3704.000 | 90 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่กำหนดอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้นเริ่มต้นของแป้งข้าวหอมนิลต่างกัน

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 213.689 | 2 | 106.844 | 146.462* | 0.000 |
| Block | 70.722 | 29 | 2.439 | 3.343* | 0.000 |
| Error | 42.311 | 58 | 0.730 | | |
| Total | 3507.000 | 90 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่กำหนดอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบสกรู 250 รอบต่อนาที ที่ความชื้นเริ่มต้นของแป้งข้าวหอมนิลต่างกัน

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 81.489 | 2 | 40.744 | 99.108* | 0.000 |
| Block | 48.722 | 29 | 1.680 | 4.087* | 0.000 |
| Error | 23.844 | 58 | 0.411 | | |
| Total | 3701.000 | 90 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Temp | 0.122 | 2 | 0.061 | 5.875* | 0.004 |
| Screw Speed | 2.196 | 2 | 1.098 | 105.466* | 0.000 |
| Temp × Screw Speed | 2.296 | 4 | 0.574 | 55.118* | 0.000 |
| Error | 0.843 | 81 | 0.010 | | |
| Total | 484.552 | 90 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการดูดซับน้ำ (WAI) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Temp | 26336.246 | 2 | 13168.123 | 27.522* | 0.000 |
| Screw Speed | 18763.238 | 2 | 9381.619 | 19.608* | 0.000 |
| Temp × Screw Speed | 22799.805 | 4 | 5699.951 | 11.913* | 0.000 |
| Error | 8612.209 | 18 | 478.456 | | |
| Total | 9932838.769 | 27 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการละลาย (WSI) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Temp | 71.419 | 2 | 35.709 | 43.774* | 0.000 |
| Screw Speed | 26.013 | 2 | 13.006 | 15.944* | 0.000 |
| Temp × Screw Speed | 5.880 | 4 | 1.470 | 1.802$^{ns}$ | 0.172 |
| Error | 14.684 | 18 | 0.816 | | |
| Total | 1591.485 | 27 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Temp | 0.042 | 2 | 0.021 | 20.939* | 0.000 |
| Screw Speed | 0.308 | 2 | 0.154 | 151.815* | 0.000 |
| Temp × Screw Speed | 0.116 | 4 | 0.029 | 28.631* | 0.000 |
| Error | 0.082 | 81 | 0.001 | | |
| Total | 7.848 | 90 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนลักษณะเนื้อสัมผัสค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Temp | 0.440 | 2 | 0.220 | 33.791* | 0.000 |
| Screw Speed | 0.184 | 2 | 0.092 | 14.153* | 0.002 |
| Temp × Screw Speed | 1.242 | 4 | 0.311 | 47.698* | 0.000 |
| Error | 0.059 | 9 | 0.007 | | |
| Total | 142.374 | 18 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 83.874 | 8 | 10.484 | 6.113* | 0.000 |
| Block | 316.163 | 29 | 10.902 | 6.357* | 0.000 |
| Error | 397.904 | 232 | 1.715 | | |
| Total | 9310.000 | 270 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 17.407 | 8 | 2.176 | 2.577* | 0.010 |
| Block | 132.774 | 29 | 4.578 | 5.421* | 0.000 |
| Error | 195.926 | 232 | 0.845 | | |
| Total | 7595.000 | 270 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 81.119 | 8 | 10.140 | 7.134* | 0.000 |
| Block | 210.996 | 29 | 7.276 | 5.119* | 0.000 |
| Error | 329.770 | 232 | 1.421 | | |
| Total | 6605.000 | 270 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 216.867 | 8 | 27.108 | 13.368* | 0.000 |
| Block | 480.033 | 29 | 16.553 | 8.163* | 0.000 |
| Error | 470.467 | 232 | 2.028 | | |
| Total | 6689.000 | 270 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมที่ได้จากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิล ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูต่าง ๆ

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 140.119 | 8 | 17.515 | 9.887* | 0.000 |
| Block | 150.774 | 29 | 5.199 | 2.935* | 0.000 |
| Error | 410.993 | 232 | 1.772 | | |
| Total | 7745.000 | 270 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความชื้นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Oriented polypropylene (OPP) เป็นเวลา 12 สัปดาห์

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 1.083 | 6 | 0.180 | 6.444* | 0.002 |
| Error | 0.392 | 14 | 0.028 | | |
| Total | 1.475 | 20 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความชื้นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Metallized OPP (Met OPP) เป็นเวลา 12 สัปดาห์

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 0.825 | 6 | 0.138 | 8.503* | 0.001 |
| Error | 0.226 | 14 | 0.016 | | |
| Total | 1.052 | 20 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความสว่าง (L*) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Oriented polypropylene (OPP) เป็นเวลา 12 สัปดาห์

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 6.230 | 6 | 1.038 | 5.482* | 0.004 |
| Error | 2.652 | 14 | 0.189 | | |
| Total | 8.882 | 20 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความสว่าง (L*) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Metallized OPP (Met OPP) เป็นเวลา 12 สัปดาห์

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 4.175 | 6 | 0.696 | 3.547* | 0.024 |
| Error | 2.746 | 14 | 0.196 | | |
| Total | 6.921 | 20 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความเป็นสีแดง (a*) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Oriented polypropylene (OPP) เป็นเวลา 12 สัปดาห์

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 0.209 | 6 | 0.035 | $1.614^{ns}$ | 0.216 |
| Error | 0.302 | 14 | 0.022 | | |
| Total | 0.510 | 20 | | | |

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความเป็นสีแดง (a*) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Metallized OPP (Met OPP) เป็นเวลา 12 สัปดาห์

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 0.124 | 6 | 0.021 | $1.131^{ns}$ | 0.394 |
| Error | 0.255 | 14 | 0.018 | | |
| Total | 0.379 | 20 | | | |

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Oriented polypropylene (OPP) เป็นเวลา 12 สัปดาห์

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 0.216 | 6 | 0.036 | $0.070^{ns}$ | 0.998 |
| Error | 7.238 | 14 | 0.517 | | |
| Total | 7.454 | 20 | | | |

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Metallized OPP (Met OPP) เป็นเวลา 12 สัปดาห์

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 0.625 | 6 | 0.104 | $0.750^{ns}$ | 0.619 |
| Error | 1.942 | 14 | 0.139 | | |
| Total | 2.567 | 20 | | | |

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนลักษณะเนื้อสัมผัสค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Oriented polypropylene (OPP) เป็นเวลา 12 สัปดาห์

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 0.992 | 6 | 0.165 | 12.888* | 0.002 |
| Error | 0.090 | 7 | 0.013 | | |
| Total | 1.081 | 13 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนลักษณะเนื้อสัมผัสค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Metallized OPP (Met OPP) เป็นเวลา 12 สัปดาห์

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 0.276 | 6 | 0.046 | 28.486* | 0.000 |
| Error | 0.011 | 7 | 0.002 | | |
| Total | 0.287 | 13 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Oriented polypropylene (OPP) เป็นเวลา 3 เดือน

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 4.625 | 3 | 1.542 | $1.145^{ns}$ | 0.336 |
| Block | 39.575 | 29 | 1.365 | $1.014^{ns}$ | 0.462 |
| Error | 117.125 | 87 | 1.346 | | |
| Total | 5349.000 | 120 | | | |

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Oriented polypropylene (OPP) เป็นเวลา 3 เดือน

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 5.292 | 3 | 1.764 | $1.359^{ns}$ | 0.261 |
| Block | 44.675 | 29 | 1.541 | $1.186^{ns}$ | 0.268 |
| Error | 112.958 | 87 | 1.298 | | |
| Total | 4519.000 | 120 | | | |

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Oriented polypropylene (OPP) เป็นเวลา 3 เดือน

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 5.767 | 3 | 1.922 | 1.219$^{ns}$ | 0.308 |
| Block | 74.167 | 29 | 2.557 | 1.621* | 0.045 |
| Error | 137.233 | 87 | 1.577 | | |
| Total | 4418.000 | 120 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-34 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Oriented polypropylene (OPP) เป็นเวลา 3 เดือน

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 14.333 | 3 | 4.778 | 3.308* | 0.024 |
| Block | 62.667 | 29 | 2.161 | 1.496$^{ns}$ | 0.079 |
| Error | 125.667 | 87 | 1.444 | | |
| Total | 5536.000 | 120 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-35 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Oriented polypropylene (OPP) เป็นเวลา 3 เดือน

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 14.692 | 3 | 4.897 | 3.075* | 0.032 |
| Block | 44.075 | 29 | 1.520 | $0.954^{ns}$ | 0.541 |
| Error | 138.558 | 87 | 1.593 | | |
| Total | 5385.000 | 120 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-36 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Metallized OPP (Met OPP) เป็นเวลา 3 เดือน

| SOV | SS | df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 6.800 | 3 | 2.267 | $2.061^{ns}$ | 0.111 |
| Block | 33.367 | 29 | 1.151 | $1.046^{ns}$ | 0.421 |
| Error | 95.700 | 87 | 1.100 | | |
| Total | 5416.000 | 120 | | | |

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-37 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Metallized OPP (Met OPP) เป็นเวลา 3 เดือน

| SOV | SS | Df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 8.867 | 3 | 2.956 | $2.324^{ns}$ | 0.080 |
| Block | 59.700 | 29 | 2.059 | 1.619* | 0.045 |
| Error | 110.633 | 87 | 1.272 | | |
| Total | 4942.000 | 120 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-38 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Metallized OPP (Met OPP) เป็นเวลา 3 เดือน

| SOV | SS | Df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 5.825 | 3 | 1.942 | $1.150^{ns}$ | 0.334 |
| Block | 67.242 | 29 | 2.319 | $1.373^{ns}$ | 0.132 |
| Error | 146.925 | 87 | 1.689 | | |
| Total | 4771.000 | 120 | | | |

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-39 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Metallized OPP (Met OPP) เป็นเวลา 3 เดือน

| SOV | SS | Df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 5.292 | 3 | 1.764 | $1.441^{ns}$ | 0.236 |
| Block | 52.242 | 29 | 1.801 | $1.472^{ns}$ | 0.087 |
| Error | 106.458 | 87 | 1.224 | | |
| Total | 5891.000 | 120 | | | |

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก ค-40 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิด Metallized OPP (Met OPP) เป็นเวลา 3 เดือน

| SOV | SS | Df | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 1.758 | 3 | 0.586 | $0.483^{ns}$ | 0.695 |
| Block | 48.742 | 29 | 1.681 | $1.386^{ns}$ | 0.125 |
| Error | 105.492 | 87 | 1.213 | | |
| Total | 5637.000 | 120 | | | |

$^{ns}$ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

# ภาคผนวก ง

## ผลงานเชิงสาธารณะของงานวิจัย

## ง.1 นำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์ ในงานประชุมวิชาการโครงการส่งเสริมการวิจัยใน อุดมศึกษาวันที่22-24 สิงหาคม2554 ที่โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ พัทยา ชลบุรี

# Product development of extruded snack from Hom Nil rice

Arpathsra Sangnark[1*] Anchalee Ruengdech[1] Kullaya Limroongreungrat[2] Wichamanee Yuenyongputtakal[2] Uthenrat Siriphatrawan[3]

1 Food Science and Technology Division, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep, Yannawa, Sathorn, Bangkok 10120, Thailand
2 Food Science Department, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, 20131, Thailand
3 Food Technology Department, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, 10400, Thailand
*Corresponding author. E-mail: arpathsra.s@rmutk.ac.th

***Abstract***

A laboratory scale single screw extruder was designed and developed to study the effect of barrel temperature (120, 140, 160°C) and screw speed (150, 200, 250 rpm) on physiochemical properties of Hom Nil rice snack. The physiochemical properties of the product including expansion ratio, density, water absorption index (WAI), water solubility index (WSI) and hardness were investigated. The extruder can produce Hom Nil rice and soybean snack about 1.60 kg/hour on dry weight basis for the tested condition (15% feed moisture content, 140°C barrel temperature and 200 rpm screw speed). The results for the effect of extrusion conditions on physiochemical properties of extrudates indicated that barrel temperature and screw speed were the importance factor that effect on physiochemical properties of products. Increasing temperature and screw speed caused an increase in expansion ratio, WAI caused a decrease in density and hardness. The values of expansion ratio, density, WAI, WSI and hardness varied from 1.80-2.70, 0.2-0.5 g/cm3, 5.3-6.8 g/g, 4.00-11.0%, and 213-317 g, respectively.

***Introduction***

Extrusion cooking has been used increasingly in the production of food products such as baby food, texture vegetable protein, breakfast cereals and snacks. Because it is a highly versatile unit operation that can produce many varieties of product and it provides high productivity and product quality. Hom Nil rice could be the attractive raw materials for producing healthy snack product due to their unique attributes and nutritional value. It was interesting to develop the snack product from Hom Nil rice by extrusion processing. Therefore, the single screw extruder was designed and developed. The effects of extrusion die temperature and screw speed on the physicochemical properties of product were investigated. Snack products produced from different conditions were compared in their properties for the optimum condition.

***Materials and Methods***

- Preparation of raw materials

Hom Nil rice was purchased from Organic Agricultural Learning Center, Lop Buri province, Thailand. Hom Nil rice was ground by pin mill at Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University and the powder was sifted pass through a 80 mesh screen (Figure 1). Feed material was added with distilled water to the desired level of moisture content. The desired moisture content, 15%, was achieved by spraying a calculated volume of distilled water as fine mist into the blends. The samples were sealed in double-layers polyethylene bag and allowed to equilibrate for 48 hour at 4°C in the refrigerator.

-Design and develop laboratory single screw extruder

The flow chart of the whole experimental design is showed in Figure 2

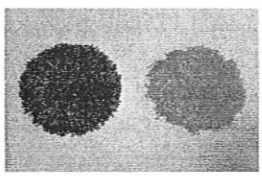


**Figure 1** Horn Nil rice and flour

Design and develop laboratory single screw extruder
↓
Preliminary test for setting up the extrusion conditions with a commercial rice flour
↓
Estimate range barrel temperature & screw speed
↓
Test performance of extruder
↓
Investigate the effect of extrusion conditions on the physicochemical properties the product

Extrusion conditions

| | | | |
|---|---|---|---|
| Barrel temperature (°C) | 120 | 140 | 160 |
| Screw speed (rpm) | 150 | 200 | 250 |

↓
Quality analysis of extrudates
↓
Determine expansion ratio, density, WAI, WSI, texture (hardness)
↓
Data analysis

**Figure 2** Flow chart of experimental design

***Results and Discussion***

The proximate compositions of Hom Nil rice flour, that used as the basic raw materials for snack production in this experiment, mainly composed of 11% moisture, 9% protein, 3.7% fat and 73 % carbohydrate.

The laboratory single screw extruder, barrel and screw were made from stainless steel. Extruder screw was driven by electrical motor 5 HP 380 V. Feed screw was made from stainless steel and driven by DC motor. Barrel diameter and screw length were 25 mm 250 mm, respectively (Figure 3). Cutter device was set at the die and DC motor was used to rotate the knife. Single screw extruder was installed on the steel table as shown in Figure 4. This extruder had the devices which controlled and measured barrel temperature, screw speed of extruder and speed of feed screw. The barrel section was heated by band heaters (220 Volt, 550 Watt) for three zones which were feeding zone, transition zone and die zone.

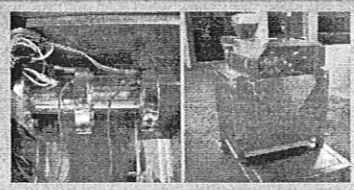


**Figure 3** Barrel of extruder



**Figure 4** Single screw extruder

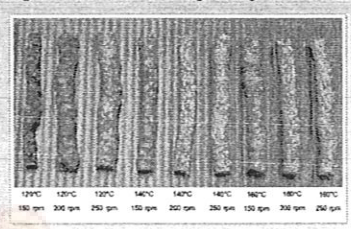



**Figure 5** Extruded snack from Horn Nil rice

**Table 1** F and p value of extruded- snack properties

| SOV | F (p) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Expansion ratio | WAI | WSI | Density | Hardness |
| Temp. | 5.875*(0.004) | 27.583*(0.000) | 47.476*(0.000) | 20.939*(0.000) | 36.250*(0.000) |
| Screw speed | 105.466*(0.00) | 19.700*(0.000) | 14.476*(0.000) | 151.815*(0.000) | 15.755*(0.002) |
| Temp. × Screw speed | 55.118*(0.000) | 11.849*(0.000) | 1.905ns(0.153) | 28.631*(0.000) | 50.542*(0.000) |

* means are significantly difference at p<0.05, ns means non significantly different (p≥0.05)

Expansion ratios, WAI, density and hardness of Hom Nil rice snack were significantly influenced by barrel temperature and screw speed ($P<0.05$, Table 1, Figure 5). Increased barrel temperature, from 120-160 °C, and screw speed, from 150-250 rpm, led to a sharp increase in expansion ratio value and WAI of the snack. The hardness of snack was also significantly influenced by barrel temperature and screw speed. Increasing barrel temperature and screw speed linearly decreased hardness of extrudate. For instance, increasing barrel temperature from 120°C to 160°C was observed to cause 15% decreasing in hardness of snack at 200 rpm of screw speed. Increasing barrel temperature decreased melt viscosity which produce low density products with small and thin cell walls resulted in decreasing the hardness of extrudate. (Ding et al., 2005).

***Conclusions***

The performance of laboratory single screw extruder was evaluated with feed material of 15% moisture content of Hom Nil rice run at 120-160 °C barrel temperature, 150-250 rpm screw speed and 20 g/min of feed rate. The performance of extruder was satisfied as it can maintain temperature during extrusion. The barrel temperature was be slightly fluctuated when run at high screw speed. The extruder can produce Hom Nil rice and soybean snack about 1.60 kg/hour on dry weight basis. Finally, barrel temperature and screw speed were the importance factor that effect on physiochemical properties of the extruded snack from Horn Nil rice.

***References***

Alvarez-Martinez, L., Kondury, K.P. and Karper, J.M. (1988). A general model for expansion of extruded products. *Journal of Food Science*, 53: 609-615.

Anderson, R.A., Conway, H.F., Pfeifer, V.F. and Griffin, E.L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14: 4-12.

Ding, Q., Ainsorth, P., Tucker, G. and Marson, H. (2005). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based snacks. *Journal of Food Engineering*, 66: 283-289.

## ง.2 การบริจาคเครื่องเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวขนาดทดลองตามเอกสาร

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มทร.ก.
ที่ วันที่ ๒๓ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๕
เรื่อง ขอบริจาคครุภัณฑ์

เรียน คณบดีคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

ตามที่ข้าพเจ้านางอาภัสรา แสงนาค ตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ ๘ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินโครงการวิจัยจากโครงการเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา (สกอ.) ปี ๒๕๕๔ ชื่อโครงการ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นจากข้าวหอมนิล จำนวนเงิน ๕๓๐,๐๐๐ บาท (ห้าแสนสามหมื่นบาทถ้วน) สำหรับโครงการดังกล่าวมีการจัดสร้างเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เพื่อใช้ในการดำเนินการวิจัย ซึ่งบัดนี้การดำเนินการวิจัยได้สำเร็จลงไปเป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยใช้งบประมาณในการจัดสร้างเครื่องดังกล่าวประมาณ ๓๐๐,๐๐๐ บาท (สามแสนบาทถ้วน) ข้าพเจ้าและผู้ร่วมวิจัยทุกท่านจึงขอบริจาคเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ให้แก่คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เพื่อให้คณาจารย์และนักศึกษาของมหาวิทยาลัยนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ทั้งในด้านการเรียนการสอน การทำงานวิจัย และอื่นๆ ต่อไป โดยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ได้ติดตั้งไว้ที่ อาคาร ๘ ห้อง ๘๑๕ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

จึงเรียนมาเพื่อทราบ และดำเนินการต่อไป

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อาภัสรา แสงนาค)
หัวหน้าโครงการวิจัย

**ง.3 การนำเครื่องเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวขนาดทดลองมาใช้เพื่องานศึกษาวิจัย**

โดยให้นักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ซึ่งเป็นนักศึกษาในที่ปรึกษาของ ผศ. ดร. อาภัสรา แสงนาค จำนวน 9 คน (3 กลุ่ม) ทำโครงการปัญหาพิเศษในวิชา 6147402 ปัญหาพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร (Special Problems in Food Science and Technology) เพื่อเป็นการต่อยอดงานวิจัยโดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลและจมูกข้าวหอมมะลิที่เสริมใยอาหารซึ่งปรุงแต่งกลิ่นรสต้มยำ กลิ่นรสชีส และรส ปาปริก้า ซึ่งส่งผลให้เป็นผลิตภัณฑ์ดังกล่าวที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น และได้มีการจัดแสดง ผลงานในรูปแบบโปสเตอร์เมื่อวันที่ 8 - 9 มีนาคม 2555 ในงานโครงการนิทรรศการแสดงผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ของคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ดังแนบดังแนบ

กลุ่มที่ 1 เรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดพองกรอบจากจมูกข้าวเจ้าหอมดอกมะลิ105 เสริมรีซิสแตนท์สตาร์ชโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น

# การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดพองกรอบจากจมูกข้าวเจ้าหอมดอกมะลิ 105 เสริมรีซิสแตนท์สตาร์ชโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น

# Development of KMDL 105 Rice Germ added Resistant Starch Snack by Extrusion process

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทรงพล

นางสาวสุดารัตน์ ขุลีรัตน์ นางสาวบุลาภรณ์ บุญมาเฉิง

นางสาวนพลักษณ์ สุธรรมกุลศรีชัย

RAJAMANGALA KRUNGTHEP

ราชมงคลกรุงเทพ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

## บทคัดย่อ

ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดพองกรอบจากจมูกข้าวเจ้าหอมดอกมะลิ 105 ชื่อเดิมรีซิสแตนท์สตาร์ชผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น (Extrusion) โดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว พบว่า อุณหภูมิหน้าแป้นหน้า และความเร็วรอบสกรูมีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิหน้าแป้นที่สูงขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีรีซิสตาร์ชส่วนการพองตัวสูง เนื้อสัมผัสพองกรอบที่ดี โดยการที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากจมูกข้าวเจ้าหอมดอกมะลิ 105 คือ การใช้อุณหภูมิหน้าแป้น 120 องศาเซลเซียส ความเร็วสกรูเท่ากับ 250 รอบต่อนาที โดยภาวะการผลิตนี้จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีรีซิสตาร์ชส่วนการพองตัวสูง คือ 1.56 ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นต่ำ 0.29 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเนื้อสัมผัสพองกรอบที่ดีและมีความสัมพันธ์กับคะแนนการยอมรับของผู้บริโภค โดยผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับในระดับชอบปานกลางในด้านเนื้อสัมผัสและความชอบรวม ($p<0.05$)

## บทนำ

การผลิตอาหารด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่นได้รับการนิยมมากขึ้นในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเช่น อาหารเช้า อาหารเด็ก อาหารว่าง เพราะการทำงานของเครื่องจักรสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายมากและให้ผลผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สูง จมูกข้าวหอมมะลิเป็นวัสดุเหลือทิ้งสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพเพราะมีคุณลักษณะเฉพาะและคุณค่าทางโภชนาการเป็นสิ่งน่าสนใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากจมูกข้าวหอมมะลิโดยการกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น ดังนั้นเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวจึงถูกออกแบบและพัฒนาขึ้น อุณหภูมิหน้าแป้นและความเร็วสกรูของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์มีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากภาวะที่แตกต่างกันนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมในการผลิต

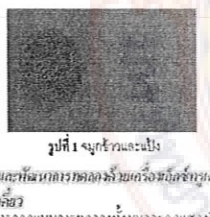
## วัตถุประสงค์

1 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วรอบของสกรูที่ช่วงระดับต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมขบเคี้ยวพองกรอบจากจมูกข้าวเจ้าหอมดอกมะลิ 105 ที่เติมรีซิสแทนต์สตาร์ช

## วิธีดำเนินงาน

### การเตรียมวัตถุดิบ

จมูกข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105 ความชื้นต่ำกว่า 10% ผลิตโดย บริษัท เจียไต๋ จำกัด และรีซิสแทนต์สตาร์ช ชื่อทางการค้า Hi-maize™260 จากบริษัท เนชั่นแนลสตาร์ชจำกัด นำจมูกข้าวบดด้วยเครื่องบดละเอียด Pin Mill ที่ศูนย์เครื่องมือและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และผ่านตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช วัตถุดิบถูกนำมาคลุกให้ได้ความชื้นที่ต้องการ ปริมาณความชื้นที่ต้องการ 15% ทำได้โดยการฉีดน้ำปริมาณที่คำนวณได้เป็นละอองเข้าไปในส่วนผสม ตัวอย่างถูกปิดผนึกไว้ในถุงพลาสติก เป็นเวลา 48 ชั่วโมงที่ อุณหภูมิ 4 °C ในตู้เย็น



**รูปที่ 1** จมูกข้าวและแป้ง

### ออกแบบและพัฒนาการทดลองด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว

แผนภูมิการออกแบบการทดลองทั้งหมดจะถูกแสดงในรูปที่ 2

วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์

ความสอบลัดส่วนการพองตัว,ความหนาแน่น

การละลาย,การดูดซับ,เนื้อสัมผัส (ความแข็ง)

วิเคราะห์ข้อมูล

**รูปที่ 2** แผนภูมิการออกแบบการทดลอง

### ผลการทดลอง

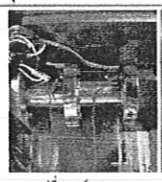
การทดลองโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบเดี่ยว บาร์เรลและสกรูที่ทำจากสแตนเลส สกรูถูกขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ามอเตอร์กำลัง 5 HP 380 โวลต์ บาร์เรลมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มม. และสกรูมีความยาว 250 มม. หน้าแป้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มม. (รูปที่ 2) เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวถูกติดตั้งไว้บนโต๊ะเหล็กดังแสดงในรูปที่ 3 เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์นี้มีอุปกรณ์ที่ควบคุมวัดคุณภาพอุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูและความเร็วของสกรูป้อนของเครื่อง

อัตราส่วนการพองตัว ความหนาแน่นการละลาย การดูดซับและความแข็ง ของขนมขบเคี้ยวจากจมูกข้าวหอมมะลิมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากอุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรู ($P<0.05$, ตารางที่ 1, รูปที่ 5) อุณหภูมิบาร์เรลที่เพิ่มขึ้นจาก 110 -130 °C และความเร็วสกรู 200 -250 rpm ทำให้อัตราการพองตัวของขนมขบเคี้ยวเพิ่มขึ้น ความแข็งของขนมขบเคี้ยวยังได้รับอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญจากอุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรู การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูทำให้ความแข็งของผลิตภัณฑ์ลดลง ด้วยอัตราเช่น การเพิ่มอุณหภูมิบาร์เรลจาก 110 -130 °C ที่ความชื้น 15% ทำให้ความแข็งของขนมขบเคี้ยวลดลงที่ความเร็วรอบสกรู 200 rpm อุณหภูมิบาร์เรลที่เพิ่มขึ้น ความหนืดจึงลดลงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นต่ำและผนังเซลล์บางทำให้ความแข็งของผลิตภัณฑ์ลดลง (Ding et al., 2005)

ตารางที่ 1 แสดงค่า F และ p ของคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

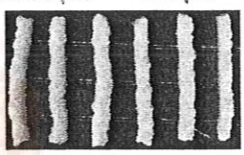
| แหล่งความแปรปรวน | อัตราการพองตัว | การดูดซับ | การละลาย | ความหนาแน่น | ความแข็ง |
|---|---|---|---|---|---|
| | Y (p) | | | | |
| อุณหภูมิ | 3.905*(0.026) | 49.385*(0.000) | 18.276*(0.000) | 7.771*(0.001) | 9.036*(0.015) |
| ความเร็วรอบ | 0.009ns(0.989) | 12.020*(0.005) | 38.773*(0.000) | 0.018ns(0.893) | 41.550*(0.001) |
| อุณหภูมิ x ความเร็วรอบ | 1.363ns(0.265) | 26.371*(0.000) | 9.231*(0.004) | 2.949ns(0.061) | 3.037ns(0.123) |

* คำนวณโดยเลขล่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p<0.05$, ns คำนวณโดยไม่เลขล่างอย่างมีนัยสำคัญที่ ($p\geq0.05$



**รูปที่ 3** บาร์เรลของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

**รูปที่ 4** เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว



110°c 110°c 120 °c 120 °c 130°c 130°c
200 rpm 250 rpm 200 rpm 250 rpm 200 rpm 250 rpm

**รูปที่ 5** ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากจมูกข้าวหอมมะลิ

### สรุปผลการดำเนินงาน

จากการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยวสกรู ด้วยจมูกข้าวหอมมะลิที่มีความชื้น 15% โดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลที่ 110 - 130 °C และความเร็วสกรู 200 - 250 rpm และอัตราการป้อนที่ 20 กรัมต่อนาที ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์เป็นที่น่าพอใจเพราะสามารถอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ในช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเร็วสกรูที่กว้าง การใช้อุณหภูมิหน้าแป้น 120 °C ความเร็วสกรูเท่ากับ 250 rpm โดยภาวะดังกล่าวนี้จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีรีซิสตาร์ชส่วนการพองตัวสูง คือ 1.56 ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นต่ำ 0.29 g/cm$^3$ และเนื้อสัมผัสพองกรอบที่ดี จมูกข้าวหอมมะลิสามารถผลิตเป็นขนมขบเคี้ยวได้ประมาณ 1.68 กก./ชม. โดยน้ำหนักแห้งและสุดท้ายอุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วสกรูเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากจมูกข้าวหอมมะลิ

## เอกสารอ้างอิง

Anderson, R.A., Conway, H.F., Pfeifer, V.F. and Griffin, E.L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14: 4-12.

Ding, Q., Ainsworth, P., Tucker, G. and Marson, H. (2005). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based snacks. *Journal of Food Engineering*, 66: 283-289.

Onwulata, C. I., Smith, P. W., Konstance, R. P. and Holsinger, V. H. (2001). Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks. Food Research International. 34: 679: 687.

กลุ่มที่ 2 เรื่อง การพัฒนาขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลซึ่งเติมรีซิสแตนท์สตาร์ชโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น

# การพัฒนาขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลซึ่งเติมรีซิสแตนท์สตาร์ชโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

## Development of Homnil Rice Added Resistant Starch Snack by Extrusion Process

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรภัสรา แสงนาค

นางสาววิภาดรณ์ จีนทอง
นางสาวนิลา แก้ววงษ์พัด
นางสาวธนวรรณ ถตุเภา

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

RAJAMANGALA KRUNGTHEP

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณการเติมรีซิสแตนท์ที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลและรีซิสแตนท์โดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ซึ่งใช้สกรูเดียวมิสูตรพื้นฐานประกอบด้วยส่วนผสมที่เป็นแป้งข้าวหอมนิลผสมรีซิสแตนท์ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 ซึ่งกำหนดคุณหภูมิบาร์เรลสุดท้ายที่ 130 องศาเซลเซียส ความเร็วสกรูรอบ 300 รอบต่อนาที ความยาวสกรู 32 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางหน้าแปลน 0.30 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางบาร์เรล 2.30 เซนติเมตร กำลังมอเตอร์ 5 แรงม้า จากนั้นนำมาวิเคราะห์ผลทางกายภาพ พบว่าขนมขบเคี้ยวที่ผลิตได้จากการเติมรีซิสแตนท์ร้อยละ 10 มีค่าการพองตัวเท่ากับ 16.00 ค่าการละลายเท่ากับ 0.12 ค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสเท่ากับ 12.85 นิวตัน ค่าลักษณะปรากฏเท่ากับ 6.45 ค่าความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.35 และวิเคราะห์ผลทางประสาทสัมผัสปรากฏว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมขบเคี้ยวที่ปริมาณรีซิสแตนท์ร้อยละ 10

วิธีการดำเนินงาน

การเตรียมวัตถุดิบ

ข้าวหอมนิล จาก อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี และรีซิสแตนท์สตาร์ช ชื่อทางการค้า Hi-maize™260 จาก บริษัท เนชั่นแนลสตาร์ชจำกัด

↓

ข้าวหอมนิลบดละเอียดด้วยเครื่อง Pin Mill รุ่น AUS SBURG ร่อนผ่านตะแกรงความละเอียด 60 เมช จะได้แป้งข้าวหอมนิล

↓

เติมรีซิสแตนท์สตาร์ชปริมาณร้อยละ 0, 10, 15 และ 20

↓

ปรับความชื้นให้เป็นร้อยละ 15 ด้วยน้ำกลั่นปิดผนึกไว้ในถุงพลาสติกนึ่งนาน 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 °C ในตู้เย็น

→ ผลิตขนมขบเคี้ยวโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดียว ความเร็วรอบสกรู 300 rpm อุณหภูมิของบาร์เรล 130 °C

↓

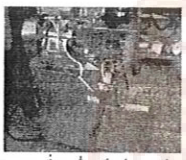
บรรจุผลิตภัณฑ์ลงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ปิดผนึกด้วยความร้อน

↓

วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ อัตราการผลิต อัตราการพองตัว ดัชนีการละลาย ดัชนีการดูดซับน้ำความหนาแน่น และเนื้อสัมผัส

↓

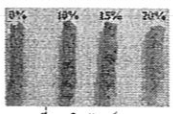
วิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น การพองตัว รสชาติ ประสาทสัมผัส และความชอบรวม



ภาพที่ 1 เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

ภาพที่ 2 แป้งข้าวหอมนิล

ภาพที่ 3 รีซิสแตนท์สตาร์ช




ภาพที่ 4 ผลิตภัณฑ์

ผลการดำเนินงาน

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพที่ปริมาณรีซิสแตนท์ร้อยละ 0, 10, 15 และ 20

| Treatment | อัตราการพองตัว | ดัชนีการละลาย | ดัชนีการดูดซับน้ำ | อัตราการผลิต (g/sec) | ความหนาแน่น ($g/cm^3$) | เนื้อสัมผัส (N) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| resistant 0% | $13.33 \pm 1.15^{cd}$ | $0.08 \pm 0.00^{d}$ | $0.84 \pm 0.00^{a}$ | $1.45 \pm 0.09^{a}$ | $0.43 \pm 0.14^{bc}$ | $10.41 \pm 0.39^{b}$ |
| resistant 10% | $16.00 \pm 2.00^{ab}$ | $0.12 \pm 0.00^{c}$ | $0.82 \pm 0.01^{a}$ | $1.20 \pm 0.05^{b}$ | $0.33 \pm 0.07^{bc}$ | $12.83 \pm 0.21^{a}$ |
| resistant 15% | $14.67 \pm 3.06^{bc}$ | $0.16 \pm 0.00^{b}$ | $0.80 \pm 0.00^{b}$ | $0.78 \pm 0.07^{c}$ | $0.30 \pm 0.08^{cd}$ | $9.56 \pm 0.47^{a}$ |
| resistant 20% | $14.00 \pm 0.00^{cd}$ | $0.13 \pm 0.01^{a}$ | $0.79 \pm 0.02^{b}$ | $0.79 \pm 0.15^{c}$ | $0.39 \pm 0.03^{ab}$ | $12.08 \pm 0.62^{c}$ |

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ปริมาณรีซิสแตนท์ร้อยละ 0, 10, 15 และ 20

| Treatment | ลักษณะปรากฏ | สี | กลิ่น | การพองตัว | รสชาติ | ความชอบรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|
| resistant 0% | $5.40 \pm 1.57^{b}$ | $5.90 \pm 1.65^{ab}$ | $5.45 \pm 1.40^{ab}$ | $4.40 \pm 1.90^{b}$ | $4.35 \pm 1.79^{bc}$ | $4.70 \pm 1.56^{b}$ |
| resistant 10% | $6.45 \pm 1.19^{a}$ | $6.30 \pm 1.42^{ab}$ | $5.60 \pm 1.39^{ab}$ | $6.45 \pm 1.64^{a}$ | $5.55 \pm 1.73^{ab}$ | $6.35 \pm 1.39^{a}$ |
| resistant 15% | $6.90 \pm 1.12^{a}$ | $6.60 \pm 1.43^{ab}$ | $5.80 \pm 1.36^{ab}$ | $6.55 \pm 1.61^{a}$ | $5.40 \pm 1.90^{ab}$ | $6.25 \pm 1.52^{a}$ |
| resistant 20% | $6.10 \pm 1.25^{ab}$ | $6.15 \pm 1.14^{ab}$ | $5.95 \pm 1.54^{ab}$ | $5.50 \pm 2.12^{ab}$ | $5.20 \pm 2.07^{bc}$ | $5.55 \pm 1.88^{ab}$ |

ความหมายของตัวอักษรพิมพ์เล็กในแต่ละคอลัมน์มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแป้งที่ปริมาณรีซิสแตนท์ที่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

อภิปรายผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาพบว่าขนมขบเคี้ยวมีอัตราการพองตัว ดัชนีการละลาย และดัชนีการดูดซับน้ำอยู่ในช่วง (13.33 - 16.00, 0.08 - 0.16 และ 0.78 - 0.83 ตามลำดับ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ปริมาณรีซิสแตนท์ร้อยละ 10 มีอัตราการพองตัว และดัชนีการดูดซับน้ำสูงที่สุด การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง texture analysis พบว่า ขนมขบเคี้ยวที่มีปริมาณรีซิสแตนท์ร้อยละ 10 มีค่าสูงที่สุดที่ 12.85 เมื่อวิเคราะห์ผลทางประสาทสัมผัสปรากฏว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมขบเคี้ยวที่ปริมาณรีซิสแตนท์ร้อยละ 10

สรุปผลการดำเนินงาน

จากผลการดำเนินการพบว่า ขนมขบเคี้ยวที่ผลิตได้จากการเติมรีซิสแตนท์ร้อยละ 10 มีค่าการพองตัว ค่าการละลาย และค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสดีที่สุด เมื่อวิเคราะห์ผลทางประสาทสัมผัสปรากฏว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมขบเคี้ยวที่ปริมาณรีซิสแตนท์ร้อยละ 10

บทนำ

กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารที่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมอาหารประเภทต่าง ๆ ได้แก่ การผลิตอาหารขบเคี้ยวประเภทที่มีการพองตัวทันที อาหารขบเคี้ยวประเภทที่ต้องผ่านกระบวนการเพื่อทำให้เกิดการพองตัวใน เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงและเวลาสั้นและเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง ซึ่งช่วยในการประหยัดเวลาและแรงงาน รวมถึงพื้นที่สำหรับการผลิตในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลซึ่งเป็นข้าวเจ้าสีคำมีสารต้านอนุมูลอิสระ ที่ทำหน้าที่จับกับอนุมูลอิสระ ทำให้ลดโอกาสการทำงานของร่างกายมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าปกติช่วยลดไขมันอุดตันในเส้นเลือดที่หัวใจและสมอง บรรเทาโรคเบาหวาน ช่วยบำรุงสายตา ผสมกับรีซิสแตนท์สตาร์ชซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ แต่สามารถดูดซึมภายในลำไส้เล็กและเข้าสู่กระแสเลือด เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานของมนุษย์ งานวิจัยนี้เป็นการผลของการเติมรีซิสแตนท์ที่ปริมาณต่างๆ ในแป้งข้าวหอมนิลต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการเติมรีซิสแตนท์ที่ปริมาณต่างๆ ในแป้งข้าวหอมนิลต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

เอกสารอ้างอิง

กุหลาบ สิทธิสวนจิก. 2553. แป้งทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์: แป้งเพื่อสุขภาพ ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์ ปีที่ 10

ทุติยาภรณ์ จิตตะปาโล. 2553. การพัฒนาแครกเกอร์จากข้าวก่ำ. มหาวิทยาลัยพายัพ, เชียงใหม่.

กลุ่มที่ 3 เรื่อง การผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลและจมูกข้าวหอมมะลิ 105 โดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น

# การผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลและจมูกข้าวหอมมะลิ 105 โดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

# Production Snack from Homnil rice and KMDL105 rice germ by Extrusion process

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.ภัสวา แสงนาค นางสาวชลธิชา แจ้งแสง นางสาวสิริภานภา ธรรมสาธี
นางสาวฐภาพร มาคทอง

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลและจมูกข้าวหอมมะลิ 105 โดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion) ซึ่งใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูเดี่ยว (Single screw extruder) มีเส้นผ่าศูนย์กลางของบาร์เรล 2.30 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางหน้าแปลน 0.30 เซนติเมตร ความยาวของสกรู 32 เซนติเมตร และกำลังมอเตอร์สูงสุด 5 แรงม้า โดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวหอมนิลและแป้งจมูกข้าวหอมมะลิ 105 ที่อัตราส่วน 50 : 50 อนุภาคขนาดของแป้ง 60 เมช ที่ความชื้นร้อยละ 15 โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ ซึ่งแปรอุณหภูมิหน้าแปลนเป็น 120, 130 และ 140 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 340 รอบต่อนาที จากนั้นนำมาวิเคราะห์ผลทางกายภาพ พบว่าขนมขบเคี้ยวที่ผลิตได้ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส มีค่าการพองตัวทำกับ 10.67 ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.76 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าดัชนีการดูดซับน้ำเท่ากับ 3.67 ค่าการละลายเท่ากับ 0.19 ค่าลักษณะทางเนื้อสัมผัสเท่ากับ 8.09 นิวตัน และผู้ทดสอบให้การยอมรับด้านเนื้อสัมผัสมากที่สุด

**บทนำ**

โดยทั่วไปขนมขบเคี้ยวส่วนใหญ่มีคุณค่าทางอาหารต่ำ ส่วนใหญ่มีคาร์โบไฮเดรตและไขมันเป็นองค์ประกอบหลัก เพราะวัตถุดิบที่นำมาใช้ทำขนมขบเคี้ยวส่วนใหญ่เป็นพวกแป้งธัญพืชต่างๆ ซึ่งได้มาจากธัญพืชและพืชหัว ข้าวหอมนิลและจมูกข้าวหอมมะลิ 105 เป็นวัตถุดิบหนึ่งที่น่าสนใจเพื่อผลิตเป็นขนมขบเคี้ยว เพราะข้าวหอมนิลเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง งานวิจัยเรื่องขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวหอมนิลและแป้งจมูกข้าวหอมมะลิ 105 โดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้หลักการทำให้พองด้วยแรงอัดที่อุณหภูมิสูง โดยศึกษาเกี่ยวกับสภาวะการแปรรูปของแป้งข้าวหอมนิลและแป้งจมูกข้าวหอมมะลิ 105 เพื่อเป็นการพัฒนาขนมขบเคี้ยวให้มีคุณค่าทางโภชนาการประโยชน์จากข้าว สามารถรับประทานเป็นของทานเล่นระหว่างมื้อได้

**วัตถุประสงค์**

เพื่อศึกษาอุณหภูมิหน้าแปลนของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ชนิดสกรูเดียวต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวที่ผลิตจากข้าวหอมนิลและจมูกข้าวหอมมะลิ 105

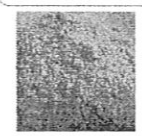
**วิธีดำเนินงาน**

บดข้าวหอมนิลและจมูกข้าวหอมมะลิ 105 ด้วยเครื่องบดละเอียด Pin Mill รุ่น AUSSBURG นำไปร่อนด้วยตะแกรงความละเอียด 60 เมช ทำการปรับความชื้นของแป้งข้าวให้เป็นร้อยละ 15

นำแป้งจมูกข้าวหอมมะลิ 105 มาผสมกับแป้งข้าวหอมนิลในอัตราส่วน 50:50

นำไปผ่านเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ทำหมดความเร็วรอบสกรูเป็น 340 รอบต่อนาที ที่ใช้อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 องศาเซลเซียส

วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

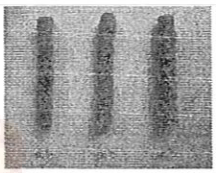


ภาพที่ 1 แป้งข้าวหอมนิล

ภาพที่ 2 แป้งจมูกข้าวหอมมะลิ

ภาพที่ 3 เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์

**ผลการดำเนินงาน**



ภาพที่ 4 ขนมขบเคี้ยวจากการแปรรูปที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลผสมจมูกข้าวหอมมะลิ105[1]

| อุณหภูมิ | ความหนาแน่น | อัตราการขยายตัวตามยาว | อัตราการขยายตัวเชิงปริมาตร | ดัชนีการดูดซับน้ำ | ดัชนีการละลายน้ำ | ระยะเวลาการพอง |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 120 °C | 0.586 [a] | 16.167 [b] | 10.667 [ab] | 3.373 [b] | 0.187 [a] | 9.4193 [ab] |
| 130 °C | 0.763 [ab] | 20.499 [ab] | 10.667 [ab] | 3.665 [a] | 0.190 [a] | 8.0913 [ab] |
| 140 °C | 0.789 [a] | 24.099 [a] | 10.000 [b] | 3.552 [ab] | 0.175 [b] | 9.4880 [ab] |

ตารางที่ 2 การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส[1]

| อุณหภูมิ | ลักษณะปรากฏ | สี | กลิ่น | การพองตัว | เนื้อสัมผัส | ความชอบรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 120 °C | 5.800 [ab] | 6.250 [ab] | 5.800 [ab] | 5.250 [ab] | 5.550 [ab] | 5.600 [b] | 5.700 [ab] |
| 130 °C | 5.800 [ab] | 6.400 [ab] | 5.800 [ab] | 6.450 [a] | 5.900 [ab] | 7.000 [a] | 6.500 [a] |
| 140 °C | 5.700 [ab] | 6.150 [ab] | 5.750 [ab] | 5.050 [b] | 6.050 [ab] | 6.450 [ab] | 5.850 [ab] |

[a,b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

1 หมายถึง ค่าเฉลี่ย (ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ)

**วิจารณ์ผลการทดลอง**

จากการทดลองการศึกษาผลของอุณหภูมิหน้าแปลนต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของขนมขบเคี้ยวโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ พบว่า การใช้อุณหภูมิในการแปรรูปที่ 120, 130 และ 140 องศาเซลเซียสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$, ตารางที่ 1) ไม่ต่างกันกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้พอง การทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่ามีความชอบรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสได้รับการยอมรับทางเนื้อสัมผัสมากที่สุด (ตารางที่ 2)

**สรุปผลการทดลอง**

การแปรรูปขนมขบเคี้ยวจากข้าวหอมนิลและจมูกข้าวหอมมะลิ 105 ที่มีความเร็วรอบสกรู 340 รอบต่อนาที ได้ผลการวิเคราะห์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 แต่ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสได้รับการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสมากที่สุด

**อ้างอิง** ชนิดา หันสวาสดิ์. การผลิตขนมขบเคี้ยวเยื่อใยสูงจากปลายข้าว. คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2550.

สัมพันธ์ รอดศรี. การพัฒนาขนมขบเคี้ยวจากแป้งปลายข้าวหอมมะลิผสมแป้งมันเทศและงาดำ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2547.

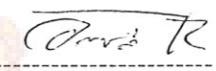
**ง.4 การนำเครื่องเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวขนาดทดลองมาใช้เพื่อการเรียนการสอน**

โดยใช้เป็นส่วนหนึ่งของบทปฏิบัติการในการเรียนการสอนวิชาต่อไปนี้

1. 6142203 การแปรรูปอาหาร 2 (Food Processing 2) โดยมีอาจารย์ อัญชลี เรืองเดช เป็นเจ้าของวิชา สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 2 จำนวน 26 คน สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เมื่อวันที่ 2 มีนาคม พ.ศ. 2555 เวลา 9.00- 12.00 น.

2. 6142410 เทคโนโลยีธัญชาติ (Cereal Technology) โดยมี ผศ. ดร. อาภัสรา แสงนาค เป็นเจ้าของวิชา สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 3 จำนวน 51 คน สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เมื่อวันที่ 13 และ14 มีนาคม พ.ศ. 2555 เวลา 9.00- 12.00 น.

3. 6125311 การผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว และธัญชาติ (Production and Development of Rice and Cereal Product) โดยมี ดร. เมยวดี แซ่เลี้ยว เป็นเจ้าของวิชา สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 4 จำนวน 12 คน สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เมื่อวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2555 เวลา 9.00- 12.00 น.



(อาจารย์ อัญชลี เรืองเดช)

(ผศ. ดร. อาภัสรา แสงนาค)

(ดร. เมยวดี แซ่เลี้ยว)

# ภาคผนวก จ

## รายงานการเงิน

รายงานสรุปการเงิน

เลขที่โครงการ (2554A16662004)

โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

โครงการ : การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นจากข้าวหอมนิล

---

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน : ___นางอาภัสรา แสงนาค____

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ ___4 พ.ค. 2554___ถึงวันที่_____22 ก.พ. 2555____

ระยะเวลาดำเนินการ __-__ ปี__9__ เดือน ตั้งแต่วันที่ ___4 พ.ค. 2554___ ถึงวันที่ ___22 ก.พ. 2555___

รายจ่าย

| หมวด (ตามสัญญา) | รายจ่ายสะสมจากรายงานครั้งก่อน | ค่าใช้จ่ายงวดปัจจุบัน | รวมรายจ่ายสะสมถึงปัจจุบัน | งบประมาณที่ตั้งไว้ | คงเหลือ/เกิน |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. ค่าตอบแทน | 71,200 | 124,700 | 195,900 | 195,900 | 0.00 |
| 2. ค่าจ้าง* | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3. ค่าวัสดุ | 261,522 | 45,585 | 307,107 | 307,095 | -12 |
| 4. ค่าใช้สอย | 300 | 100,000 | 10,300 | 10,300 | 0.00 |
| 5. อื่นๆ (ค่าสาธารณูปโภค) | 16,705 | 0.00 | 16,705 | 16,705 | 0.00 |
| รวม | **349,727** | **180,285** | **530,012** | **530,000** | **-12** |

* หมายเหตุ การซื้อวัสดุสำหรับประกอบเครื่องเอกซ์ทรูชั่นมีการเหมารวมกับค่าจ้างประกอบเครื่องด้วย

**จำนวนเงินที่ได้รับและจำนวนเงินคงเหลือ**

จำนวนเงินที่ได้รับ

| | | | |
|---|---|---|---|
| งวดที่ 1 | 318,000.00 | บาท | เมื่อ 14/6/54 |
| งวดที่ 2 | 212,000.00 | บาท | เมื่อ 21/3/55 |
| รวม | **530,000.00** | บาท | |

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

ลงนามเจ้าหน้าที่การเงินโครงการวิจัย

# ภาคผนวก ฉ

# ประวัติผู้วิจัย

## หัวหน้าโครงการวิจัย

**1.ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย)** นางอาภัสรา แสงนาค

**2.ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)** Mrs. Arpathsra Sangnark

**3.ตำแหน่งปัจจุบัน**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์การและเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

**4.ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้**

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การและเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 149 ถนนเจริญกรุง แขวงยานนาวา เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120 โทรศัพท์ 086-6258811 โทรสาร 02-2112040

e-mail: arpathsra.s@rmutk.ac.th

**5.ประวัติการศึกษา**

| | |
|---|---|
| 2539 – 2545 | D. Tech. Sci. (Post-Harvest and Food Process Engineering) สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย |
| 2532 – 2535 | M.Sc. (Food Technology) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2528 – 2532 | B.Sc. (Food Science and Technology) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |

**6.สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ**

การแปรรูปผักผลไม้ เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และสัตว์ปีก และ อาหารเพื่อสุขภาพ

**7.ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย**

**7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย**

-

**7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย**

1) การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งของอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล แหล่งทุน งบแผ่นดิน ม.บูรพา โครงการวิจัย ปี 2537-2541 รหัสโครงการ 04059129 (ศูนย์ข้อสนเทศ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)

2) การผลิตเซลลูโลสผงจากฟางข้าว แหล่งทุน งบรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ม.บูรพา ประจำปี 2546

3) การสกัดคอลลาเจนจากเยื่อเปลือกไข่โดยใช้กรดอินทรีย์ แหล่งทุน โครงการสำหรับนักศึกษาปริญญาตรีภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2546

4) การผลิตคาร์บอกซีเซลลูโลสจากฟางข้าว แหล่งทุนงบรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ม.บูรพา ประจำปี 2548

5) ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบ แหล่งทุนงบผลประโยชน์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพโครงงานวิจัย ประจำปี 2553

6) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นจากข้าวหอมนิล แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

**7.3 โครงงานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว (ภายใน 5 ปี)**

1) การพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบเพื่อสุขภาพจากแป้งเมล็ดขนุน (ผู้ร่วมวิจัย) แหล่งทุนสนับสนุน งบรายได้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปี 2549

2) การพัฒนาเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวขนาดทดลอง แหล่งทุนสนับสนุน ทุนงบรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ม.บูรพา ประจำปี 2551 (ผู้ร่วมวิจัย)

3) ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบ แหล่งทุนสนับสนุน คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ประจำปี 2553

ผลงานวิจัย

1. อรุณี ตรีศิริโรจน์ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และ**อาภัสรา แสงนาค.** 2541. การใช้วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรเป็นแหล่งเส้นใยอาหารที่ใช้ในข้าวเกรียบกุ้ง. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 6(2): 29-36.

2. ศุภกิจ อินพุ่ม เติมศักดิ์ ส่งวัฒนา และ**อาภัสรา แสงนาค.** 2547. การผลิตแครอทผงโดยการทำแห้งด้วยวิธีทำให้เกิดฟอง. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 9(1-2): 65-72.

3. มุกดา เจริญสินทรัพย์, กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, พัลลภ มนเดชา และ**อาภัสรา แสงนาค.** 2548. ผลของขนาดอนุภาคต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของเซลลูโลสผงจากฟางข้าว.วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 8(1): 47-59.

4. ดารารัตน์ นาคละออ, **อาภัสรา แสงนาค** และกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์. 2548. การใช้สตาร์ชเมล็ดขนุนในการผลิตซาหริ่มกึ่งสำเร็จรูป. เทคโนโลยีอาหารก้าวไกลนำไทยสู่ครัวโลก. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 7. ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา กรุงเทพมหานคร.

5. นิภาพร แสงจู ชุลีพร พุฒนวล วนิดา พงษ์ศักดิ์ชาติ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และ**อาภัสรา แสงนาค.** 2551. การเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากฟางข้าวเพื่อลดการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปาท่องโก๋. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. 31(3): 513-521

6. นิภาพร แสงจู ชุลีพร พุฒนวล วนิดา พงษ์ศักดิ์ชาติ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และ **อาภัสรา แสงนาค** 2551 วิธีการและภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากฟางข้าว. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. 31(4): 797-809.

7. นิลเนตร ปุณณะวรกุล และ **อาภัสรา แสงนาค.** 2552. การผลิตและการเสริมเซลลูโลสผงจากกากอ้อยในขนมปุยฝ้าย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.40 (1, พิเศษ): 417-420.

8. นนทพรรณ วิเศษรจนา **อาภัสรา แสงนาค** และ เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์. 2552. ผลของชนิดและปริมาณน้ำตาลต่อสมบัติการเกิดโฟมของไข่ขาวพลาสเจอร์ไรซ์. การประชุมผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 18 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร.

9. ดารารัตน์ นาคละออ อาภัสรา แสงนาค และกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์. 2554. การปรับปรุงคุณภาพของแป้งเมล็ดขนุนโดยวิธีพรีเจลาทิไนซ์. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 16 (1): 12-21.

10. จริยา สุขสวัสดิ์, จุติมา คล้ายจันทร์, ยุวรินทร์ สุทธิพงศ์พาณิช, อรวรรณ ทองเรือง และ **อาภัสรา แสงนาค.** 2554. ผลของรีซิสแทนต์สตาร์ช ซูโครสเอสเทอร์ และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อคุณภาพของโดและขนมปัง. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยพืชเขตร้อน ครั้งที่ 5 วันที่ 21 -22 กรกฎาคม 2554. มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย กรุงเทพมหานคร.

11. **Sucharoensakkul. A.,** Jantawat P. and Sanguandeekul R. 1991. Studying on optimum condition for hydrolysis of protein in Tuna-precooking water by enzyme and hydrochloric acid. 17th Congress on Science and Technology of Thailand 24-26 October, 1991.

12. Sanguandeekul, R., Jantawat, P. and **Sukcharoensakkul, A.** 1992. Production of protein hydrolysate as food flavor from tuna-precooking water. Microbial Utilization of Renewable Resource 8: 307-317.

11. **Sangnark, A.**, and Pathamavanitcha. V. 1995. Improvement of dietary fiber properties from bagasse. 21st Congress on Science and Technology of Thailand 25-27 October, 1995.

12. **Sangnark, A.,** and Noomhorm, A. 2003. Effect of particle sizes on in-vitro calcium and magnesium binding capacity of prepared dietary fibers. Food Research International 36: 91-96.

13. **Sangnark, A.**, and Noomhorm A. 2003. Effect of particle sizes on functional properties of dietary fibre prepared from sugarcane bagasse. Food chemistry 80: 221-229.

14. **Sangnark, A.**, and Noomhorm, A. 2004. Chemical, physical and baking properties of dietary fiber prepared from rice straw. Food Research International 37: 66-74.

15. **Sangnark, A.**, and Noomhorm, A. 2004. Effect of dietary fiber from sugarcane bagasse and sucrose ester on dough and bread properties. Lebensmittel-Wissenschaft und –Technologie. 37: 697-704.

16. Chokchai T., Limroongreungrat, K. and **Sangnark, A.** 2005. Functional properties of cellulose powder prepared from rice straw. Journal of the Science Technology and Humanities. 3(1): 1-12.

17. Ponkham, W., Limroongreungrat, K., and **Sangnark, A.** 2010. Extraction of collagen from hen eggshell membrane by using organic acids. International Conference on Agriculture and Agro- Industry 2010 " Food, Health and Trade". Mae Fah Luang University, Thailand, November 19-20 , 2010.

18. Suksomboon, A., Limroongreungrat, K., **Sangnark, A.**, Thititumjariya, K. ,and Noomhorm, A. 2011. Effect of conditions on the physicochemical properties of a snack made from purple rice (Hom Nil) and soybean flour blend. **International Journal of Food Science & Technology**. 46: 201-208.

19. Bungthong, C., **Sangnark, A.**, Limroongreungrat, K., Yuengongopttakal, V. 2011. Effect of wheat gluten and water on Homnil-rice bread qualities. The 12th Asean Food Conference. BITEC Bangna Thailand, June 16-18 , 2011.

การจดสิทธิบัตร

1. กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ วิชมณี ยืนยงพุทธกาล สิริมา ชินสาร และ**อาภัสรา แสงนาค.** 2552. ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบเพื่อสุขภาพจากแป้งเมล็ดขนุน. อนุสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 0903000238 วันที่ 17 มีนาคม 2552.

2. กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ วิชมณี ยืนยงพุทธกาล **อาภัสรา แสงนาค** และชุลีพร บุ้งทอง. 2553. สูตรและกรรมวิธีการผลิตขนมปังจากแป้งข้าวหอมนิล. อนุสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 1003000662 วันที่ 7 กรกฎาคม 2553.

3. กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ วิชมณี ยืนยงพุทธกาล **อาภัสรา แสงนาค** และดารารัตน์ นาคละออ. 2553. ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง.

อนุสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 1003000844 วันที่ 18 สิงหาคม 2553.

**รางวัลที่เคยได้รับ**

Presentation ดีเด่น และ Boot ดีเด่น จากโครงการวิจัยเรื่องการสกัดคอลลาเจนจากเยื่อเปลือกไข่โดยใช้กรดอินทรีย์ จาก สกว. ปี 2547.

**ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 1**

**1.ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย)** นางสาวอัญชลี เรืองเดช

2.**ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)** Miss Anchalee Ruengdech

**3.ตำแหน่งปัจจุบัน**

อาจารย์ (อัตราจ้าง) ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การและเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

**4.ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้**

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การและเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 149 ถนนเจริญกรุง แขวงยานนาวา เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120 โทรศัพท์ 0871513663 โทรสาร 02-2112040

e-mail: anchalee.rue@hotmail.com

**5.ประวัติการศึกษา**

2543 – 2546 M.Sc. (Food Technology) มหาวิทยาลัยศิลปากร

2548 – 2550 B.Sc. (Food Technology) มหาวิทยาลัยศิลปากร

**6.สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ**

การแปรรูปอาหาร เทคโนโลยีการผลิตขนมหวานและช็อกโกแลต โภชนาการอาหาร

**7.ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย**

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย

-

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย (ที่กำลังดำเนินการ)

-

7.3 โครงงานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว (ไม่เกิน 5 ปี)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำเฉาก๊วยเห็ดหูหนูพร้อมดื่ม(หัวหน้าโครงการวิจัย) แหล่งทุนสนับสนุน งบรายได้คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ประจำปี 2553

## ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 2

**1.ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย)** นางสาวกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์

**2. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)** Miss Kullaya Limroongreungrat

**3.ตำแหน่งปัจจุบัน**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

**4.ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้**

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ต. แสนสุข อ.เมือง จ. ชลบุรี 20131 โทรศัพท์ 038-102222 ต่อ 3135 โทรสาร 038-393492

e-mail: kullaya@buu.ac.th

**5.ประวัติการศึกษา**

2540 – 2544 Ph.D. (Food Science) The University of Georgia, USA

2532 – 2535 M.Sc. (Food Technology) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2528 – 2532 B.Sc. (Agricultural Industry) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**6.สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ**

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งและพืชหัว การใช้ประโยชน์จากพืชเขตร้อน การใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

**7.ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย**

**7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย**

-

**7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย**

1) การผลิตใยอาหารจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพ แหล่งทุน งบรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ม.บูรพา โครงการวิจัยปี 2537-2541 รหัสโครงการ 04058479 (ศูนย์ข้อสนเทศ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)

2) การใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรเป็นแหล่งเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ แหล่งทุน งบรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ม.บูรพา โครงการวิจัยปี 2537-2541 รหัสโครงการ 04088086 (ศูนย์ข้อสนเทศ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)

3) การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากมันเทศ แหล่งทุน งบรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ม.บูรพา ประจำปี 2545

4) การใช้สตาร์ชเมล็ดขนุนในการผลิตวุ้นเส้น แหล่งทุนโครงการสำหรับนักศึกษาปริญญาตรีภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2547

5) การดัดแปรสตาร์ชเมล็ดขนุนเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร แหล่งทุน งบรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ม.บูรพา ประจำปี 2547

6) การสกัดเพกตินจากเปลือกมังคุดเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2549

7.3 โครงงานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว (ภายใน 5 ปี)

1) การสกัดเพกตินจากเปลือกมังคุดเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร แหล่งทุนสนับสนุนสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2549

2) การพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบเพื่อสุขภาพจากแป้งเมล็ดขนุน (ผู้ร่วมวิจัย) แหล่งทุนสนับสนุน งบรายได้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปี 2549

3) การพัฒนาเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวขนาดทดลอง แหล่งทุนสนับสนุน ทุนงบรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ม.บูรพา ประจำปี 2551 (ผู้ร่วมวิจัย)

4) ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบ แหล่งทุนสนับสนุน คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ประจำปี 2553 (ผู้ร่วมวิจัย)

**8. ผลงานวิจัย**

1) อรุณี ตรีศิริโรจน์, **กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์** และอาภัสรา แสงนาค. 2541. การใช้วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรเป็นแหล่งเส้นใยอาหารที่ใช้ในข้าวเกรียบกุ้ง. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา* 6(2): 29-36.

2) ละอองดาว ว่องเอกลักษณ์ และ**กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์**. 2545. การใช้มิวซิเลจแห้งจากเมล็ดแมงลักเป็นสารช่วยให้คงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกและมายองเนส. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา* 7(1): 17-24.

3) มุกดา เจริญสินทรัพย์, **กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์**, พัลลภ มนเดชา และอาภัสรา แสงนาค. 2548. ผลของขนาดอนุภาคต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของเซลลูโลสผงจากฟางข้าว.*วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ* 8(1): 47-59.

4) ดารารัตน์ นาคละออ, อาภัสรา แสงนาค และ**กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์**. 2548. การใช้สตาร์ชเมล็ดขนุนในการผลิตซาหริ่มกึ่งสำเร็จรูป. *เทคโนโลยีอาหารก้าวไกลนำไทยสู่ครัวโลก*. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 7. ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา กรุงเทพมหานคร.

5) นิภาพร แสงจู ชุลีพร พุฒนวล วนิดา พงษ์สักดิ์ชาติ **กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์** และอาภัสรา แสงนาค. 2551. การเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากฟางข้าวเพื่อลดการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์ปาท่องโก๋. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ*. 31(3): 513-521.

6) นิภาพร แสงจู ชุลีพร พุฒนวล วนิดา พงษ์สักดิ์ชาติ **กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์** และอาภัสรา แสงนาค. 2551. วิธีการและภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากฟางข้าว. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ*. 31(4): 797-810.

7) กุลนรี ศาสตร์ประสิทธิ์ และ**กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์**. 2552. การใช้เปลือกมังคุดเป็นแหล่งใยอาหารในโดนัทเค้ก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร* 40(3) (พิเศษ) : 97-100.

8) ดารารัตน์ นาคลออ อาภัสรา แสงนาค และ **กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์**. 2553. ผลของวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบ. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร* 41(3/1) (พิเศษ): 53-56.

9) ดารารัตน์ นาคลออ อาภัสรา แสงนาค และ **กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์**. 2554. การปรับปรุงคุณภาพของแป้งเมล็ดขนุนโดยวิธีการพรีเจลาทิไนซ์. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา* 16(1): 12-21.

10) **Limroongreungrat, K.** and Hemyuratham, D. 1995. Production of dietary fiber from rice straw: Factors affecting delignification. 21st Congress on Science and Technology of Thailand. October 25-27.

11) **Limroongreungrat, K.** and Huang, Y.W. 2000. Development of new pasta product using sweet potato flour as a main ingredient. Paper presented at Institute of Food Technologists Annual Meeting at Dallas, Texas, USA.

12) **Limroongreungrat, K.** and Huang, Y.W. 2001. A novel approach for the development of pasta products using sweet potato flour. Paper presented at Institute of food Technologists Annual Meeting at New Orleans, Louisiana, USA.

13) **Limroongreungrat, K.** and Huang, Y.W. 2002. Development of pasta products using

alkaline-treated sweetpotato flour fortified with soy protein. Annual Meeting of the Institute of Food Technologists. Anaheim, California, USA, June 15-19.

14) Chokchai Ton, **Limroongreungrat, K.** and Sangnark, A. 2005. Functional properties of cellulose powder prepared from rice straw. Journal of the Science Technology and Humanities. 3(1): 1-12.

15). **Limroongreungrat, K.,** and Huang, Y.W. 2007. Pasta products made from sweetpotato fortified with soy protein. *LWT-Food Science and Technology,* 40(2): 200-206.

16) **Limroongreungrat, K.**, Chaovanalikit, A. and Banjonsinsiri, P. 2009. Extraction and characterization of pectin from mangosteen rind. 35st Congress on Science and Technology of Thailand. October 15-17.

17) Suksomboon, A. **Limroongreungrat, K.**, Sangnark, A., Thititumjariya, K. ,and Noomhorm, A. 2011. Effect of conditions on the physicochemical properties of a snack made from purple rice (Hom Nil) and soybean flour blend. International Journal of Food Science & Technology. 46: 201-208.

**9. การจดสิทธิบัตร**

1) **กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์**, วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, สิริมา ชินสาร และอาภัสรา แสงนาค. 2552. ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบเพื่อสุขภาพจากแป้งเมล็ดขนุน. อนุสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 0903000238 วันที่ 17 มีนาคม 2552.

2) **กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์**, วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, อาภัสรา แสงนาค และชุลีพร บุ้งทอง. 2553. สูตรและกรรมวิธีการผลิตขนมปังจากแป้งข้าวหอมนิล. อนุสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 1003000662 วันที่ 7 กรกฎาคม 2553.

3) **กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์,** วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, อาภัสรา แสงนาค และดารารัตน์ นาคละออ. 2553. ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง. อนุสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 1003000844 วันที่ 18 สิงหาคม 2553.

4) **กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์,** ผกามาส เย็นใจ, อารีรัตน์ ตรีโลเกศกุล และวรสิทธิ์ จักกะพาก. 2553. ผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมใบมะรุมผงและกรรมวิธีการผลิต. **อนุสิทธิบัตรเลขที่ 6689** ได้รับการจดทะเบียนเมื่อวันที่ 19 ตุลาคม 2554.

5) **กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์**, อโนชา สุขสมบูรณ์ และนภาลัย ประสิทธิ์เขตร์กิจ. 2554. ผลิตภัณฑ์บะหมี่แห้งเสริมใบมะรุมผงและกรรมวิธีการผลิต. อนุสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 1103001180 วันที่ 19 ตุลาคม 2554.

**10. รางวัลที่ได้รับ**

รางวัลชมเชย การประกวดนวัตกรรมผลิตภัณฑ์อาหาร. 2553. พาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมใบมะรุมผง. จัดโดยสมาคมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหารแห่งประเทศไทย (FoSTAT) สมาคมสภาวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร (AIAC) และสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (NIA). วันที่ 18 มิถุนายน 2553.

## ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 3

**1.ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย)** นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล

**2. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)** Miss Wichamanee Yuenyongputtakal

**3.ตำแหน่งปัจจุบัน**

อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

**4.ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้**

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ต. แสนสุข อ.เมือง จ. ชลบุรี 20131 โทรศัพท์ 038-102222 ต่อ 3137 โทรสาร 038-393492

e-mail puttakal2@yahoo.com , wich@buu.ac.th

**5.ประวัติการศึกษา**

| | |
|---|---|
| 2545 – 2549 | Ph.D. (Agro-industrial Product Development)<br>มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 2547 - 2548 | Visiting student (under the Agro-Industry Ph.D. Program Consortium), School of Food Biosciences, The University of Reading, Reading, United Kingdom. |

2539 – 2542 M.Sc. (Agro-industrial Product Development)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2535 – 2539 B.Sc. (Food Science and Nutrition) มหาวิทยาลัยบูรพา

**6.สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ**

การแปรรูปผักผลไม้ การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร และ การทดสอบทางประสาทสัมผัส

**7.ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย**

**7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย**

1) การพัฒนากรรมวิธีการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์และผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นส่วนประกอบเพื่อส่งเสริมการผลิตอาหารสุขภาพ

**7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย (ที่กำลังดำเนินการ)**

1) การพัฒนากระบวนการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์แบบบีบเย็นและการประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (แหล่งทุน เงินอุดหนุนรัฐบาล ดำเนินการไปแล้วประมาณ 50 %)

2) การพัฒนาคุณภาพและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวกล้องงอกเคลือบสมุนไพรบางชนิด (แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ดำเนินการไปแล้วประมาณ 50 %)

**7.3 โครงงานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว (ไม่เกิน 5 ปี)**

1) การพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบเพื่อสุขภาพจากแป้งเมล็ดขนุน (ผู้ร่วมวิจัย)
แหล่งทุนสนับสนุน งบรายได้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปี 2549
ยื่นขอสิทธิบัตร ชื่อ ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบเพื่อสุขภาพจากแป้งเมล็ดขนุน เลขที่คำขอ 0903000238

2) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผลไม้แผ่นม้วน (หัวหน้าโครงการวิจัย) แหล่งทุนสนับสนุนโครงการสำหรับนักศึกษาปริญญาตรีภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2550

- ชนะชัย กรวิทยาศิลป และ **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล.**2551. การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ผลไม้แผ่นม้วนกลิ่นรสเชอร์รี่ที่ใช้ผลไม้ไทยอบแห้งแทนแอบเปิ้ลอบแห้ง.วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร (ฉบับพิเศษ)

- ชนะชัย กรวิทยาศิลป และ **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล.**2551. การผลิตและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ผลไม้แผ่นม้วนผสม.วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร (ฉบับพิเศษ)

- ณัฐภัค ปฐมดำรงสถิต และ **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล**.2553. การผลิตพิวเร่ผลไม้แช่แข็งและการนำมาใช้ในการผลิตผลไม้แผ่น, การประชุมวิชาการวิจัยรำไพพรรณี ระดับบัณฑิตศึกษา เนื่องในโอกาสคล้ายวันสถาปนามหาวิทยาลัยภัฏ ประจำปี 2553

- วิจัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น, มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี, 14 -15 มิถุนายน 2553

3) การพัฒนาผลิตภัณฑ์มันรังนกรูปแบบใหม่ (หัวหน้าโครงการวิจัย) แหล่งทุนสนับสนุนโครงการสำหรับนักศึกษาปริญญาตรีภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2550

- Rahatwong,S. and **Yuenyongputtakal,W**. 2009. Effect of pre-treatments on oil content reduction and quality of fried sweet potatoes. *Book of Abstracts. The 11th Agro-Industrial Conference:Food Innovation Asia Concerence.*, BITEC, Bangkok,Thailand, 18-19 June. p. 58

- Wongwaitaweesup,N. and **Yuenyongputtakal,W**. 2009. Product development of healthy Mun Rung Nok. *Book of Abstracts. The 11th Agro-Industrial Conference:Food Innovation Asia Concerence.*, BITEC, Bangkok,Thailand, 18-19 June. p. 60

4) การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะพร้าวกะทิกึ่งแห้งด้วยการทำแห้งวิธีออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน (หัวหน้าโครงการวิจัย) แหล่งทุนสนับสนุน โครงการสำหรับนักศึกษาปริญญาตรีภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2551

5) การพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมสับปะรดผสมสมุนไพร (หัวหน้าโครงการวิจัย) แหล่งทุนสนับสนุน โครงการสำหรับนักศึกษาปริญญาตรีภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2551

6) การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดบัวกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน (หัวหน้าโครงการวิจัย) แหล่งทุนสนับสนุน โครงการสำหรับนักศึกษาปริญญาตรีภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2552

7) การประยุกต์ใช้จุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากแก้วมังกร (หัวหน้าโครงการวิจัย) แหล่งทุนสนับสนุน โครงการสำหรับนักศึกษาปริญญาตรีภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2552

8) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลาดุกกึ่ง(หัวหน้าโครงการวิจัย) แหล่งทุนสนับสนุน โครงการสำหรับนักศึกษาปริญญาตรีภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2552

9) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซุปหอยชนิดข้นตำรับจีนและตำรับตะวันตกบรรจุกระป๋อง (ผู้ร่วมวิจัย) แหล่งทุนสนับสนุน งบรายได้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปี 2551

- นิสานารถ กระแสร์ชล, วิชมณี ยืนยงพุทธกาล และพรนภา น้อยพันธ์.2553. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซุปหอยชนิดข้นตำรับจีน.การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 48 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 3 – 6 กุมภาพันธ์ 2553.

10) การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะพร้าวกึ่งแห้งด้วยวิธีการดึงน้ำออกแบบออสโมซิสร่วมกับการอบแห้งโดยใช้ความร้อน (หัวหน้าโครงการวิจัย) แหล่งทุนสนับสนุน ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประจำปี 2551

-Maneepan, P. and **Yuenyongputtakal,W**. 2009. Effect of vacuum pressure pre-treatments on mass transfer of coconut during osmotic dehydration. *Book of Abstracts. The 11th Agro-Industrial Conference:Food Innovation Asia Concerence.*, BITEC, Bangkok,Thailand, 18-19 June. p. 35

- พิมพ์ใจ มณีพันธ์, **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล** และ พิชญ์อร ไหมสุทธิสกุล. 2552. ผลของการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ร่วมกับกรดต่อคุณภาพของชิ้นมะพร้าวระหว่างการเก็บรักษา.การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี 2553 การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ครั้งที่ 2, 21-23 มกราคม 2553 วิทยาเขตหนองคาย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- พิมพ์ใจ มณีพันธ์ และ **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล**. 2552. ผลของการใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบเป็นจังหวะในการเตรียมชิ้นมะพร้าวขึ้นต้นก่อนการดึงน้ำออกวิธีออสโมซิสต่อค่าการถ่ายเทมวลสารและค่าดัชนีการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์. การประชุมเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่14 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. วันที่ 10-11 กันยายน 2552.

- Maneepan, P. and **Yuenyongputtakal,W**. and Maisuthisakul, P, 2009. Influence of vacuum pressure pre-treatment condition in coconut pieces osmotic dehydration, Kasetsart Conference 48th, 3-6 Feburary 2010.

- Maneepan, P. and **Yuenyongputtakal,W**, 2010. Osmotic Dehydration of Coconut Pieces: Influence of Vacuum Pressure Pretreatment on Mass Transfer and Physical Characteristics, Kasetsart Journal (Natural Science.), 45 (5) p 891-899.

11) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักผลไม้พองกรอบที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงเวลาสั้นร่วมกับการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส (ผู้ร่วมวิจัย) แหล่งทุนสนับสนุน งบรายได้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปี 2552

- **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล** และ พรนภา น้อยพันธ์. 2553. วิธีการเตรียมขั้นต้นที่เหมาะสมสำหรับการผลิตมันเทศพองกรอบ, การประชุมวิชาการระดับชาติระดับชาติของเครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ ประจำปี 2553 การพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากด้วยแนวคิดเศรษฐกิจ เชิงสร้างสรรค์, โรงแรมโฆษะ จังหวัดขอนแก่น, 26-28 พฤษภาคม 2553.

12) การพัฒนากระบวนการสกัดน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์แบบบีบเย็นและการประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร(หัวหน้าโครงการวิจัย) แหล่งทุนสนับสนุน ทุนสนับสนุนการวิจัย จากเงินอุดหนุนรัฐบาล ประจำปี 2553

- ชุติมา สัมมา, สุภาพร สมร, สิริมา ชินสาร และ **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล** และนิสานารถ กระแสร์ชล, ผลของวิธีการสกัดน้ำมันมะพร้าวจากกะทิต่อปริมาณผลผลิตและคุณภาพผลิตภัณฑ์, การประชุมวิชาการระดับชาติระดับชาติของเครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ ประจำปี 2553 การพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากด้วยแนวคิดเศรษฐกิจ เชิงสร้างสรรค์, โรงแรมโฆษะ จังหวัดขอนแก่น, , 26-28 พฤษภาคม 2553.

- นันทิดา บรรณสาร อุมาพรทาไธสง สิริมา ชินสาร และ **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล**, 2554, ผลของวิธีการสกัดน้ำมันมะพร้าวต่อองค์ประกอบกรดไขมันและคุณภาพผลิตภัณฑ์, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 42 (2) หน้า 369 -372.

- นันทิดา บรรณสาร อุมาพรทาไธสง สิริมา ชินสาร และ **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล**, 2554, ประสิทธิภาพของกรดไขมันสกัดจากน้ำมันมะพร้าวที่มีต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคทางอาหาร, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 42 (2) หน้า 373-376.

- สิริมา ชินสาร นิสานารถ กระแสร์ชล และ **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล**, 2554, คุณภาพของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่บรรจุในขวดแก้วและขวดพลาสติกระหว่างการเก็บรักษา, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร42 (2) หน้า 557-560.

13) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลำไยอัดเม็ด (ผู้ร่วมวิจัย) แหล่งทุนสนับสนุน ทุนรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปี 2553

- กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และ **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล**, 2554, ผลของสภาวะการทำแห้งต่อคุณภาพของลำไยผง, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 42 (2) หน้า 473-476.

14) บทความตีพิมพ์อื่นๆ

- ศิลาลักษณ์ กลั่นพจน์ จุรีย์พร กิมาวะหา และ **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล**, 2555, ผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกและชนิดของสารละลายออสโมติกต่อการดึงน้ำออกวิธีออสโมซิสของมะพร้าวกะทิ วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 22 (1)

- อัจฉราพรรณ เนลสัน สันทัด วิเชียรโชติ และ **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล**, 2554, การกลั่นกรองส่วนผสมที่มีผลต่อคุณภาพของไอศกรีมเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากแก้วมังกร, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 42 (2) หน้า 465-468.

- วรวีร์ หอมหวาน กนกวรรณ มั่นศีล และ **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล**, 2554, ผลของระยะเวลาในการทำให้เมล็ดบัวสุก อุณหภูมิและเวลาการออสโมซิสต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิส, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 42 (2) หน้า 461-464.

- ภรณ์ทิพย์ ด้วยคต วัลภา ชื่นบาน และ **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล**, 2554, ผลของการเติม *Lactobacillus casei* ต่อคุณภาพของน้ำคั้นเพียวเร่แก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดงระหว่างการแช่เย็น, การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 50 ม.เกษตรศาสตร์, 31 ม.ค.-2 ก.พ.55.

**8. การจดสิทธิบัตร**

1) กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล** สิริมา ชินสาร และอาภัสรา แสงนาค. 2552. ผลิตภัณฑ์แผ่นกรอบเพื่อสุขภาพจากแป้งเมล็ดขนุน. อนุสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 0903000238 วันที่ 17 มีนาคม 2552.

2) กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล** อาภัสรา แสงนาค และชุลีพร บุ้งทอง. 2553. สูตรและกรรมวิธีการผลิตขนมปังจากแป้งข้าวหอมนิล. อนุสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 1003000662 วันที่ 7 กรกฎาคม 2553.

3) กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ **วิชมณี ยืนยงพุทธกาล** อาภัสรา แสงนาค และดารารัตน์ นาคละออ. 2553. ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นกรอบจากแป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมโดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง. อนุสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 1003000844 วันที่ 18 สิงหาคม 2553.

## ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 4

**1.ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย)** อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ

**2. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)** Ubonrat Siripatrawan

**3.ตำแหน่งปัจจุบัน**

รองศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**4.ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้**

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

โทร 02-218-5515-6 โทรสาร 02-254-4314

**5.ประวัติการศึกษา**

Ph.D./ M.S. (Packaging) Michigan State University USA

M.Sc. (Food Technology) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

B.Sc. (Food Science and Technology) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**6.สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ**

Food packaging, Shelf life evaluation & prediction, Active packaging

**7.ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย**

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย

-

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย (ที่กำลังดำเนินการ)

-

7.3 โครงงานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว (ไม่เกิน 5 ปี)

**8. ผลงานวิจัย**

1) **Siripatrawan U**, Harte, B.R. 2010. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. Food Hydrocolloids. 24 (8) 770-775.

2) **Siripatrawan U***, Sanguandeekul R, Narakaew V. 2009. An alternative freshness index method for modified atmosphere packaged abalone using an artificial neural network. LWT - Food Science and Technology. 42 (1): 343-349.

3) **Siripatrawan, U.***, Assatarakul, K. 2009. Methyl jasmonate coupled with modified atmosphere packaging to extend shelf life of tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) during cold storage. International Journal of Food Science and Technology. 44 (5):1065-1071.

4) Phimolsiripol Y., **Siripatrawan, U.***, Tulyathan V, Cleland D J. 2008. Effect of cold pre-treatment duration before freezing on frozen bread dough quality. International Journal of Food Science and Technology. 43 (10): 1759-1762.

5) Sanguandeekul, R., **Siripatrawan U***, Narakaew V. 2008. Changes in the quality of abalone packaged under atmospheric air, vacuum and modified atmosphere. Packaging Technology and Science. 21 (3): 159-164.

6) **Siripatrawan, U.***, Jantawat, P. 2008. A novel method for shelf life prediction of a packaged moisture sensitive snack using multilayer perceptron neural network. Expert Systems with Applications. 34 (2): 1562-1567.