



วิทยานิพนธ์

การดัดแปรแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพก๋วยเตี๋ยว
เส้นเล็กพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทชนิดอ่อนตัวพาสเจอร์ไรซ์

**MODIFICATION OF CHAI NAT 1 RICE FLOUR FOR
IMPROVEMENT OF READY-TO-EAT PASTEURIZED POUCH
NOODLE PRODUCTS**

นางสาวกรกช หล่อโล่การ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การดัดแปรแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพก๊วยเตี๋ยวเส้นเล็กพร้อมบริโภค
ในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทชนิดอ่อนตัวพาสเจอไรซ์

Modification of Chai Nat 1 Rice Flour for Improvement of Ready-To-Eat Pasteurized
Pouch Noodle Products

นางผู้วิจัย นางสาวกรกช หล่อโล่ทหาร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์อรอนงค์ นัยวิกุล, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุกุล วัฒนสุข, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์น้ำฝน ลำดับวงศ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบุญย์ สัจจอนันตกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉกหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การดัดแปรแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชานาต 1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กพร้อมบริโภคใน
บรรจุภัณฑ์ปิดสนิทชนิดอ่อนตัวพาสเจอร์ไรซ์

Modification of Chai Nat 1 Rice Flour for Improvement of Ready-To-Eat Pasteurized Pouch
Noodle Products

โดย

นางสาวกรกช หล่อโลหการ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2550

กรกช หล่อโลหการ 2550: การคัดแปรแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันต 1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทชนิดอ่อนตัวพาสเจอไรซ์ ปรินญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร: ศาสตราจารย์อรอนงค์ นัยวิกุล, Ph.D. 202 หน้า

การนำเชื้อก๋วยเตี๋ยวด้วยความร้อนเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเส้นก๋วยเตี๋ยว แต่มีข้อจำกัดเรื่องเนื้อสัมผัสของก๋วยเต๋วที่นุ่มลง จนอาจไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการคัดแปรแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันต 1 ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และคัดแปรด้วยรังสียูวีเพื่อใช้ในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของก๋วยเต๋วเส้นเล็กพาสเจอไรซ์ การคัดแปรแป้งข้าวเจ้าด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 110 และ 120⁰ซ นาน 1-5 ชม ทำให้แป้งข้าวเจ้าคัดแปรมีความหนืดสูงสุด (136.5-286.4 อาร์วียู) ความหนืดลดลง (7.7-38.8 อาร์วียู) และเซตแบค (19.2-158.6 อาร์วียู) น้อยลง มีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดสูงขึ้นกว่าแป้งข้าวปกติประมาณ 2.5-10.8⁰ซ อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ความเป็นผลึกสัมพัทธ์ และพลังงานเอนทัลปีการเกิดเจลลิตีในซลดลง แต่มีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในซสูงขึ้นอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงถึงสภาวะการคัดแปรส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึก และอาจเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่จนทำให้อุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในซสูงขึ้น สีของแป้งข้าวเจ้าคัดแปรมีความเป็นสีแดง ($a^* = 0.2-1.2$) และสีเหลือง ($b^* = 4.3-6.6$) มากขึ้น ส่วนการคัดแปรแป้งข้าวเจ้าด้วยรังสียูวีโดยปรับความชื้นแบ่งเป็น 25 และ 45% ฉายรังสียูวี 3-9 ชม ส่งผลต่อการลดค่าความหนืดสูงสุด (267.5-291.9 อาร์วียู) ความหนืดลดลง (31.2-38.3 อาร์วียู) ความหนืดสุดท้าย (299.5-340.0 อาร์วียู) และเซตแบค (56.4-85.0 อาร์วียู) แต่เพิ่มอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดให้สูงกว่าแป้งปกติ 2.1-4.5⁰ซ อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม แป้งข้าวเจ้าคัดแปรด้วยรังสียูวีมีความเป็นผลึกสัมพัทธ์ พลังงานเอนทัลปี และอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในซไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวเจ้าปกติ แต่แป้งคัดแปรสตาร์ชมีความสว่าง ($L^* = 97.5-97.7$) และมีสีเหลือง ($b^* = 3.4-3.7$) ขึ้นมากกว่าแป้งปกติ จากผลการทดลองได้เลือกแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่ 120⁰ซ นาน 5 ชม (HMT120-5) และแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้น 45% ฉายรังสียูวีนาน 7 ชม (UV45-7) ในการผลิตก๋วยเตี๋ยว โดยทดแทนแป้งปกติด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชทั้ง 2 วิธี ในปริมาณ 5, 10 และ 20% และวิเคราะห์สัดส่วนการทดแทนที่เหมาะสม ผลปรากฏว่าก๋วยเต๋วทดแทนด้วยแป้งข้าวเจ้าคัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 5% ปังรสหลังพาสเจอไรซ์ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความเข้มข้นความแน่นเนื้อมากที่สุด ส่วนก๋วยเต๋วทดแทนด้วยแป้งข้าวเจ้าคัดแปรด้วยรังสียูวีปริมาณ 5, 10 และ 20% หลังพาสเจอไรซ์มีค่าแรงสูงสุด (94.9-103.8 ก) และคะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับก๋วยเต๋วปกติพาสเจอไรซ์ เมื่อตรวจสอบความปลอดภัยระหว่างการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ ก๋วยเต๋วพาสเจอไรซ์ทั้ง 3 ชนิด ยังคงมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งปลอดภัยต่อการบริโภค

Korrakot Lorlowhakarn 2007: Modification of Chai Nat 1 Rice Flour for Improvement of Ready-To-Eat Pasteurized Pouch Noodle Products. Master of Science (Food Science),
Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology.
Thesis Advisor: Professor Onanong Naivikul, Ph.D. 202 pages.

Heating process during pasteurization is a method to preserve rice noodles but it will cause softening which quality may be unacceptable. This research was aimed to modify Chai Nat 1 rice flour by heat-moisture-treatment (HMT) and UV-irradiation to improve the texture of pasteurized noodles. The HMT modification at 110 or 120⁰C for 1-5 h attributed the HMT rice flour significantly reduced ($p \leq 0.05$) the peak viscosity to 136.5-286.4 RVU, the breakdown to 7.7-38.8 RVU and the setback to 19.2-158.6 RVU, and to significantly increased ($p \leq 0.05$) the pasting temperature 2.5-10.8⁰C. The decrease in the relative crystallinity and gelatinized enthalpy but increase in the gelatinized temperature showed that the HMT modification changed the property of the crystalline region in the flour. The increase in the gelatinized temperature may be the result of molecular rearrangement. The color of HMT rice flour had more redness ($a^*=0.2-1.2$) and yellowness ($b^*=4.3-6.6$) than the native flour. On the other hand, the UV-irradiated flour, with 25 or 45% moisture content which was irradiated for 3-9 h exhibited the decrease significantly ($p \leq 0.05$) in the peak viscosity to 267.5-291.9 RVU, the breakdown to 31.2-38.3 RVU, the final viscosity to 299.5-340.0 RVU and the setback to 56.4-85.0 RVU but exhibited the increase significantly ($p \leq 0.05$) in the pasting temperature 2.1-4.5⁰C. However, the UV-irradiated rice flour showed no significantly different ($p > 0.05$) in the relative crystallinity, enthalpy and gelatinized temperature compared to the native rice flour. Furthermore, the UV-irradiated rice flour showed increasing in the brightness ($L^*=97.5-97.7$) and yellowness ($b^*=3.4-3.7$). The HMT120-5 and UV45-7 modified flour were chosen to produce the rice noodle and studied the optimum composition of the modified Chai Nat1 rice flour in the rice noodle. The mixtures of 5, 10 and 20% of modified flour which was substituted in the fraction of native flour were investigated. The 5% HMT120-5 pasteurized small strip rice noodle showed the most firmness from sensory evaluation. As a result from UV-irradiated flour mixture, the 5, 10 and 20% UV45-7 pasteurized spicy rice noodle showed no significantly different ($p > 0.05$) peak force (94.9-103.8 g) and sensory evaluation compared to the controlled noodle. The microbiological quality of the pasteurized rice noodles, stored at 4⁰C for 8 weeks, met the requirement of the standard regulation for safety.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ นัยวิกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหา ตลอดจนแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ
ลุล่วง ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุกุล วัฒนสุข กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ผู้ช่วย
ศาสตราจารย์ ดร.น้ำฝน ลำดับวงศ์ กรรมการที่ปรึกษาวิชาการ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำข้อคิดเห็น
ในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนรองศาสตราจารย์สมบัติ ขอทวีวัฒนา ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้
ข้อคิดเห็น และกรุณาตรวจสอบ แก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนะบุญย์ สัจจานันตกุล หัวหน้าภาควิชา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ
ดร.เนตรนภิส วัฒนสุชาติ และสถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ที่กรุณาเอื้อเฟื้อเครื่องมือ
การทำวิจัย ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณามอบทุนอุดหนุนและ
ส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอก ประจำปีงบประมาณ 2547 ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ใน
ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่านที่ช่วยแนะนำ และช่วยเหลือในการใช้
เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ดร.น้ำฝน ศีตะจิตต์ คุณอโนชา สุขสมบูรณ์ คุณพนทิพย์ รัมภการภรณ์ คุณพัลลภ
ไพพงษ์ คุณกิตติญาณ์ เชื้อวเชิงคำ คุณไพลาภา นิ้มสังข์ คุณมนต์ราม อินทศิริ คุณโสภิดา สืบวงศา
คุณวิชญ์ เกียรติยังอังสุลี ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี สุดท้ายขอกราบ
ขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่กรุณาอบรมเลี้ยงดู ให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจที่สำคัญที่สุดเสมอมา
และขอขอบคุณ คุณกิริติ หล่อโลहार น้องชาย ที่เป็นกำลังใจ และช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์

กรกช หล่อโลहार

มีนาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	39
อุปกรณ์	39
วิธีการ	42
ผลและวิจารณ์	58
สรุปและข้อเสนอแนะ	143
สรุป	143
ข้อเสนอแนะ	152
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	153
ภาคผนวก	165
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวชัณนาท 1	166
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สมบัติของแป้งข้าว	170
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์สมบัติของก๊วยเตี๋ยว	175
ภาคผนวก ง แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	181
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ทางสถิติ	183
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	202

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สภาวะที่ใช้ในการตัดแปรแปง/สตา์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นใน ภาชนะปิด	5
2	การตัดแปรสตา์ชในแป้งข้าวชัชนาท 1 ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นสภาวะ ต่างๆ	43
3	การตัดแปรสตา์ชในแป้งข้าวชัชนาท 1 ด้วยรังสียูวีบี สภาวะต่างๆ	45
4	สูตรส่วนผสมแป้งข้าวที่ใช้ผลิตก๊วยเตี๋ยเส้นเล็ก	50
5	การเปลี่ยนแปลงความหนืดจากเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว ของแป้งข้าว เจ้าพันธุ์ชัชนาท 1 และแป้งตัดแปรสตา์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น	57
6	กำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัชนาท 1 และแป้งตัดแปรสตา์ชด้วย ความร้อนร่วมกับความชื้น	63
7	การละลายของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัชนาท 1 และแป้งตัดแปรสตา์ชด้วยความ ร้อนร่วมกับความชื้น	65
8	อุณหภูมิ และเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตีในซ์ของแป้งข้าวชัชนาท 1 และแป้ง ตัดแปรสตา์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120 ⁰ ซ	69
9	ค่าสี L* a* b* ของแป้งข้าวพันธุ์เจ้าชัชนาท 1 และแป้งตัดแปรสตา์ชด้วย ความร้อนร่วมกับความชื้น	74
10	การเปลี่ยนแปลงความหนืดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็วของ แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัชนาท 1 และแป้งตัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวี	77
11	กำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัชนาท 1 และแป้งตัดแปรสตา์ชด้วย รังสียูวี	82
12	การละลายของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัชนาท 1 และแป้งตัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวี	85
13	อุณหภูมิ และเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตีในซ์ ของแป้งข้าวชัชนาท 1 และแป้ง ตัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวี	90
14	ค่าสี L* a* b* ของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัชนาท 1 และแป้งตัดแปรสตา์ชด้วยรังสี ยูวี	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวชัณนาท 1 และแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120 ⁰ ซ ระยะเวลา 5 ชม และแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 7 ชม	96
16	ความหนืด และลักษณะน้ำแป้ง และความหนาของเส้นก๊วยเตี๋ย ของแป้งข้าวชัณนาท 1 และการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5, 10 และ 20%	101
17	ความหนืด และลักษณะน้ำแป้ง และความหนาของเส้นก๊วยเตี๋ย จากแป้งข้าวชัณนาท 1 และการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5, 10 และ 20%	102
18	เนื้อสัมผัสของก๊วยเตี๋ยเส้นเล็กผลิตจากแป้งข้าวชัณนาท 1 และแป้งข้าวชัณนาท 1 ผสมแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5, 10 และ 20%	106
19	เนื้อสัมผัสของก๊วยเตี๋ยเส้นเล็กผลิตจากแป้งข้าวชัณนาท 1 และแป้งข้าวชัณนาท 1 ผสมแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ที่ปรับความชื้นแป้งเป็น 45% คัดแปรนาน 7 ชม ปริมาณ 5, 10 และ 20%	109
20	คะแนนความเข้มจากการทดสอบชิมก๊วยเตี๋ยเส้นเล็กผลิตจากแป้งข้าวชัณนาท 1 และแป้งข้าวชัณนาท 1 ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5, 10 และ 20%	111
21	คะแนนความเข้มจากการทดสอบชิมก๊วยเตี๋ยเส้นเล็กผลิตจากแป้งข้าวชัณนาท 1 และแป้งข้าวชัณนาท 1 ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5, 10 และ 20%	115
22	เนื้อสัมผัสของก๊วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ⁰ ซ ในช่วง 8 สัปดาห์	123
23	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของก๊วยเตี๋ยปกติพาสเจอไรซ์ ระยะเวลา 1 วัน ถึง 8 สัปดาห์	126

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
24	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของก้วยเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นพาสเจอไรซ์ ระยะเวลา 1 วัน ถึง 8 สัปดาห์	128
25	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของก้วยเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีพาสเจอไรซ์ ระยะเวลา 1 วัน ถึง 8 สัปดาห์	130
26	ความเป็นกรดเบสของก้วยเดี่ยวพาสเจอไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ⁰ ซ ในช่วง 8 สัปดาห์	132
27	วอเตอร์แอคทิวิตีของก้วยเดี่ยวพาสเจอไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ⁰ ซ ในช่วง 8 สัปดาห์	134
28	ความชื้นของก้วยเดี่ยวพาสเจอไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ⁰ ซ ในช่วง 8 สัปดาห์	136
29	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ก้วยเดี่ยวปกติพาสเจอไรซ์ ในช่วงการเก็บรักษา 8 สัปดาห์	138
30	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ก้วยเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นพาสเจอไรซ์ ในช่วงการเก็บรักษา 8 สัปดาห์	140
31	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ก้วยเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีพาสเจอไรซ์ ในช่วงการเก็บรักษา 8 สัปดาห์	142
ตารางผนวกที่		
ก1	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานเอมิโลส	168
ค1	อุณหภูมิก้วยเดี่ยว อุณหภูมิกึ่งกลาง อุณหภูมิน้ำ และค่า F ในการพาสเจอไรซ์	178
จ1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงความหนืดจากเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว ของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันต 1 และแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น	184

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
จ2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัว และการละลายของแป้ง ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น	185
จ3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเป็นผลึก อุณหภูมิ และเอนทัลปีของการเกิดเจลลาทีไนซ์ของแป้งข้าวชัยนาท 1 และแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120 ⁰ ซ	186
จ4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี L* a* b* ของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น	187
จ5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงความหนืดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว ของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี	188
จ6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี	189
จ7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการละลายของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี	190
จ8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก อุณหภูมิ และเอนทัลปีของการเกิดเจลลาทีไนซ์ ของแป้งข้าวชัยนาท 1 และแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวีที่ระดับความชื้น 45%	191
จ9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี L* a* b* ของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี	192

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
จ10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวชัณนาท 1 แป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี	193
จ11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหนืดของน้ำแป้ง และความหนาของเส้นก๋วยเตี๋ยว จากแป้งข้าวชัณนาท 1 และการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5, 10 และ 20% และการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5, 10 และ 20%	194
จ12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กผลิตจากแป้งข้าวชัณนาท 1 และแป้งข้าวชัณนาท 1 ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5, 10 และ 20%	195
จ13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กผลิตจากแป้งข้าวชัณนาท 1 และแป้งข้าวชัณนาท 1 ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5, 10 และ 20%	196
จ14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ⁰ ซ ในช่วง 8 สัปดาห์	197
จ15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบชิมก๋วยเตี๋ยวปกติพาสเจอไรซ์ ในช่วง 8 สัปดาห์	198
จ16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบชิมก๋วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และก๋วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวีพาสเจอไรซ์ ในช่วง 8 สัปดาห์	199
จ17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเป็นกรด-เบส และวอเตอร์แอคทิวิตีของก๋วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ⁰ ซ ในช่วง 8 สัปดาห์	200
จ18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้นของก๋วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ⁰ ซ ในช่วง 8 สัปดาห์	201

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สภาวะการตัดแปรสสารด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น	3
2	แป้งข้าวพันรูปทูลานี 60 (ก) และแป้งตัดแปรสสารที่ระดับความชื้น 25% อุณหภูมิ 120 ⁰ ซ ระยะเวลา 60 นาที (ข)	8
3	สสารข้าวเหนียว (ก) และสสารข้าวเหนียวตัดแปรด้วยคลื่นไมโครเวฟ	9
4	สสารข้าวเหนียว (ก) และสสารข้าวเหนียวความชื้น 35% ตัดแปรด้วยคลื่น ไมโครเวฟนาน 9 นาที	9
5	สสารข้าวปกติ (ก) และสสารข้าวตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น (ข)	10
6	สสารข้าวฟ่างปกติ (ก) และตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น (ข)	10
7	สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum)	17
8	สสารขม้นสำปะหลังย่อยกรดและตัดแปรด้วยรังสียูวีบี ระยะเวลา 9 ชม (ก) และยูวีซี ระยะเวลา 7 ชม (ข)	19
9	ฟิล์มจากสสารข้าวสาลีปกติ (ก) และฉายรังสียูวี (ข) แช่น้ำ	20
10	แบบจำลองการเกิดรีโตรีเกรเดชันของแอมิโลเพกทินของสสารปกติ (ก) และ สสารที่เกิดพันธะเชื่อมข้ามเนื่องจากการฉายรังสียูวี (ข)	22
11	ฟิล์มจากสสารข้าวสาลีปกติ (ก) และฉายรังสียูวี (ข)	22
12	การวิเคราะห์ขนาดโมเลกุลของสสารขม้นสำปะหลังด้วยเครื่องโครมาโท กราฟีแบบ HPSEC ของสสารตัดแปรด้วยรังสียูวีนาน 9 (ก) และ 15 ชม (ข)	23
13	ขนมปังที่ทำจากสสารขม้นสำปะหลังปรับกรด แล้วอบด้วยตู้อบ (ก) ตัดแปร ด้วยรังสียูวี บีเอ (ข) ยูวีบี (ค) และยูวีซี (ง)	24
14	ภาพจำลองกลไกการเกิดรีโตรีเกรเดชัน	28
15	การเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน และระหว่าง โมเลกุลแอมิโลเพกทินด้วยกันเองของสสารข้าว	28
16	วิธีผลิตแป้งข้าวเจ้าไม่เปียก	42
17	วิธีผลิตแป้งข้าวเจ้าชัณนาท 1 ตัดแปรสสารด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น	44
18	วิธีผลิตแป้งข้าวเจ้าชัณนาท 1 ตัดแปรสสารด้วยรังสียูวี	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
19 กราฟแสดงความเป็นผลึกสัมพัทธ์ของแป้งข้าวชัณนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120 ⁰ ซ เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชม	67
20 เม็ดสตาร์ชแป้งข้าวชัณนาท 1 (ก และ ข) และแป้งดัดแปรสตาร์ช HMT120-5 (ค และ ง) ที่กำลังขยาย 2,000 และ 14,000 เท่า จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	72
21 ความเป็นผลึกสัมพัทธ์ของแป้งข้าวชัณนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ระดับความชื้น 45% เป็นระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม	88
22 เม็ดสตาร์ชแป้งข้าวชัณนาท 1 (ก และ ข) และแป้งดัดแปรสตาร์ช UV45-7 (ค และ ง) ที่กำลังขยาย 2,000 และ 14,000 เท่า จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	93
23 อุณหภูมิของถ้วยเต็วปรงรสในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทชนิดอ่อนตัว และอุณหภูมิของน้ำภายนอกที่ใช้พาสเจอไรซ์ถ้วยเต็ว	104
24 ถ้วยเต็วปกติ (ก) และถ้วยเต็วทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น 5% (ข) 10% (ค) และ 20% (ง) ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 150 เท่า	118
25 ถ้วยเต็วปกติ (ก) และถ้วยเต็วทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี 5% (ข) 10% (ค) และ 20% (ง) ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 150 เท่า	120
ภาพผนวกที่	
ก1 กราฟมาตรฐานเอมิโลส	169

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CN1	=	แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1
HMT110-1	=	แป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 110 ⁰ ซ ระยะเวลา 1 ชม
HMT110-3	=	แป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 110 ⁰ ซ ระยะเวลา 3 ชม
HMT110-5	=	แป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 110 ⁰ ซ ระยะเวลา 5 ชม
HMT120-1	=	แป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120 ⁰ ซ ระยะเวลา 1 ชม
HMT120-3	=	แป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120 ⁰ ซ ระยะเวลา 3 ชม
HMT120-5	=	แป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120 ⁰ ซ ระยะเวลา 5 ชม
UV25-3	=	แป้งปรับความชื้นเป็น 25% แล้วฉายรังสียูวีระยะเวลา 3 ชม
UV25-5	=	แป้งปรับความชื้นเป็น 25% แล้วฉายรังสียูวีระยะเวลา 5 ชม
UV25-7	=	แป้งปรับความชื้นเป็น 25% แล้วฉายรังสียูวีระยะเวลา 7 ชม
UV25-9	=	แป้งปรับความชื้นเป็น 25% แล้วฉายรังสียูวีระยะเวลา 9 ชม
UV45-3	=	แป้งปรับความชื้นเป็น 45% แล้วฉายรังสียูวีระยะเวลา 3 ชม
UV45-5	=	แป้งปรับความชื้นเป็น 45% แล้วฉายรังสียูวีระยะเวลา 5 ชม
UV45-7	=	แป้งปรับความชื้นเป็น 45% แล้วฉายรังสียูวีระยะเวลา 7 ชม
UV45-9	=	แป้งปรับความชื้นเป็น 45% แล้วฉายรังสียูวีระยะเวลา 9 ชม
ก	=	ก
ก/ก	=	ก ต่อ ก
จุล/ก	=	จุลต่อ ก
ชม	=	ชั่วโมง
ซม	=	เซนติเมตร
⁰ ซ	=	องศาเซลเซียส

การดัดแปรแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กพร้อม บริโภคในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทชนิดอ่อนตัวพาสเจอไรซ์

Modification of Chai Nat 1 Rice Flour for Improvement of Ready-To-Eat Pasteurized Pouch Noodle Products

คำนำ

ก๋วยเตี๋ยว เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจากข้าวที่ผลิตเป็นจำนวนมาก และใช้เป็นอาหารหลัก วัตถุดิบที่ใช้มักจะเป็นข้าวหักแอมิโลสสูง นำมาโม่แบบเปียก หนึ่งให้ความร้อนแก่น้ำแป้ง แล้วจึงตัด เป็นเส้น ผู้บริโภคชอบเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีลักษณะเส้นขาว เหนียวพอเหมาะในการเคี้ยว เนื้อเรียบเนียน เส้นไม่ขาดง่าย ซึ่งลักษณะเหล่านี้เกิดจากสมบัติของสตาร์ชที่มีอยู่มากกว่าสารอาหารอื่นในแป้งข้าว

ปัจจุบันตลาดผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวมียุทธศาสตร์แนวโน้มการเติบโตสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์ที่นิยม ผลิตเพื่อส่งออกต่างประเทศจะเป็นก๋วยเตี๋ยว หรือ เส้นหมี่อบแห้ง เนื่องจากมีอายุการเก็บรักษานาน กว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวสดมาก (วิภา, 2541) นอกจากนี้การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูป และ อาหารสำเร็จรูป ซึ่งผู้บริโภคมีความสะดวกในการเปิดรับประทาน และมีอายุการเก็บรักษานาน ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก มีมูลค่าการส่งออกต่างประเทศสูงถึง 11,885.8 ล้านบาท และมีอัตราการ ขยายตัวของตลาด 54.8 % โดยมียอดสูงกว่าการแปรรูปเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวเพียงอย่างเดียว ซึ่งมี มูลค่าการส่งออกเพียง 986.5 ล้านบาท และมีอัตราการขยายตัว -1.9 % (กระทรวงพาณิชย์, 2548)

อย่างไรก็ตาม การผลิตก๋วยเตี๋ยวพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทชนิดอ่อนตัว โดยให้ ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น แต่ก็ส่งผลต่อ เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่นิ่มกว่าเดิม และไม่เหมือนก๋วยเตี๋ยวเส้นสด (อรพรรณ, 2547) ซึ่งอาจ ส่งผลต่อการยอมรับจากผู้บริโภค การปรับปรุงเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์อาหารเส้นมีหลายวิธี วิธีหนึ่ง ที่ได้รับความนิยมคือ การเติม/แทนที่ สตาร์ชดัดแปร ประเภทของสตาร์ชดัดแปรนั้นมีหลากหลายมาก แต่ละประเภทก็มีสมบัติแตกต่างกันออกไป การดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น (พิณทิพย์, 2547) และการดัดแปรด้วยรังสีแกมมา (Vatanasuchart, 2004) เป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะ เป็นการดัดแปรด้วยวิธีทางฟิสิกส์ และรังสี ตามลำดับ ซึ่งไม่มีการใช้สารเคมีอื่นใดในการดัดแปร จึง ปลอดภัยต่อการนำไปใช้ในอาหาร สามารถสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคได้

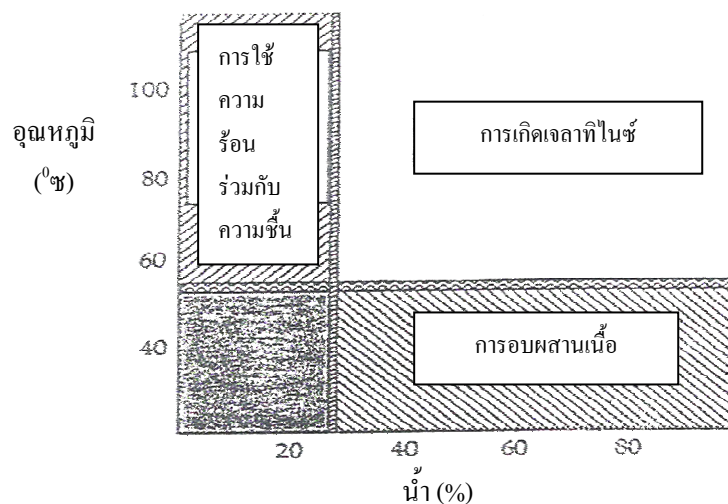
วัตถุประสงค์

1. คัดแปรสตาร์ชในแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และรังสียูวี
2. ตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งข้าวเจ้าปกติ และแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และรังสียูวี
3. เปรียบเทียบผลของการแทนที่แป้งข้าวชัยนาท 1 ด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชโดยใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น และการใช้รังสียูวี ที่มีต่อเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทชนิดอ่อนตัว
4. ทดสอบทางประสาทสัมผัส และความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์ ของผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทชนิดอ่อนตัว

การตรวจเอกสาร

1. การดัดแปรสสารด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น (Heat-moisture treatment)

การเกิดเจลลิตินในเซชันของสสารต้องอาศัยปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย คือ ความร้อน และน้ำ ซึ่งจะส่งผลต่อพันธะเคมีภายในเม็ดสสาร การเกิดเจลลิตินในเซชันจะทำให้เม็ดสสารพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ของสสารในระบบนั้นๆ เช่น การเกิดความชื้นหนืด (อรอนงค์, 2547) ทั้งนี้ หากไม่ต้องการให้สสารเกิดเจลลิตินในเซชัน จากปัจจัยดังกล่าวสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น และการอบผานเนื้อ ซึ่งแตกต่างกันที่ปริมาณน้ำ/ความชื้น และอุณหภูมิ กล่าวคือ หากสสารมีปริมาณน้ำ/ความชื้น ต่ำกว่าปริมาณน้ำ/ความชื้นที่ทำให้เกิดเจลลิติน แต่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลิติน จะเรียกว่าการใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น ในทางตรงกันข้าม หากสสารมีปริมาณน้ำ/ความชื้น สูงกว่าปริมาณน้ำ/ความชื้นที่ทำให้เกิดเจลลิติน แต่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลลิติน เรียกว่าการอบผานเนื้อ (annealing) ดังแสดงในภาพที่ 1 (Eliasson and Gudmundsson, 1996)



ภาพที่ 1 สภาวะการดัดแปรสสารด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

ที่มา: Eliasson and Gudmundsson (1996)

ด้วยเหตุนี้ จึงมีการใช้อุณหภูมิ/ความร้อน และน้ำ/ความชื้น ในการดัดแปรสสารทางฟิสิกส์ Eliasson and Gudmundsson (1996) ให้ความหมายของการดัดแปรสสารด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นไว้ว่า เป็นการดัดแปรสสารในสภาวะที่สสารมีปริมาณน้ำต่ำกว่า/ไม่เพียงพอต่อการเกิดเจลาตินส์ แต่อุณหภูมิที่ใช้ต้องสูงกว่า/เพียงพอต่อการเกิดเจลาตินส์ Jacobs and Delcour (1998) ได้ให้นิยามในการดัดแปรด้วยวิธีนี้เพิ่มเติมว่า เป็นการดัดแปรสสารทางฟิสิกส์โดยบ่มสสารที่ความชื้นต่ำ ซึ่งควรต่ำกว่า 35% โดยน้ำหนัก ระยะเวลาหนึ่ง พร้อมกับให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ (glass transition temperature) แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาตินส์ (gelatinization temperature) ของสสารที่สภาวะนั้นๆ ปกติแล้วเป็นการให้ความร้อนสสารมากกว่า 100°C โดยที่สสารมีความชื้นมากกว่าปกติเล็กน้อย คือประมาณ 18-27 % และเวลานาน ซึ่งเวลาจะแปรผันกับอุณหภูมิ และปริมาณน้ำที่ใช้ในการดัดแปร สภาวะที่ใช้ในการดัดแปรสสารด้วยวิธีนี้มีหลายสภาวะดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สภาวะที่ใช้ในการคัดแปรแปง/สตา์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นในภาชนะปิด

แหล่ง	อุณหภูมิ (⁰ ซ)	เวลา	ความชื้น (%)	เอกสารอ้างอิง
แป้งข้าว	105 และ 120	0.5 และ 1 ชม	20 และ 25	พิณทิพย์ (2547)
สตา์ชข้าว	120	0.5 และ 3 ชม	25	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Fukui and Nikuni(1969)
สตา์ชข้าว	100 และ 121	10 และ 20 นาที	-	Lu <i>et al.</i> (1996)
สตา์ชข้าว	136 และ 140	0.5 และ 1 ชม	20	Anderson <i>et al.</i> (2002)
แป้งข้าว	120	1 ชม	20.6	Takahashi <i>et al.</i> (2005)
สตา์ชข้าวโพด	95-110	16 ชม	18-27	Sair (1967)
	120	0.5 และ 3 ชม	25	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Fukui and Nikuni(1969)
	125	5 และ 20 นาที	14	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Kawabata <i>et al.</i> (1994)
	100	4 ชม	25	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Schierbaum and Kettlitz (1994)
	100	16 ชม	30	Hoover and Manuel (1996)
	120 และ 130	20 นาที	-	Takaya <i>et al.</i> (2000)
	120	1 ชม	25-30	Lim <i>et al.</i> (2001)
	121	1 นาที	-	Liu <i>et al.</i> (2000)
	125	20 นาที	-	Miyoshi (2001)
	110	30 นาที	-	Miyoshi (2001)
สตา์ชข้าวฟ่าง	100	16 ชม	20-30	Adebowale <i>et al.</i> (2005)
สตา์ชข้าวไรย์	100	4 ชม	22-25	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Radosta <i>et al.</i> (1992); Schierbaum and Kettlitz (1994)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

แหล่ง	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา	ความชื้น (%)	เอกสารอ้างอิง
สตาร์ชข้าวสาลี	120	0.5 และ 3 ชม	25	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Fukui and Nikuni(1969)
	100	16 ชม	18-27	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Lorenz and Kulp (1981); Kulp and Lorenz (1981); Donovan <i>et al.</i> (1983)
	100	16 ชม	10-30	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Hoover and Vasanthan (1994); Hoover <i>et al.</i> (1994)
	100	4 ชม	25	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Schierbaum and Kettlitz (1994)
สตาร์ชข้าวบาร์เลย์	100	16 ชม	18-27	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Lorenz and Kulp (1982)
สตาร์ชทริคิเลีย	100	16 ชม	18-27	
สตาร์ชท้าวายม่อม	100	16 ชม	18-27	
สตาร์ชถั่ว	100	16 ชม	30	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Hoover <i>et al.</i> (1993)
	100	16 ชม	30	Hoover and Manuel (1996)
	100	16 ชม	18-27	Adebowale and Lawal (2003)
สตาร์ชถั่วแขก และข้าวโอต	100	16 ชม	10-30	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Hoover and Vasanthan (1994); Hoover <i>et al.</i> (1994)
สตาร์ชมัน สำปะหลัง	100	16 ชม	18-27	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Lorenz and Kulp (1982)
	110	3-16 ชม	18-24	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Abraham (1993)
	100	10 ชม	30	Gunaratne and Hoover (2002)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

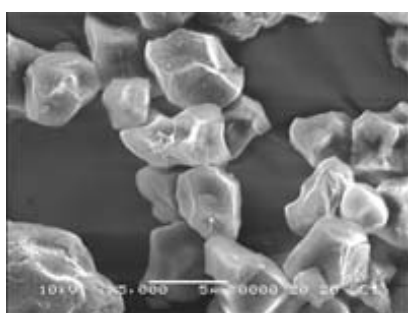
แหล่ง	อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา	ความชื้น (%)	เอกสารอ้างอิง
สตาร์ชมันฝรั่ง	95-110	2-16 ชม	18-27	Sair (1967)
	100	16 ชม	18-27	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Lorenz and Kulp (1981); Kulp and Lorenz (1981); Donovan <i>et al.</i> (1983)
	80-120	0.25-1 ชม	5-27	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Kuge and Kitamura (1985)
	110 และ 120	140 และ 240 นาที	20	Stute (1992)
	100	16 ชม	10-30	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Hoover and Vasanthan (1994); Hoover <i>et al.</i> (1994)
	110	0.5 ชม	16.5	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Kawabata <i>et al.</i> (1994)
	84-105	16 ชม	20-35	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Earlingen <i>et al.</i> (1996, 1997)
	100	16 ชม	30	Perera <i>et al.</i> (1997)
	100	16 ชม	30	Perera and Hoover (1999)
	125	20 นาที	-	Miyoshi (2001)
	110	30 นาที	-	Miyoshi (2001)
	120	1 ชม	20-25	Lim <i>et al.</i> (2001)
	100	10 ชม	30	Gunaratne and Hoover (2002)
สตาร์ชมันเทศ	100	16 ชม	10-30	Jacobs and Delcour (1998) อ้างถึง Hoover and Vasanthan (1994)
	110	3 ชม	27-30	Collada <i>et al.</i> (2001)
	100	10 ชม	30	Gunaratne and Hoover (2002)
สตาร์ชเผือก	100	10 ชม	30	Gunaratne and Hoover (2002)

หมายเหตุ – คือ ไม่ได้กล่าวถึง

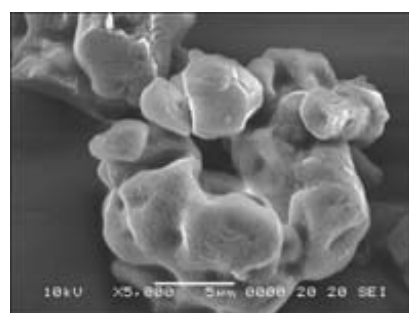
การดัดแปรสสารด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ทำให้สสารเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ดังนี้

1.1 รูปร่างลักษณะของสสาร

รูปร่าง และลักษณะของสสารที่ดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นบางงานวิจัยพบการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างเม็ดสสารเล็กน้อยเมื่อผ่านการดัดแปรด้วยวิธีนี้ เช่น งานวิจัยของพิณทิพย์ (2547) ดัดแปรสสารในแป้งข้าวเจ้า และข้าวเหนียว โดยปรับความชื้นแป้งข้าวเป็น 20 และ 25 % ใช้หม้อหุงข้าวห่อคลุมอุณหภูมิในการดัดแปรเป็น 105 และ 120⁰ซ นาน 30 และ 60 นาที สสารดัดแปรด้วยวิธีนี้ เม็ดสสารเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนมากกว่าสสารปกติ บางส่วนหลอมเชื่อมติดกันระหว่างเม็ดสสารที่บริเวณผิวหน้า แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างบางส่วนอาจเกิดการเจลาทิไนซ์ได้ในระหว่างการดัดแปร (ภาพที่ 2)



ก

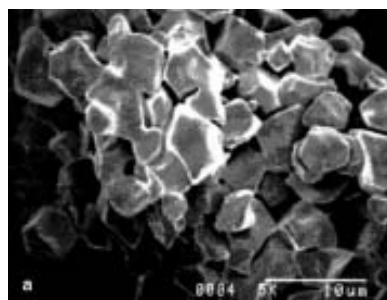


ข

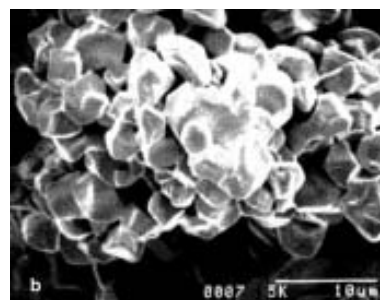
ภาพที่ 2 แป้งข้าวพันธุ์ปทุมธานี 60 (ก) และแป้งดัดแปรสสารที่ระดับความชื้น 25% อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 60 นาที (ข)

ที่มา: พินทิพย์ (2547)

การดัดแปรสสารข้าวเจ้า และข้าวเหนียวด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น โดยปรับระดับความชื้นสสารเป็น 20% แล้วดัดแปรด้วยไมโครเวฟ (Anderson and Guraya, 2006) ที่ melting temperature (T_m) เป็นระยะเวลา 60 นาที ลักษณะของเม็ดสสารยังคงเหมือนเดิม แต่เม็ดสสารดัดแปรเกาะกลุ่มกันมากกว่าเดิมเล็กน้อย (ภาพที่ 3)



ก

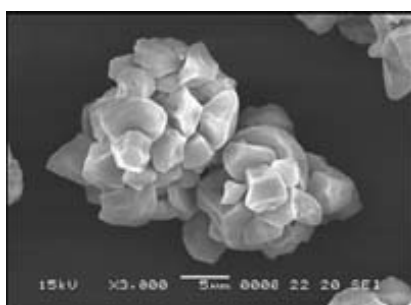


ข

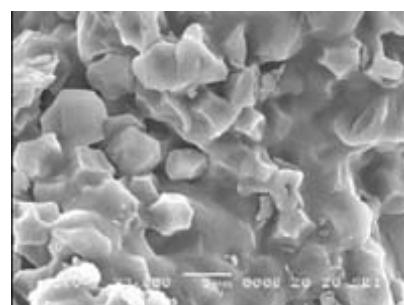
ภาพที่ 3 สตาร์ชข้าวเหนียว (ก) และสตาร์ชข้าวเหนียวดัดแปรด้วยคลิ่นไมโครเวฟ

ที่มา: Anderson and Guraya (2006)

การเกาะกลุ่มของเม็ดสตาร์ชหลังการดัดแปรโดยใช้คลิ่นไมโครเวฟ พบในงานวิจัยของ พัลลภ (2549) เช่นกัน เม็ดสตาร์ชข้าวเหนียวภายหลังการดัดแปร ที่ปรับระดับความชื้นแห้งเป็น 25-35% ดัดแปรด้วยคลิ่นไมโครเวฟนาน 5-9 นาที เกิดการเกาะกลุ่มกันมากขึ้น และเม็ดสตาร์ชบางส่วนหลอมติดกัน (ภาพที่ 4)



ก



ข

ภาพที่ 4 สตาร์ชข้าวเหนียว (ก) และสตาร์ชข้าวเหนียวความชื้น 35% ดัดแปรด้วยคลิ่นไมโครเวฟ

นาน 9 นาที

ที่มา: พัลลภ (2549)

ส่วนการดัดแปรสตาร์ชชนิดอื่นนอกเหนือจากข้าว รูปร่าง และลักษณะของสตาร์ชหลังดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นส่วนใหญ่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงจากสตาร์ชปกติที่เป็นตัวอย่างควบคุม เช่น การดัดแปรสตาร์ชถั่วพินธุ์มูนา (mucuna bean starch) ที่สภาวะความชื้น 18,

21, 24 และ 27 % ใช้อุณหภูมิ 100°C 16 ชม เมื่อคุณลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชตัดแปร เปรียบเทียบกับเม็ดสตาร์ชปกติ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน (light microscope) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงใดๆ เม็ดสตาร์ชถั่วคั่วแปรยังคงมีลักษณะกลมรี มีหลายขนาด เหมือนกับเม็ดสตาร์ชปกติ (Adebowale and Lawal, 2003) (ภาพที่ 5) และพบเช่นเดียวกันในเม็ดสตาร์ชตัดแปรจากสตาร์ชมันฝรั่ง (potato starch) (Perera *et al.*, 1997) ข้าวโพด (maize starch) (Liu *et al.*, 2000) และเมล็ดพืชวงศ์ข้าวฟ่าง (finger millet starch) (Adebowale *et al.*, 2005) ที่ตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) (ภาพที่ 6)



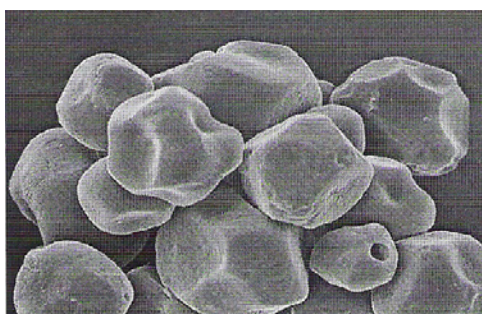
ก



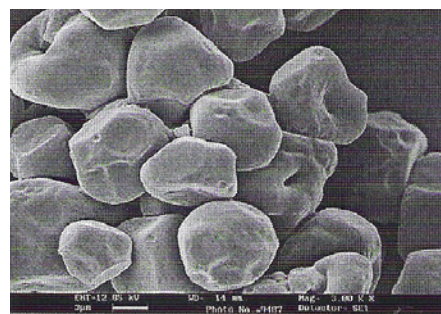
ข

ภาพที่ 5 สตาร์ชถั่วปกติ (ก) และสตาร์ชถั่วคั่วแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น (ข)

ที่มา: Adebowale and Lawal (2003)



ก



ข

ภาพที่ 6 สตาร์ชข้าวฟ่างปกติ (ก) และตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น (ข)

ที่มา: Adebowale *et al.* (2005)

1.2 สี

ค่าสีของแป้งข้าวแอมิโลสต่ำ ปานกลาง และสูง คัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีค่า L (ความสว่าง) ลดลง ค่า b (ความเป็นสีเหลือง (+) หรือสีน้ำเงิน (-)) เพิ่มขึ้น (พิณทิพย์, 2547; Takahashi *et al.*, 2005) ส่งผลให้ค่าดัชนีความขาวลดลง (พิณทิพย์, 2547) ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ (maillard reaction) จากการใช้ความร้อนในการคัดแปร จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกลูโคส และโปรตีนในแป้ง เกิดเป็นสารสีน้ำตาลขึ้น

1.3 ผลต่อการพองตัว และการละลาย

เมื่อให้อุณหภูมิกับน้ำแป้ง เม็ดสตาร์ชในน้ำแป้งจะดูดซึมน้ำได้ปริมาณหนึ่ง และเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ แต่หากอุณหภูมิที่ให้สูงกว่าอุณหภูมิเจลลิตีไนซ์ ทำให้พันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดสตาร์ชบางส่วนถูกทำลาย และคลายตัวลง น้ำสามารถซึมผ่านเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระได้ ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชดูดน้ำ และพองตัวมากขึ้น ดังนั้นกำลังการพองตัว และการละลาย จึงบ่งบอกถึงความแข็งแรงของเม็ดสตาร์ช หากเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงมาก โดยโมเลกุลของแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน ยึดเกาะกันแข็งแรง ฉะนั้น การที่โมเลกุลน้ำจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลสตาร์ชจึงเกิดได้ยาก (อรอนงค์, 2547)

แป้งข้าวหลังการคัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีการพองตัวที่อุณหภูมิต่ำ (30-50⁰ซ) มากกว่าแป้งปกติ แต่มีกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิสูง (80-90⁰ซ) น้อยกว่าแป้งปกติ ดังเช่นงานวิจัยของ Lai (2001) คัดแปรข้าวขัดขาวพันธุ์ TCSW1, TCS10 และ TCS17 ซึ่งมีแอมิโลสต่ำ (1.20%) ปานกลาง (17.9%) และสูง (28.8%) ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 95⁰ซ นาน 20-60 นาที ข้าวหลังคัดแปรมีดัชนีการดูดซึมน้ำ (water absorption index) และกำลังการพองตัว ณ อุณหภูมิ 30⁰ซ เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของพิณทิพย์ (2547) ที่คัดแปรแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 แป้งข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และแป้งข้าวพันธุ์ปทุมธานี 60 ซึ่งมีแอมิโลส 3.88, 15.70 และ 30.55% ตามลำดับ แป้งข้าวปรับความชื้น 20-25% คัดแปรด้วยหม้อนึ่งความดัน (autoclave) อุณหภูมิ 105 และ 120⁰ซ นาน 30 และ 60 นาที แฟกเตอร์การพองตัวที่อุณหภูมิต่ำ 50⁰ซ ของแป้งคัดแปรสตาร์ช มีค่ามากกว่าหรือใกล้เคียงกับแป้งที่ไม่คัดแปร แต่ที่อุณหภูมิสูง แป้งข้าวพันธุ์ กข 6 (ที่ 70-90⁰ซ) พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ที่ 90⁰ซ) และพันธุ์ปทุมธานี 60 (ที่ 80⁰ซ) มีแฟกเตอร์การพองตัวต่ำกว่าแป้งปกติ ส่วนการคัดแปรแป้งข้าวเหนียวความชื้น 30% ด้วยคลื่นไมโครเวฟนาน 30-50 นาที แป้งข้าวเหนียวคัดแปรมีกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 55-85⁰ซ น้อยกว่าแป้งข้าวเหนียวปกติ (พัลลภ และอรอนงค์, 2548)

ส่วนการละลายของข้าวพันธุ์ TCSW1 ซึ่งมีแอมิโลสต่ำ มีค่าเพิ่มขึ้นจากปกติ 9.84% เป็น 11.55-15.57% แต่ข้าวพันธุ์ TCS17 ซึ่งมีแอมิโลสสูง หลังการตัดแปรมีการละลายน้อยลง จากเดิม 3.15% เป็น 1.98-2.13% จึงคาดว่า การเรียงตัวกันใหม่ (reassociation) ของแอมิโลสหลังการตัดแปร น่าจะเป็นสาเหตุหลักที่เปลี่ยนสมบัติการเกิดอันตรกิริยากับน้ำ (hydration property) ของข้าวเจ้า (Lai, 2001)

ในพืชชนิดอื่นนอกเหนือจากข้าว เช่น สตาร์ชจาก breadfruit หรือ *Artocarpus artilis* ที่ปรับความชื้นเป็น 18% ตัดแปรที่อุณหภูมิ 100⁰ซ 16 ชม มีกำลังการพองตัวคล้ายกับแป้งข้าวตัดแปร สตาร์ช กล่าวคือ ที่อุณหภูมิต่ำ (50-60⁰ซ) มีกำลังการพองตัวมากกว่าสตาร์ชปกติ แต่ที่อุณหภูมิสูง (70-80⁰ซ) มีกำลังการพองตัวน้อยกว่าสตาร์ชปกติ (Adebowale *et al.*, 2005b) อย่างไรก็ตาม สตาร์ชชนิดอื่น เช่นสตาร์ชข้าวฟ่าง (finger millet starch) ที่ปรับความชื้นเป็น 20-30% (Adebowale *et al.*, 2005a) สตาร์ชพืชตระกูลถั่วที่ปรับความชื้นเป็น 18-30% (Hoover and Manuel, 1997; Adebowale and Lawal, 2003) และสตาร์ชมันเทศ (cocoyam starch) ที่ปรับความชื้นเป็น 18-27% (Lawal, 2005) ตัดแปรที่อุณหภูมิ 100⁰ซ 16 ชม และสตาร์ชจากพืชหัวที่ปรับความชื้นเป็น 30% ตัดแปรที่อุณหภูมิ 100⁰ซ 10 ชม (Gunaratne and Hoover, 2002) ส่วนใหญ่มีกำลังการพองตัว หรือแฟกเตอร์การพองตัวในช่วงอุณหภูมิ 60-95⁰ซ น้อยกว่าสตาร์ชปกติ ส่วนค่าการละลายของสตาร์ชตัดแปร หรือปริมาณแอมิโลสที่หลุดออกมาในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว มีค่าน้อยลงกว่าสตาร์ชปกติ (Hoover and Manuel, 1997; Gunaratne and Hoover, 2002; Adebowale and Lawal, 2003; Adebowale *et al.*, 2005a; Adebowale *et al.*, 2005b) ยกเว้นสตาร์ชข้าวฟ่างตัดแปรที่มีการละลายสูงกว่าสตาร์ชปกติไม่ตัดแปร (Adebowale *et al.*, 2005) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังการตัดแปรนี้ มีสาเหตุมาจากการคลายเกลียวคู่ของโมเลกุลสตาร์ช แล้วเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ ยึดเกาะกันได้มากขึ้น ทำให้สตาร์ชจับกับน้ำได้ยากขึ้น เกิดการจับกันของแอมิโลสกับแอมิโลส และ/หรือ แอมิโลสกับแอมิโลเพกทิน และ/หรือแอมิโลสกับไขมัน ทำให้การซึมผ่านของน้ำเข้าไปเกิดอันตรกิริยากับสตาร์ชเกิดได้ยาก กำลังการพองตัวจึงลดลง (Perera *et al.*, 1997; Adebowale and Lawal, 2000; Gunaratne and Hoover, 2002; Adebowale *et al.*, 2005a) และสาเหตุดังกล่าวนี้เอง ที่ส่งผลให้การละลายของสตาร์ชตัดแปรด้วยวิธีนี้มีค่าต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชปกติ ยกเว้นจากผลการวิจัยในสตาร์ชข้าวฟ่างตัดแปรที่มีร้อยละการละลายสูงขึ้น (Adebowale *et al.*, 2005a)

1.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืด

การเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าว/แป้งข้าว/สตาร์ชข้าว คัดแปรด้วยความร้อน ร่วมกับความร้อนเปรียบเทียบกับข้าว/แป้งข้าว/สตาร์ชข้าวปกติ เมื่อวิเคราะห์จากเครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyser; RVA) หรือเครื่องบราเบนเดอร์ (Brabender visco amylograph) แป้งข้าวแอมิโลสต่ำ ปานกลาง และสูง หลังคัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความร้อน มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และความหนืดลดลง (breakdown) น้อยกว่าแป้งข้าวปกติ (พัลลภ และอรอนงค์, 2548; Anderson *et al.*, 2002; Lai, 2002; Takahashi *et al.*, 2005) แต่มีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) สูงกว่าแป้งข้าวปกติ (พัลลภ และอรอนงค์, 2548; Lai, 2002; Takahashi *et al.*, 2005) และปรากฏผลเช่นเดียวกันในการคัดแปรสตาร์ชจากแหล่งอื่น เช่น สตาร์ชข้าวฟ่าง (Adebowale *et al.*, 2005a) สตาร์ชมันเทศ (Lawal, 2005) และ breadfruit starch (Adebowale *et al.*, 2005b) เป็นต้น

นอกจากนี้ แป้งจากข้าว Japonica คัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความร้อน โดยใช้ตัวอบลมร้อน และหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ ทำให้ค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด และความหนืดสูงสุดมากขึ้น ค่าความหนืดลดลงน้อยลงจากแป้งปกติ ในทุกช่วงความเป็นกรด-เบส ตั้งแต่ 2.8 ถึง 6.3 แสดงถึงความคงทนต่อความเป็นกรด ความร้อน และแรงเฉือนของแป้งคัดแปรสตาร์ช ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอาหารที่มีความเป็นกรดได้ (Takahashi *et al.*, 2005)

1.5 ความเป็นผลึกสัมพัทธ์

แป้งข้าวปกติมีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบเอ (A type) ซึ่งเป็นแบบที่พบมากในสตาร์ชจากธัญชาติ โดยจะพบฟลักหลักจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ (x-ray diffractometer) ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 15 องศา 1 ฟลัก ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 17-18 องศา จำนวน 2 ฟลัก เชื่อมต่อกัน และตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 23 องศา จำนวน 1 ฟลัก แป้งข้าวเหนียวซึ่งมีแอมิโลสต่ำ (แอมิโลเพกทินสูง) มีความเป็นผลึกสัมพัทธ์มากกว่าแป้งข้าวเจ้าซึ่งมีแอมิโลสสูงกว่า (แอมิโลเพกทินต่ำ) เนื่องจากโมเลกุลของแอมิโลเพกทินที่สามารถเกิดเป็นเกลียวคู่เป็นส่วนที่ทำให้เกิดโครงสร้างผลึกของสตาร์ช (พิณทิพย์, 2547) การคัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความร้อนด้วยหม้อนึ่งความดัน และด้วยไมโครเวฟ ทำให้แป้งข้าวคัดแปรสตาร์ชยังคงมีโครงสร้างผลึกแบบเอเหมือนเดิม แต่มีปริมาณผลึกสัมพัทธ์ลดลง (พิณทิพย์, 2547; พัลลภ, 2549) ในแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีแอมิโลสปานกลาง และแป้งข้าวปทุมธานี 60 ซึ่งมีแอมิโลสสูง หลังจากผ่านการคัดแปร

แล้วปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 13 และ 20 องศาชัดเจนขึ้น แสดงถึงมีโครงสร้างผลึกแบบวี (V-type) เกิดขึ้น บ่งชี้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับลิพิด (amylose lipid complex) (พิณทิพย์, 2547)

ส่วนการตัดแปรรสด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่ทดลองในสตาร์ชจากพืชชนิดอื่นนอกเหนือจากข้าวปรากฏผลการทดลองแตกต่างกันไป สตาร์ชข้าวโพดซึ่งมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเอหลังจากตัดแปรรสแล้วยังคงมีโครงสร้างผลึกแบบเอเช่นเดิม แต่พบพีคที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 13.1 (Lim *et al.*, 2001) และ 19.5 องศา (Miyoshi, 2002) ชัดเจนขึ้น แสดงถึงการมีโครงสร้างผลึกแบบวี ซึ่งอาจเป็นเพราะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลส หรือเกิดการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลแอมิโลส (Miyoshi, 2002) สตาร์ชมันฝรั่งซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบบี (B-type) หลังจากตัดแปรรสด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น อาจจะยังคงมีโครงสร้างผลึกแบบเดิม แต่พีคที่ 5 องศาหายไป และที่ 22-25 องศา รวมกันเป็นพีคเดียว และมีความเป็นผลึกสัมพัทธ์ลดลง (Lim *et al.*, 2001) หรือมีทั้งโครงสร้างผลึกแบบบีผสมกับแบบเอ ความเป็นผลึกสัมพัทธ์ลดลง (Gunaratne and Hoover, 2002) หรือโครงสร้างผลึกเปลี่ยนเป็นแบบเอ คือมีพีคหลักเกิดขึ้นที่ 15.1, 17.2, 18.1 และ 23.2 องศา (Miyoshi, 2002; Vermeulen *et al.*, 2006) สตาร์ชจากพืชหัวอื่น เช่น มันสำปะหลัง มันเทศ (new cocoyam) เผือก (taro) ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเอ หลังจากตัดแปรรสด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ยังคงมีโครงสร้างผลึกแบบเอเหมือนเดิม แต่ความเป็นผลึกสัมพัทธ์ไม่เปลี่ยนแปลง (Gunaratne and Hoover, 2002; Lawal, 2005) ส่วนพืชหัวประเภทมันเทศบางชนิด (true yam) ที่มีโครงสร้างผลึกแบบบี หลังตัดแปรรส โครงสร้างผลึกเปลี่ยนเป็นแบบบีผสมกับแบบเอ และมีความเป็นผลึกสัมพัทธ์ลดลง (Gunaratne and Hoover, 2002) นอกจากนี้ สตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วหลังจากตัดแปรรสด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ยังคงมีโครงสร้างผลึกแบบเดิม เช่น โครงสร้างผลึกเป็นแบบบีคงเดิม หรือเป็นแบบซิกงเดิม ไม่เปลี่ยนแปลง และมีความเป็นผลึกสัมพัทธ์ลดลง (Hoover and Manual, 1997)

การตัดแปรรสด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ส่วนใหญ่ทำให้สตาร์ชตัดแปรรสมีความเป็นผลึกสัมพัทธ์ลดลง หรือเท่าเดิม การเปลี่ยนแปลงความเป็นผลึกสัมพัทธ์ของสตาร์ชตัดแปรรสนี้ เนื่องจากขนาดผลึก (crystallite size) การเรียงตัวของเกลียวคู่ (double helice) ของสตาร์ชในส่วนโครงสร้างผลึก (crystallite) ความยาวของสายแอมิโลเพกทิน (average chain length of amylopectin) และเปอร์เซ็นต์ของแอมิโลสสายสั้น (DP 10-13) ที่เปลี่ยนไปจากเดิม (Hoover and Manual, 1997; Gunaratne and Hoover, 2002) นอกจากนี้ การเปลี่ยนชนิดโครงสร้างผลึกจากแบบบีเป็นแบบเอของสตาร์ชตัดแปรรสด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น น่าจะเป็นเพราะการระเหยของน้ำที่

เกิดอันตรกิริยากับสสาร (dehydration) ในตอนกลางของโครงสร้างผลึกแบบบี (B unit cell) และการเคลื่อนที่ของเกลียวคู่ ทำให้สสารจัดแปรมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเอมากขึ้น (Gunaratne and Hoover, 2002) อย่างไรก็ตาม ในการทดลองดัดแปรสสารไขมันฝรั่ง โดยใช้อุณหภูมิสูงกว่า 120°C จะทำให้มีความเป็นผลึกมากขึ้น และมีโมเลกุลสสารแตกหักเพิ่มขึ้นด้วย จึงคาดว่า การใช้ความร้อนในการดัดแปรที่สูงเกินไปจะไปทำลายพันธะโควาเลนต์ (covalent linkage) จนทำให้แอมิโลเพกทินเกิดการคลายเกลียวคู่เป็นจำนวนมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่มาเรียงตัวกันเป็นผลึกรูปแบบใหม่ที่ใหญ่ และ/หรือสมบูรณ์กว่าเดิม (Vermeulen *et al.*, 2006)

1.6 อุณหภูมิ และเอนทัลปีของการเกิดเจลลิติน

การดัดแปรสสารด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นทำให้อุณหภูมิการเกิดเจลลิตินสูงขึ้น แต่เอนทัลปีของการเกิดเจลลิตินลดลงจากเดิม ดังเช่นการดัดแปรสสารในแป้งข้าวแอมิโลสต่ำ ปานกลาง และสูง ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ให้ผลการวิเคราะห์ห่อหุ้มการเกิดเจลลิตินสูงขึ้น เอนทัลปีของการเกิดเจลลิตินลดลง และความกว้างพีคมากขึ้น (พิณทิพย์, 2547; พัลลภ, 2549; Lai, 2001; Takahashi *et al.*, 2005) ระดับการเกิดเจลลิตินของข้าวเหนียวดัดแปรสสาร (แอมิโลสน้อย) มากกว่าข้าวเจ้าดัดแปรสสาร (แอมิโลสมาก) ด้วยวิธีเดียวกัน อาจเป็นเพราะการดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นทำให้เกิดการแตกตัว หรือกระจายตัวที่โมเลกุลแอมิโลสเป็นหลัก และเกิดการเรียงตัวใหม่ของผลึก (recrystallization) ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น (Lai, 2001) นอกจากนี้ การดัดแปรสสารในข้าวด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ยังพบพิคที่บ่งบอกถึงการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับลิปิด ที่อุณหภูมิสูงกว่าที่พบในตัวอย่างที่ไม่ผ่านการดัดแปร จึงสันนิษฐานว่า การดัดแปรวิธีนี้อาจทำให้เกิดการเรียงตัวกันใหม่ของสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับลิปิด (Takahashi *et al.*, 2005)

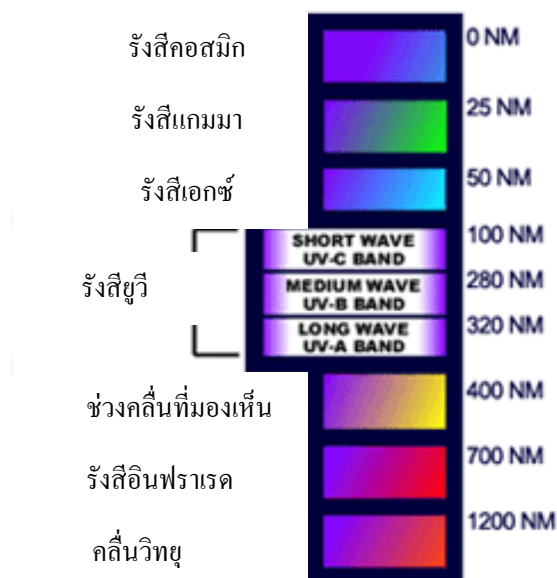
การดัดแปรสสารด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นในตัวอย่างชนิดอื่นพบการเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่เหมือนกับที่พบในข้าว เช่น การดัดแปรสสารข้าวฟ่าง ข้าวโพด มันฝรั่ง ถั่วบางชนิด มันเทศ และเผือก สสารจัดแปรมีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตินสูงขึ้น และเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตินน้อยลง (Takaya *et al.*, 2000; Lim *et al.*, 2001; Gunaratne and Hoover, 2002; Miyoshi, 2002; Adebawale and Lawal, 2003; Adebawale *et al.*, 2005; Vermeulen *et al.*, 2006) แต่บางครั้งเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตินของสสารจัดแปรมีค่าสูงขึ้น หรือเท่ากับสสารปกติ (Hoover and Manual, 1997; Kweon *et al.*, 2000; Lawal, 2005) การดัดแปรสสารด้วยวิธีนี้ ทำให้สสารบางส่วนเกิดการหลอมผลึกที่ไม่สมบูรณ์ (Lim *et al.*, 2001) หรือคลายเกลียวคู่ (Vermeulen

et al., 2006) ค่าพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลาทีไนซ์จึงน้อยลง นอกจากนี้ การดัดแปรนี้อาจทำให้เกิดการจับกันระหว่างเอมิโลสกับเอมิโลส และ/หรือเอมิโลสกับเอมิโลเพกทิน และ/หรือเอมิโลสกับลิปิด (Miyoshi, 2002; Adebawale and Lawal, 2003; Vermeylen *et al.*, 2006) จึงลดการเคลื่อนตัวของส่วนอสัณฐาน (amorphous region) ในระหว่างการพองตัวของเจลาทีไนซ์ ทำให้ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นเพื่อให้สตาร์ชเกิดเจลาทีไนซ์ขึ้น ดังนั้นจึงวิเคราะห์อุณหภูมิการเกิดเจลาทีไนซ์ได้สูงกว่าสตาร์ชที่ไม่ผ่านการดัดแปร (Lim *et al.*, 2001; Adebawale and Lawal, 2003; Vermeylen *et al.*, 2006)

การดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของอาหารหลายชนิด เช่น เป็นสารดูดซับน้ำ สารทำให้เกิดเจล สารให้ความข้นหนืด และสารทดแทนไขมัน ในอาหารที่มีสตาร์ชเป็นส่วนประกอบ (Miyoshi, 2002) นอกจากนี้ ยังใช้ผสมกับแป้งเพื่อทำเส้นหมี่ชนิดที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน Collado *et al.* (2001) ทำเส้นหมี่จากสตาร์ชมันฝรั่งดัดแปรด้วยความร้อนชื้น ผสมกับแป้งข้าวโพด การดัดแปรสตาร์ชทำได้โดยการปรับความชื้นเป็น 27-30 % บ่มให้สมดุลที่อุณหภูมิ 4-5⁰ซ แช่คืน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110⁰ซ นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำไปอบแห้ง ในการผลิตเส้นหมี่จากสตาร์ชมันฝรั่งดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นข้างต้น และเส้นหมี่ที่ผลิตจากแป้งผสมระหว่างสตาร์ชมันฝรั่งดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ผสมกับแป้งข้าวโพด 50% พบว่า เส้นหมี่อบแห้งที่ผลิตจากสตาร์ชมันฝรั่งดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นดูนุ่มเพิ่มขึ้นมากในระหว่างการคืนรูป และมีเนื้อสัมผัสแน่นแข็งกว่าเส้นหมี่จากแป้งผสม

2. การดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี

รังสียูวี เป็นรังสีในกลุ่มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ซึ่งเป็นพลังงานรูปหนึ่งในลักษณะอนุภาคโฟตอน (photon) รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยคลื่นที่มีความถี่ และความยาวคลื่นระดับต่างๆ ตั้งแต่กระแสไฟฟ้า วิทยุ ไมโครเวฟ อินฟราเรด แสงสว่าง อัลตราไวโอเลต หรือยูวี เอกซ์ และแกมมา (ภาพที่ 7) อนุภาคของคลื่นเหล่านี้มีพลังงานที่แน่นอน และเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสง ประกอบด้วยสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กซึ่งเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน แต่อยู่ในระนาบตั้งฉากซึ่งกันและกัน เนื่องจากรังสีจะเคลื่อนที่เป็นคลื่นแบบต่อเนื่องจากแหล่งกำเนิด ดังนั้น พลังงานที่แผ่ออกมาจึงขึ้นกับความถี่ และความยาวคลื่น ถ้าคลื่นมีความถี่สูง และความยาวคลื่นสั้นก็จะให้พลังงานออกมาสูง (เนตรนภิส, 2546)



ภาพที่ 7 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum)

ที่มา: www.loc.gov/rr/scitech/mysteries/colors.html (2548)

2.1 ประเภทของรังสียูวี

การแบ่งประเภทของรังสียูวีสามารถแบ่งตามระดับความยาวคลื่นได้เป็น 3 ชนิด คือ ชนิดเอ บี และซี ซึ่งพบได้ในบรรยากาศของโลกในปริมาณไม่เท่ากัน รังสียูวีเอมีปริมาณสูงที่สุดถึง 85.7 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีความยาวคลื่นสูงที่สุดในช่วง 315-400 นาโนเมตร ซึ่งใกล้ช่วงคลื่นที่มองเห็น (visible light) (400-700 นาโนเมตร) ทำให้มีพลังงานต่ำเมื่อเทียบกับชนิดอื่น ขณะที่คลื่นรังสียูวีบี มีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพมากที่สุด และทำให้ผิวหนังแดง และไหม้ มีความยาวคลื่นในช่วง 280-315 นาโนเมตร ผ่านมายังบรรยากาศโลกได้ 21.1 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนคลื่นรังสียูวีซีเป็นช่วงคลื่นที่แผ่มาถึงโลกน้อยมาก หรือแทบจะไม่แผ่มาถึงผิวโลกเลย เนื่องจากถูกกรองด้วยชั้นโอโซน และไอน้ำในบรรยากาศ คลื่นรังสียูวีซีมีความยาวคลื่นสั้นที่สุดเมื่อเทียบกับชนิดอื่น คืออยู่ในช่วง 100-280 นาโนเมตร จึงมีพลังงานสูงมาก พลังงานจากคลื่นรังสียูวีดังกล่าวไม่ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการแตกตัว (non-ionizing radiation) แต่ให้พลังงานสูงเพียงพอที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้น จึงมีการนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร เพื่อให้อาหารมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค (เนตรนภิส, 2546)

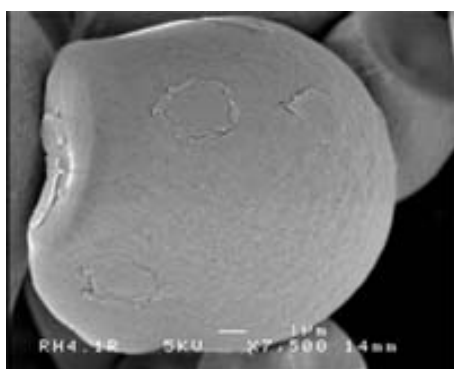
2.2 กลไกของรังสีวิทยต่อการเปลี่ยนแปลงชีวโมเลกุล

คลื่นรังสีวิทยชนิดที่ไม่ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการแตกตัว ให้พลังงานไม่มากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลเป็นองค์ประกอบย่อยที่มีประจุลบ และบวก แต่จะทำปฏิกิริยาโดยการถ่ายเทพลังงานให้กับอะตอม หรือโมเลกุลของสารประกอบโมเลกุลที่ดูดซับพลังงานนี้ไว้ (chromophore) ซึ่งมีผลทำให้โมเลกุลนั้นอยู่ในสถานะที่มีระดับพลังงานสูงขึ้นกว่าปกติ หรือที่ระดับสถานะกระตุ้น (excited state) โดยที่อะตอม หรือโมเลกุลนั้นจะพยายามคายพลังงานส่วนเกินออกมา เพื่อให้มีโอกาสดับคืนสู่สถานะปกติ โดยเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในโมเลกุลได้ 2 ทาง คือ กลไกการเกิดรังสี และไม่เกิดรังสี (radical and non-radical mechanism) ผลจากการได้รับคลื่นรังสีช่วงคลื่นสั้น จะทำให้เกิดความเสียหายกับองค์ประกอบทางเคมีของสาร โมเลกุลใหญ่ และมีผลต่อสารพันธุกรรมของร่างกาย ได้แก่ โปรตีน เอนไซม์ กรดนิวคลีอิก และพอลิแซ็กคาไรด์บางชนิด ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากผลโดยตรงของรังสี หรือผลโดยอ้อมจากอนุมูลอิสระ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อโครงสร้างสาร โมเลกุลใหญ่ 2 ลักษณะ คือ การแตกหักของโมเลกุล (degradation) ทำให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลง มีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายกับโมเลกุลเดิม แต่ความสามารถในการทำหน้าที่เปลี่ยนไป โดยคลื่นรังสีทำลายพันธะเคมี และถ่ายเทพลังงาน ณ จุดนั้นไปตามสายโมเลกุล จนกระทั่งถึงพันธะไฮโดรเจนที่มีการแตกหักง่ายที่สุด Bertolini *et al.* (2001) ตรวจสอบผลของรังสีวิทยที่เกิดขึ้นกับสตาร์ชมันสำปะหลัง โดยใช้รังสีวิทยช่วงคลื่นน้อยกว่า 420 นาโนเมตร ภายใต้อากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ 65 % ทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของแอนไฮโดรกลูโคส จากการสลายพันธะไกลโคซิดิก และอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจับกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้ขนาดของพอลิเมอร์ลดลง (depolymerization) ส่วนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอีกลักษณะหนึ่งคือ การเชื่อมข้ามต่อกันของโมเลกุลสายยาว ซึ่งอาจเกิดภายใน หรือระหว่างโมเลกุล มีรายงานว่าพลังงานจากคลื่นรังสีวิทยสามารถเปลี่ยนแปลงสมบัติของสตาร์ชข้าวโพดให้ความหนืดสูงสุดลดลงได้ เนื่องจากมีผลทำลายโครงสร้างผลึก (crystalline) ที่พันธะไกลโคซิดิกได้สายเอมิโลสที่สั้นลง หรือตัดสายกิ่งของเอมิโลเพกทิน แล้วกระตุ้นให้เกิดเป็นโครงสร้างพันธะเชื่อมข้ามในสถานะที่มีออกซิเจน (Fiedorowicz *et al.*, 1999)

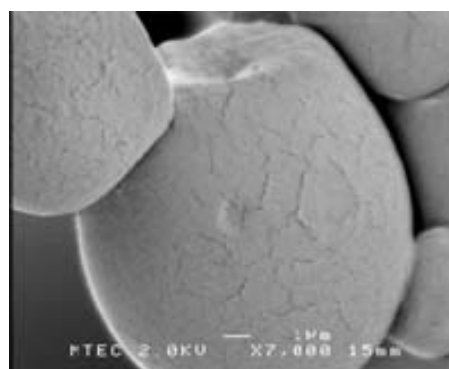
2.3 รังสีวิทยากับการเปลี่ยนแปลงสมบัติสสาร

2.3.1 รูปร่างลักษณะสสาร

Vatanasuchart *et al.* (2003) คัดแปรสสารไขมันสำปะหลังที่ถูกย่อยด้วยกรด แล็กติก 1% กรองแยกกรดออกจนสสารที่มีความชื้นประมาณ 42% ฉายรังสียูวีบี และซี ซึ่งมี ความยาวคลื่น 280-420, 310-330 และ 254 นาโนเมตร ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 7-15 ชม สสาร ไขมันสำปะหลังย่อยด้วยกรด และคัดแปรด้วยรังสียูวี มีรอยแตก และเกิดร่องบริเวณผิวเม็ดสสาร ซึ่ง เห็นรอยแตกชัดเจนที่สุดในตัวอย่างสสารย่อยด้วยกรดที่คัดแปรด้วยรังสียูวีซี (ภาพที่ 8)



ก



ข

ภาพที่ 8 สสารไขมันสำปะหลังย่อยกรดและคัดแปรด้วยรังสียูวีบี ระยะเวลา 9 ชม (ก) และยูวีซี ระยะเวลา 7 ชม (ข)

ที่มา: Vatanasuchart *et al.* (2003)

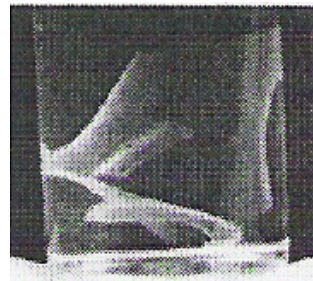
2.3.2 การพองตัว และการละลาย

Delville *et al.* (2002) ได้ทดลองทำฟิล์มจากสสารข้าวสาลีที่เดิม 17% กลีเซอรอล เป็นพลาสติกไซเซอร์ และ 3% โซเดียมเบนโซเอต ขึ้นฟิล์มด้วยวิธีเอกซ์ทรูชันแล้วนำมาคัดแปร โดย ฉายรังสียูวีที่มีความยาวคลื่น 365 นาโนเมตร มีความเข้มแสง 34 และ 100 เมกะวัตต์ต่อ ตร.ซม. แผ่นฟิล์มที่ฉายรังสียูวีมีความใสกว่าแผ่นฟิล์มทั่วไป เมื่อนำแผ่นฟิล์มไปทดสอบการละลายในน้ำ และไดเมทิลซัลฟอกไซด์ หรือดีเอ็มเอสโอ (Dimethylsulfoxide, DMSO) ปรากฏว่าแผ่นฟิล์มที่ฉาย

รังสียูวีมีการละลายต่ำ และพองตัวเล็กน้อย (ภาพที่ 9ข) ส่วนแผ่นฟิล์มที่ไม่ฉายรังสียูวีจะไม่พองตัว แต่จะกระจายตัวในสารละลายได้ดี (ภาพที่ 9ก)



ก



ข

ภาพที่ 9 ฟิล์มจากสตาร์ข้าวสาทิปกติ (ก) และฉายรังสียูวี (ข) แช่น้ำ

ที่มา: Delville *et al.*, 2002

2.3.3 การเปลี่ยนแปลงความหนืด

สตาร์ข้าวโพด (แอมิโลส 25%) ความชื้น 70% คัดแปรด้วยรังสียูวีความยาวคลื่น 250 นาโนเมตร เป็นระยะเวลา 5-25 ชม ภายใต้สภาวะที่มีอากาศ และมีแก๊สไนโตรเจน มีความหนืดสูงสุดน้อยกว่าสตาร์ข้าวโพดไม่คัดแปร สตาร์คัดแปรภายใต้สภาวะที่มีแก๊สไนโตรเจนมีความหนืดสูงสุดลดลงตามระยะเวลาการคัดแปรที่นานขึ้น การคัดแปรภายใต้สภาวะที่มีอากาศเป็นระยะเวลา 5 ชม ทำให้สตาร์คัดแปรมีความหนืดสูงสุดน้อยกว่าการคัดแปรสภาวะอื่น แสดงถึงรังสียูวีทำให้เกิดการแตกหักของโมเลกุลสตาร์ (photodegradation) ในสภาวะที่มีอากาศ และเมื่อคัดแปรภายใต้สภาวะที่มีอากาศเป็นเวลานานขึ้นเป็น 15 ชม ความหนืดสูงสุดของสตาร์คัดแปรมีความมากกว่าการคัดแปรเป็นระยะเวลา 5 ชม ซึ่งอาจเป็นเพราะเกิดการเชื่อมข้ามกันระหว่างโมเลกุลสตาร์ (Fiedorowicz *et al.*, 1999)

การคัดแปรสตาร์ด้วยรังสียูวีขึ้นกับประเภท/ชนิดของสตาร์ด้วย สตาร์ต่างชนิดกันให้ผลการคัดแปรที่ไม่เหมือนกัน เช่น การเปรียบเทียบการคัดแปรสตาร์ข้าวโพด กับมันสำปะหลังด้วยรังสียูวีความยาวคลื่น 250-600 นาโนเมตร เป็นระยะเวลา 16 ชม สตาร์ข้าวโพดหลังการคัดแปรมีความหนืดสูงสุด (107 อาร์วี) ไม่แตกต่างกับสตาร์ข้าวโพดปกติ (108 อาร์วี) และสตาร์ข้าวโพดที่ถูกย่อยด้วยกรดหลังการคัดแปรด้วยรังสียูวีก็มีความหนืดสูงสุด (79 อาร์วี) ไม่แตกต่างกับสตาร์ข้าวโพดที่ถูกย่อยด้วยกรดก่อนคัดแปร (78 อาร์วี) เช่นเดียวกัน ในขณะที่สตาร์

มันสำปะหลังหลังการตัดแปรด้วยรังสีวิทยามีความหนืดสูงสุด (141 อาร์วียู) ลดลงจากสตาร์ชปกติ (190 อาร์วียู) และในตัวอย่างสตาร์ชมันสำปะหลังที่ถูกย่อยด้วยกรดก็เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดเช่นเดียวกัน คือมีความหนืดสูงสุดลดลงจากเดิม 92 อาร์วียู เป็น 70 อาร์วียู หลังการตัดแปรด้วยรังสีวิทย (Bertolini *et al.*, 2000)

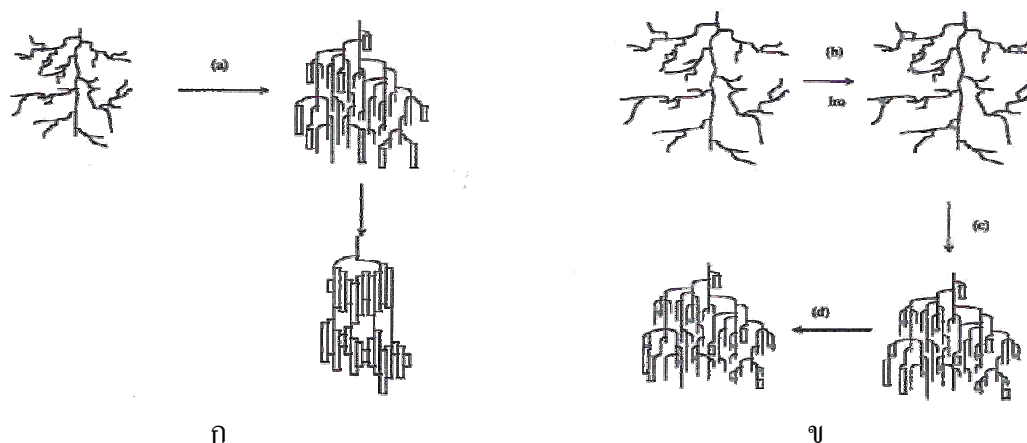
นอกจากนี้ ระยะเวลาในการตัดแปรสตาร์ชส่งผลต่อค่าความหนืดสูงสุด และเซตแบค สตาร์ชมันสำปะหลังที่ถูกย่อยด้วยกรดแล้วตัดแปรด้วยรังสีวิทยิบีเอ บี และซี เป็นระยะเวลา 7-15 ชม การใช้ระยะเวลาการตัดแปรที่นานขึ้นทำให้ความหนืดสูงสุดของสตาร์ชตัดแปรมีค่าน้อยลง เช่น สตาร์ชมันสำปะหลังที่ถูกย่อยด้วยกรดแล้วตัดแปรด้วยรังสีวิทยิบีเป็นระยะเวลา 7, 9, 11 และ 15 ชม มีความหนืดสูงสุด 196.55, 195.67, 185.83 และ 173.17 อาร์วียู ตามลำดับ (Vatanasuchart, 2004)

2.3.4 อุณหภูมิ และเอนทัลปีของการเกิดเจลาทิโนซ

Fiedorowicz *et al.* (1999) ตัดแปรสตาร์ชข้าวโพดด้วยคลื่นรังสีวิทยุนาโนกำลัง 450 วัตต์ ความยาวคลื่นมากกว่า 250 นาโนเมตร วิเคราะห์พลังงานเอนทัลปี (transition enthalpy) ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter; DSC) สตาร์ชข้าวโพดที่ได้รับรังสีวิทยุนาน 5 ชม มีค่าพลังงานเอนทัลปีที่ใช้สลายโครงสร้างเป็น 11.4 จูล/ก ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมที่มีค่า 16.8 จูล/ก เนื่องจากเกิดการสลายพันธะของโมเลกุลสตาร์ชแบบใช้ออกซิเจน (oxidative degradation) แต่เมื่อให้รังสีด้วยระยะเวลานานถึง 15 ชม สายโมเลกุลเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ และเกาะเกี่ยวกันแบบพันธะเชื่อมข้าม ทำให้ค่าพลังงานที่ใช้สลายโครงสร้างสูงขึ้นอีกเป็น 16.8 จูล/ก

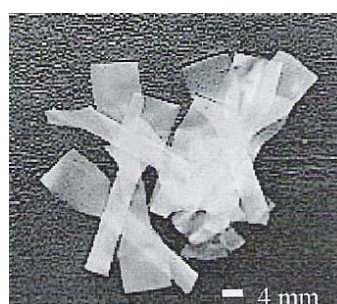
การเพิ่มระยะเวลาการตัดแปรสตาร์ชมันสำปะหลังย่อยกรดแล้วตัดแปรด้วยรังสีวิทยิ 3 ชนิด ได้แก่ รังสีวิทยิบีเอ บี และซี ทำให้สตาร์ชตัดแปรมีอุณหภูมิเริ่มต้น และอุณหภูมิสูงสุดของเกิดเจลาทิโนซสูงขึ้นประมาณ $1-2^{\circ}\text{C}$ แต่อุณหภูมิสิ้นสุด และเอนทัลปีของการเกิดเจลาทิโนซไม่ต่างกัน ในช่วงระยะเวลาตัดแปร 7-15 ชม (Vatanasuchart *et al.*, 2005) แต่ในงานวิจัยที่ตัดแปรสตาร์ชข้าวสาลีในรูปของแผ่นฟิล์ม โดยนำแผ่นฟิล์มที่เก็บไว้ในสถานะความชื้นสัมพัทธ์ 57% มาฉายรังสีวิทยิความยาวคลื่น 365 นาโนเมตร ในสถานะความชื้นสัมพัทธ์ที่บรรยากาศปกติ ณ อุณหภูมิ 40°C แผ่นฟิล์มที่ฉายรังสีวิทยิมีเอนทัลปีน้อยกว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่ตัดแปร และเมื่อเก็บรักษาแผ่นฟิล์ม 24 ชม แผ่นฟิล์มที่ฉายรังสีวิทยิมีเอนทัลปี 0.072 จูล/ก น้อยกว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่ฉายรังสีวิทยิซึ่งมีเอนทัลปี 0.192

จุด/ก แสดงถึงการเกิดพันธะเชื่อมข้ามภายในโมเลกุลของเอมิโลเพกทินเนื่องจากการฉายรังสียูวี ทำให้กิ่งพอลิเมอร์ของโมเลกุลเอมิโลเพกทินเคลื่อนมาจัดเรียงตัวเข้าใกล้กันมากขึ้น จึงลดการเกิดรีโทรเกรเดชัน ดังแบบจำลองทางความคิดในภาพที่ 10 ดังนั้น ฟิล์มสตาร์ชข้าวสาลีที่ฉายรังสียูวีมีลักษณะใสกว่าฟิล์มที่ไม่ได้ฉายรังสียูวี ซึ่งเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากกว่า (Delville *et al.*, 2003) ดังภาพที่ 11

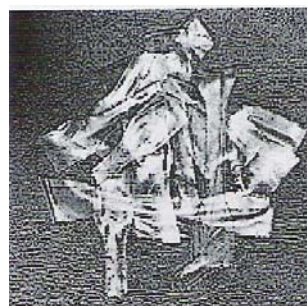


ภาพที่ 10 แบบจำลองการเกิดรีโทรเกรเดชันของเอมิโลเพกทินของสตาร์ชปกติ (ก) และสตาร์ชที่เกิดพันธะเชื่อมข้ามเนื่องจากการฉายรังสียูวี (ข)

ที่มา: Delville *et al.*, 2003



ก



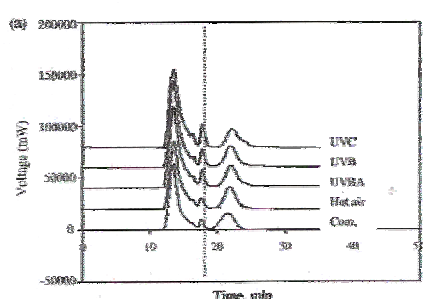
ข

ภาพที่ 11 ฟิล์มจากสตาร์ชข้าวสาลีปกติ (ก) และฉายรังสียูวี (ข)

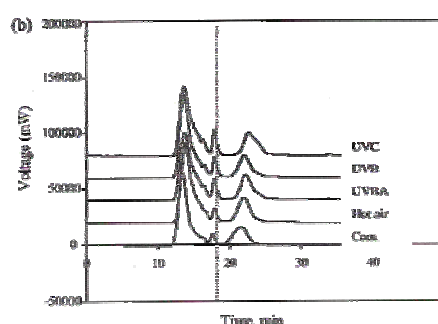
ที่มา: Delville *et al.*, 2003

2.4 การใช้สสารคัดแปรด้วยรังสียูวีในผลิตภัณฑ์อาหาร

Vatanasuchart *et al.* (2005) ทดลองทำขนมปังจากสสารไขมันสำปะหลังหมัก และคัดแปรด้วยคลื่นรังสียูวี ซึ่งเป็นผลร่วมกันระหว่างการลดขนาดโครงสร้างโมเลกุล กับพลังงานคลื่นรังสียูวี ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างแบบพันธะเชื่อมข้ามของโมเลกุลกลูโคสสายสั้นๆ เมื่อวิเคราะห์ผลจากกราฟโครมาโทกราฟี (High Performance Size Exclusion Chromatography; HPSEC) (ภาพที่ 12) สันนิษฐานว่า รังสียูวีซึ่งลดขนาดทั้งโมเลกุลของ แอมิโลส และแอมิโลเพกทิน ส่วนรังสียูวีที่ลดขนาดของโมเลกุลแอมิโลสเป็นหลัก การลดขนาดโครงสร้างโมเลกุลสสารไขมันสำปะหลังด้วยกรด และจากการหมัก ร่วมกับการคัดแปรด้วยพลังงานคลื่นรังสียูวี ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างแบบพันธะเชื่อมข้ามของโมเลกุลกลูโคสสายสั้นๆ และมีช่องว่างภายในโครงสร้างที่สามารถกักเก็บอากาศหรือแก๊สที่เกิดขึ้นไว้ได้ เมื่อสสารได้รับความร้อนในระหว่างการอบขนมปัง จะเกิดเจลาตีไนเซชัน และน้ำภายในก้อนโดระเหยกลายเป็นไอ เกิดแรงดันไอน้ำ ภายในช่องว่างโครงสร้างโมเลกุลสสารไขมันคัดแปรให้โครงสร้างสสารเกิดการขยายปริมาตรใหญ่ขึ้น (ภาพที่ 13) โดยขนมปังจากสสารไขมันสำปะหลังหมักคัดแปรด้วยรังสียูวีบี และซี มีขนาดพองใหญ่กว่าขนมปังจากสสารไขมันสำปะหลังหมักคัดแปรด้วยรังสียูวีบีเอ และสสารไขมันสำปะหลังหมักไม่คัดแปร



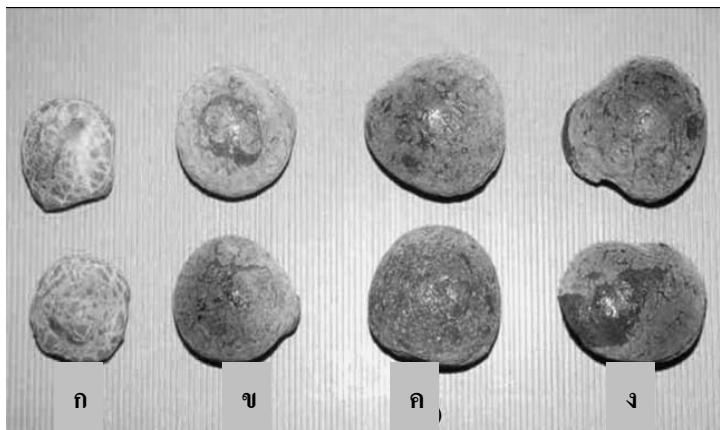
ก



ข

ภาพที่ 12 การวิเคราะห์ขนาดโมเลกุลของสสารไขมันสำปะหลังด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีแบบ HPSEC ของสสารคัดแปรด้วยรังสียูวีนาน 9 (ก) และ 15 ชม (ข)

ที่มา: Vatanasuchart *et al.* (2005)



ภาพที่ 13 ขนมปิ้งที่ทำจากสตาร์ชมันสำปะหลังปรับกรด แล้วอบด้วยตู้อบ (ก) คัดแปรด้วยรังสียูวี บีเอ (ข) ยูวีบี (ค) และยูวีซี (ง)

ที่มา: Vatanasuchart *et al.* (2005)

3. ก๋วยเตี๋ยว

3.1 กระบวนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว มีขั้นตอนสำคัญ ดังนี้

3.1.1 ข้าว

ข้าวที่เหมาะสมสำหรับทำผลิตภัณฑ์อาหารเส้นต้องเป็นข้าวเมล็ดยาว รูปร่างเรียวยาว มีปริมาณแอมิโลสสูงระหว่าง 27-33 % เพราะหลังจากที่แป้งสุกตามกระบวนการผลิตและทำให้เย็นลง แป้งสุกจะเกิดภาวะการคืนตัวและจับตัวเชื่อมต่อกันเป็นแผ่นมีลักษณะเหนียวหยุ่น ไม่แฉะติดกัน ต้องเป็นข้าวที่ผ่านการขัดสีสูงเป็นข้าวขาวพิเศษ และต้องเป็นข้าวเก่าที่เก็บไว้แล้วอย่างน้อย 4 เดือน (อรอนงค์, 2547) เนื่องจากภายหลังจากการเก็บเกี่ยว ภายในเมล็ดข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น เมล็ดข้าวขาว จะแกร่งขึ้น ทำให้คุณภาพการสืตขึ้น การเปลี่ยนแปลงในเมล็ดข้าวเกิดขึ้นจากกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบ 3 อย่าง คือ สตาร์ช ไขมัน และ โปรตีน ปฏิกริยาการเติมออกซิเจนของไขมัน ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ และทำให้สารกลุ่มคาร์บอนิลเพิ่มขึ้น กรดไขมันอิสระนี้จะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของแอมิโลสกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของกรดไขมัน-แอมิโลส และมีผลต่อการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกแข็งมากขึ้น และความเหนียวลดลง ส่วนโปรตีนจะเกิดปฏิกิริยาเติมออกซิเจนกับกรดแอมิโน ทำให้มีผลต่อการ

พองตัวของเมล็ดสตรัซเช่นเดียวกับกรดไขมัน นอกจากนี้ ผลของปฏิกิริยาเคมีออกซิเจน ยังทำให้ สารระเหยที่ได้จากกรดแอมิโนที่มีธาตุกำมะถันเป็นองค์ประกอบลดลง นอกจากนี้ปฏิกิริยาระหว่าง โปรตีนด้วยกัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (nonenzymic browning) มีผลทำให้สีของข้าว คล้ำลง การเปลี่ยนแปลงต่างๆ เหล่านี้ ทำให้ข้าวเก่ามีคุณภาพการหุงต้มและข้าวสุกแตกต่างจากข้าว ใหม่ คือ ข้าวเก่าต้องการเวลาในการหุงต้มนานกว่า มีความสามารถดูดน้ำ และขยายปริมาตร ได้ มากกว่าข้าวใหม่ ในขณะที่ในน้ำข้าวจะมีของแข็งลดลง และข้าวสุกร่วนและแข็งขึ้น กลิ่นหอมของ ข้าวลดลง เมล็ดข้าวเก่ามักพบมีสีคล้ำลง เนื่องจากความเหนียวของข้าวสุกลดลง (งามชื่น, 2541; ยุทธนา, 2545)

3.1.2 การล้าง และแช่ข้าว

เนื่องจากข้าวที่ใช้เป็นข้าวเก่า และอาจมีสิ่งปนเปื้อนมาก จึงมักทำความสะอาด ขึ้นต้น โดยการขัดด้วยมือ หรือใช้เครื่องก็ได้ โดยทั่วไปจะล้างข้าวประมาณ 2-3 ครั้ง ขึ้นกับคุณภาพ ของปลายข้าว ในขั้นตอนการล้าง ควรใช้อัตราส่วนของข้าวต่อน้ำให้เหมาะสม โดยให้น้ำท่วมข้าว เพียงเล็กน้อย จากนั้นแช่ข้าว 1-2 ชั่วโมง เพื่อให้ข้าวดูดน้ำเข้าไปในเมล็ด เป็นการเพิ่มความชื้น ทำให้เมล็ดข้าวนุ่ม ง่ายขึ้น และเมล็ดสตรัซแตกได้ง่ายขึ้นเมื่อโม่ (วิภา, 2541; ณรงค์, 2538) นอกจากนี้ สารอาหารที่ละลายในน้ำจะหลุดออกจากข้าว ทำให้เส้นก๊วยเตี๋ยวขาว (อรอนงค์, 2547)

3.1.3 การโม่ข้าว

การโม่ข้าวเป็นการทำให้เมล็ดสตรัซ และองค์ประกอบอื่นๆ หลุด และแตกออกจากกัน ทำให้โครงสร้างของเนื้อเมล็ดกระจายตัวแยกจากกัน ส่วนคาร์โบไฮเดรตซึ่งได้แก่เมล็ด สตรัซที่แยกจากโปรตีน ไขมัน และสารอาหารอื่นๆ ที่ยังเหลืออยู่น้อยหลังจากล้าง และแช่ข้าว ผง แป้งที่ได้จึงเป็นสตรัซที่ส่วนใหญ่เป็นเมล็ดสตรัซ มีโปรตีนอยู่บ้าง และไขมันเพียงเล็กน้อย (อรอนงค์, 2547) ปริมาณเมล็ดสตรัซที่แตกขึ้นกับวิธีการโม่ ในการผลิตก๊วยเตี๋ยวจะใช้วิธีการโม่ เปียกโดยใช้โม่หิน การโม่แบบนี้ทำให้เมล็ดสตรัซถูกบดได้ละเอียด และแตกตัวได้มาก ขณะบดต้อง เติมน้ำลงไปด้วย การใช้น้ำจะทำให้อุณหภูมิขณะโม่ไม่สูงเกินไป แป้งที่ได้จะมีคุณภาพดี โดยทั่วไป จะมีสัดส่วนของข้าวต่อน้ำประมาณ 2:1 ไม่ควรใช้น้ำมาก เพราะข้าวจะผ่านหน้าโม่ออกไปเร็ว ฟัน โม่จะไม่กระทบกัน แป้งที่ได้จะหยาบ และเสียเวลาในการนำกลับมาโม่ใหม่ แต่ถ้าใช้น้ำน้อยเกินไป ข้าวจะติดอยู่ในโม่มาก หน้าโม่จะไม่บดกัน ต้องใช้แรงมากในการโม่ และโม่ได้ช้าลง น้ำแป้งที่ได้ จะตั้งทิ้งไว้ 1-2 หรือ 3 ชั่วโมง ขณะแช่น้ำแป้งจะต้องคนเป็นระยะเพื่อไม่ให้แป้งตกตะกอน และยัง

ช่วยให้แป้งดูน้ำได้ดี น้ำแป้งจะข้นหนืด เนื่องจากน้ำอิสระถูกดูดเข้าไปในโมเลกุลของเม็ดสตาร์ช ทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวและแตกง่ายเมื่อนำไปนึ่ง (วิภา, 2541)

3.1.4 การปรับความเข้มข้นของน้ำแป้ง

ส่วนผสมของน้ำแป้งที่โมได้ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยว ปริมาณน้ำที่ใช้ต้องพิจารณาจากชนิดและลักษณะของข้าว เช่น ความเก่าของข้าว และปริมาณแอมิโลส เป็นต้น ข้าวยิ่งเก่ามาก และมีแอมิโลสสูง ต้องใช้น้ำในการหุงสุกมากกว่าข้าวใหม่ และมีแอมิโลสต่ำกว่า นอกจากนี้ ความเข้มข้นของน้ำแป้งยังขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ด้วย โดยทั่วไปแล้วความเข้มข้นของน้ำแป้งในการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นสด ควรมีปริมาณของแข็ง 38-40 % โดยน้ำหนัก สำหรับการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นแห้ง ความเข้มข้นของน้ำแป้งจะสูงกว่า (วิภา, 2541)

3.1.5 การนึ่ง

การนึ่งที่นิยมทำในอุตสาหกรรม มีเครื่องดูดน้ำแป้งไว้ในถังที่กวนตลอดเวลา และมีท่อเปิดเพื่อปล่อยน้ำแป้งให้ติดลูกกลิ้งซึ่งจะปาดน้ำแป้งลงบนสายพานลำเลียงเข้าสู่อุโมงค์ไอน้ำ ประมาณ 3 นาที ความร้อนจากไอน้ำ จะทำให้สตาร์ชในน้ำแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลง เรียกว่าการสุกของแป้ง หรือเจลาไทไนเซชัน และได้เป็นแผ่นก๋วยเตี๋ยว (อรอนงค์, 2547)

3.1.6 การผึ่งลมหรืออบแห้ง

แป้งสุกจะมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ จะต้องผึ่งลมก่อน โดยใช้พัดลมเป่าให้แผ่นก๋วยเตี๋ยวเย็นตัวลง เพื่อให้เจลมีความแข็งแรง และเหนียวมากขึ้น เกะยัดเป็นแผ่นได้ดี ไม่ติดกัน (วิภา, 2541; อรอนงค์, 2547)

3.1.7 การตัดเส้น

นำแผ่นก๋วยเตี๋ยวไปพรมน้ำ ยกแผ่นมาวางซ้อนกัน ใช้ผ้าชื้นคลุมไว้ 2 ชม เป็นการบ่ม แล้วจึงตัดเป็นเส้น (อรอนงค์, 2547)

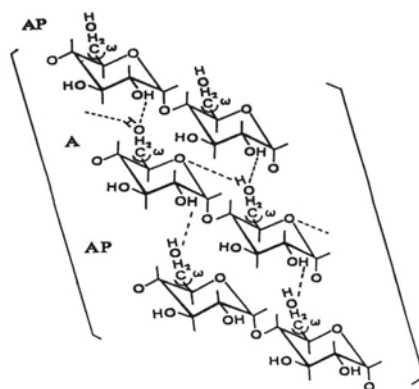
3.2 คุณสมบัติที่สำคัญของสตาร์ชในแป้งข้าวเจ้าที่มีผลต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว มี 2 ประการ คือ

3.2.1 การเกิดเจลาทิไนเซชัน (Gelatinization)

โมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ซึ่งยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เมื่อเม็ดสตาร์ชอยู่ในน้ำเย็น เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำ และพองตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณ 25-30% แต่เมื่อให้ความร้อนกับระบบ พันธะไฮโดรเจนคลายลง เม็ดสตาร์ชดูดน้ำได้มากขึ้น พร้อมกับพองตัวขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากความร้อนไปทำให้พันธะไฮโดรเจนที่เกาะเกี่ยวกันเองในบริเวณอสัณฐาน (amorphous zone) ของโครงสร้างโมเลกุลเอมิโลเพกทินคลายตัวลง สามารถจับกับโมเลกุลของน้ำ หรืออุ้มน้ำเข้าไปภายในเม็ดสตาร์ช ทำให้พองตัวขึ้นเรื่อยๆ ส่วนผสมเริ่มข้นหนืดขึ้น มีความเหนียว และใสขึ้น เมื่อถึงอุณหภูมิหนึ่ง เม็ดสตาร์ชพองตัวอย่างรวดเร็ว เม็ดสตาร์ชดูดซึมน้ำเข้าไปมาก และเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ (ยุทธนา, 2545; วิภา, 2541; อรอนงค์, 2547)

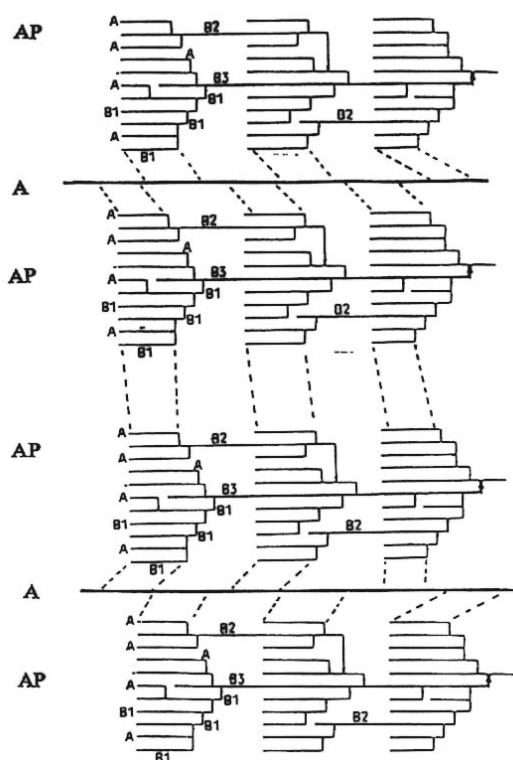
3.2.2 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

หลังจากเกิดเจลาทิไนเซชันแล้ว โมเลกุลของเอมิโลเพกทิน และเอมิโลสกระจายออกจากเม็ดสตาร์ช แขนงลอยในส่วนผสม เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลเอมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเข้ามาเรียงตัวจับกันเอง หรือจับกับเอมิโลเพกทินด้วยพันธะไฮโดรเจน ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลบนโมเลกุลสตาร์ชที่อยู่ใกล้กัน เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน หรือการคืนตัวของสตาร์ช จะได้โครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำได้ เรียกว่าเจล ถ้าปล่อยให้อุณหภูมิต่ำลงอีก จะเกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างดังกล่าวแน่นขึ้น ทำให้โมเลกุลของน้ำที่เคยจับอยู่ก่อนถูกบีบออกไปจากเจล (syneresis) ความหนืดเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มของการเกิดผลึก การคืนตัวเป็นเรื่องดีสำหรับการผลิตก๋วยเตี๋ยวและเส้นหมี่ เพราะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการมีความเหนียวหนืด และแข็ง (ยุทธนา, 2545; วิภา, 2541; อรอนงค์, 2547)



ภาพที่ 14 ภาพจำลองกลไกการเกิดรีโทรเกรเดชัน

ที่มา: Tako and Hizukuri (2000)



ภาพที่ 15 การเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน และระหว่างโมเลกุลแอมิโลเพกทินด้วยกันเองของสตาร์ข้าว

ที่มา: Tako and Hizukuri (2000)

การเกิดรีโทรเกรเดชันนั้น นอกจากจะเกิดการจับกันระหว่างโมเลกุลของ แอมิโลสด้วยกันเองแล้ว ยังสามารถเกิดการจับกันระหว่างแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน เมื่อยังคง สภาพนี้ไว้เป็นระยะเวลานาน ที่อุณหภูมิต่ำ และเกิดภาวะอึดตัวของพันธะไฮโดรเจนระหว่าง แอมิโลส และแอมิโลเพกทินแล้ว จะเกิดการจับกันเองภายในโมเลกุลของแอมิโลเพกทินได้อีกด้วย ดังภาพที่ 15 (Tako and Hizukuri, 2000)

ปัจจัยที่มีผลต่อรีโทรเกรเดชัน ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบส ของ สารละลาย ปริมาณ ขนาด และโครงสร้างของแอมิโลส แอมิโลเพกทิน และความยาวโซ่กิ่งของ แอมิโลเพกทิน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในแป้ง ได้แก่ โปรตีน ไขมัน (กลีเซอรอล และเกลือ, 2543)

3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอาหารเส้น ได้แก่

3.3.1 ปริมาณแอมิโลสในแป้งข้าว

เสนอ (2522) ได้ทำการทดลองผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวพันธุ์ที่มี แอมิโลสสูง คือ พันธุ์ กข.5, ขาว-500, กข.1 และข้าวเหลืองประทิว ที่มีปริมาณแอมิโลสคิดเป็น 30.0, 29.9, 29.8 และ 29.5 % ของน้ำหนักแห้งของข้าวสาร ตามลำดับ แป้งข้าวแอมิโลสปานกลาง คือ พันธุ์ กข.7 มีแอมิโลส 26.5 % และแป้งข้าวแอมิโลสต่ำ คือข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีแอมิโลส 17.5 % พบว่า แป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไม่สามารถผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวได้ เนื่องจากหลังนึ่งแป้งให้ สุกแล้ว แผ่นก๋วยเต๋ยมียลักษณะเปื่อย ขาดง่าย และมียางเหนียว จึงติดกันเป็นก้อน ส่วนข้าวพันธุ์ อื่นๆ สามารถผลิตเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวได้ แต่มีคุณภาพต่างกัน ส่วนข้าว กข 5 มีแอมิโลสสูงที่สุด เส้น ก๋วยเตี๋ยวจึงมีความแข็งแรงกระด้างมากกว่าพันธุ์อื่นๆ นอกจากนี้ เสนอ (2522) ยังได้สรุปไว้ว่าข้าวที่ เหมาะสมในการทำเส้นก๋วยเตี๋ยวให้มีคุณภาพดีนั้น ควรเป็นข้าวเจ้าพันธุ์ที่มีแอมิโลสสูงกว่า 27 % มี ค่าความคงตัว (Amylograph consistency) สูงกว่า 600 บี.ยู. ค่าการคืนตัวของแป้งสุก (setback) ควร สูงกว่า 500 บี.ยู. และควรเป็นข้าวที่ได้รับการขัดสีจนขาว

พิมพ์เพ็ญ (2533) ทำการทดลองผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณ แอมิโลสที่ต่างกัน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ แป้งข้าว กข 9, ขาวตาแห้ง 17 และ กข 7 ซึ่งมีปริมาณแอมิโลส 31.7, 29.14 และ 25.06 % ตามลำดับ โดยใช้น้ำแป้งเข้มข้น 40 % นึ่งในถาดนาน 3 นาที แล้วลอก

แผ่นก้วยเตี่ยวออกจากถาดมาผึ่งลม ตัดเส้น และอบแห้ง พบว่า ก้วยเตี่ยวที่ผลิตจากแป้งข้าว กข 9 ซึ่งมีเอมิโลสสูง จะมีลักษณะเป็นแผ่น ร้อน ไม่ติดถาดหนึ่ง ผิวหน้าแห้ง ซึ่งลักษณะคล้ายกับเส้น ก้วยเตี่ยวที่ผลิตจากแป้งข้าว ขาวตาแห้ง 17 ที่มีแผ่นนุ่มเหนียว ไม่ขาดง่าย ร้อน ไม่ติดถาดหนึ่ง ส่วนลักษณะเส้นก้วยเตี่ยวที่ผลิตจากแป้งข้าว กข 7 จะนุ่ม เปื่อย ขาดง่าย ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับที่ เสนอ (2522) ได้รายงานไว้ว่า ควรใช้แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ที่มีเอมิโลสสูงกว่า 27 % ในการผลิตเส้นก้วยเตี่ยวให้มีคุณภาพดี

3.3.2 ลักษณะโครงสร้างของเอมิโลส และเอมิโลเพกทิน

โครงสร้างของเอมิโลส และเอมิโลเพกทินที่เป็นองค์ประกอบของสตาร์ช เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพอาหารเส้น หากสตาร์ชมีโครงสร้างของเอมิโลสและเอมิโลเพกทินที่ต่างกัน จะส่งผลต่อสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ ความแข็งแรงของเจล และคุณภาพของผลิตภัณฑ์

Yoenyongbuddhagal and Noomhorm (2002) ได้ตรวจสอบสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ คือ สมบัติเชิงความร้อน (Thermal property) และอุณหภูมิที่ทำให้เกิดความหนืด (pasting temperature) ความแข็งแรงของเจล และคุณภาพของเส้นหมี่ที่ผลิตจากแป้งข้าวจากประเทศไทย 6 พันธุ์ ได้แก่ เสาไห้, สุพรรณบุรี 90, ชัยนาท 1, ปราชินบุรี, พลายงามปราชินบุรี และสุพรรณบุรี 1 ซึ่งมีปริมาณเอมิโลสใกล้เคียงกัน คือ 33.6, 34.9, 35.2, 33.3, 32.9 และ 36.7 % ตามลำดับ แม้ว่าจะใช้ตัวอย่างข้าวที่มีปริมาณเอมิโลสใกล้เคียงกันในการทดลอง แต่มีความแตกต่างของพารามิเตอร์ของสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ต่างกัน ซึ่งอาจเนื่องมาจากโครงสร้างโมเลกุลของเอมิโลส และเอมิโลเพกทินที่ต่างกันในช่วงสายพันธุ์ ซึ่ง Yoenyongbuddhagal and Noomhorm (2002) กล่าวว่า สตาร์ชที่ประกอบด้วยเอมิโลเพกทินสายยาวเป็นส่วนมาก สายของเอมิโลเพกทินที่มีความยาวอย่างเหมาะสมนี้จะเอื้อต่อการเกิดโครงสร้างเกลียว ซึ่งเพิ่มความแข็งแรงให้แก่โครงสร้าง ดังนั้นจึงต้องใช้พลังงานในการทำลายโครงสร้างเกลียวสูง ทำให้มีค่าอุณหภูมิการเกิดเจลที่ไนซ์ (T_0) และค่าพลังงานเอนทัลปีในการเกิดเจลที่ไนเซชัน (ΔH) สูงกว่าสตาร์ชที่มีเอมิโลเพกทินสายสั้น นอกจากนี้ยังพบว่า ความแข็งแรงของเจล (Gel Hardness) มีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณของแข็งที่สูญเสียไปทั้งหมดระหว่างการต้มเส้น และมีความสัมพันธ์ทางบวกกับความแข็งแรงของเส้นหมี่ ซึ่งมีประโยชน์ในการทำนายคุณภาพของเส้นหมี่

3.3.3 สัดส่วนของแป้งผสม

โดยทั่วไป ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารเส้นประเภทเส้นก๋วยเตี๋ยว และเส้นหมี่ นิยมผสมแป้งชนิดอื่น เช่น แป้งมันสำปะหลัง นอกเหนือจากแป้งข้าวเจ้าลงไปด้วย เพื่อลดต้นทุนการผลิต และ/หรือ เพื่อปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ การใช้แป้งมันสำปะหลังร่วมกับแป้งข้าวเจ้าในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว ทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวนุ่ม เหนียว และเลื่อมมันมากขึ้น นอกจากนี้ ยังช่วยลดเนื้อแป้งที่สูญเสียระหว่างการต้มเส้นอีกด้วย (พิมพ์เพ็ญ, 2533) หรืออาจใช้การผสมแป้งข้าวต่างชนิดกันเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น การผสมแป้งข้าวอินดิกา (Indica) และจาปอนิกา (Japonica) เข้าด้วยกันในการผลิตพาสตา การเพิ่มสัดส่วนของแป้งข้าวจาปอนิกา จะทำให้ พาสตามีความนุ่ม ชุ่มน้ำมากขึ้น มีอิทธิพลต่อเนื้อสัมผัสของพาสตา โดยทำให้มีค่าความแข็ง (Hardness) ลักษณะคล้ายยาง (Gumminess) และการตอบสนองการเคี้ยว (Chewiness) ลดลง (Lai, 2001)

3.3.4 โปรตีน

โปรตีน เป็นองค์ประกอบทางเคมีของข้าวที่มีปริมาณมากรองจากสตาร์ช ในข้าวขัดขาวมีปริมาณโปรตีนประมาณ 13.0-14.4 % ในขณะที่สตาร์ชมีปริมาณ 48.3-55.4 % หากเทียบสัดส่วนของโปรตีนกับสตาร์ชข้าวแล้ว โปรตีนมีปริมาณน้อยกว่าสตาร์ชมาก ดังนั้น โปรตีนจึงมีอิทธิพลต่อคุณภาพการสุกของข้าวบ้าง เช่น ข้าวสุกที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่า มีความนุ่มน้อยกว่า ข้าวสุกที่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า (Hamaker and Griffin, 1993)

เนื้อสัมผัสของข้าวสุกนั้นมีความสัมพันธ์กับการเกิดเจลลาในเซชันของเมล็ดสตาร์ช ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเจลลาในเซชันมีหลายปัจจัย ได้แก่ ขนาดและรูปร่างของเมล็ดสตาร์ช ปริมาณแอมิโลส ความเป็นผลึกของแอมิโลเพกทิน ความยาวของสายแอมิโลเพกทิน นอกจากนี้ ปริมาณโปรตีน และไขมัน ที่จับอยู่กับเมล็ดสตาร์ช ก็เป็นปัจจัยหนึ่งด้วย

Hamaker and Griffin (1993) ทดลองวัดความหนืดของแป้งข้าว 3 ชนิด คือ แป้งจากข้าวเมล็ดสั้น เมล็ดยาวปานกลาง และเมล็ดยาว โดยนำแป้งข้าวสกัดไขมัน มาวัดความหนืดเมื่อเติมดิวติที (DTT) ก่อนให้ความร้อน และขณะให้ความร้อน ดิวติทีนั้นเป็นสารรีดิวซิง ที่เติมลงไปเพื่อไปทำลายพันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีนรอบเมล็ดสตาร์ช ซึ่งพันธะไดซัลไฟด์นี้มีหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงแก่เมล็ดสตาร์ช จำกัดการพองตัวของเมล็ดสตาร์ช หากเติมดิวติทีลงไปก่อนให้ความร้อน พบว่าความหนืดสูงสุดของแป้งสุกมีค่าต่ำลง เนื่องจากพันธะไดซัลไฟด์ที่ถูกทำลายไป ทำให้

เม็ดสตาร์ชพองตัว และแตกออกอย่างรวดเร็ว ความหนืดสูงสุดจึงต่ำกว่าความหนืดสูงสุดของแป้งสุกที่ไม่ได้เติมดิวทิที เมื่อเติมดิวทิทีลงในน้ำแป้งในขณะที่ให้ความร้อน แล้ววัดความหนืด พบว่าความหนืดของแป้งสุกที่เติมดิวทิทีมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากดิวทิทีทำลายพันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีนที่ให้ความแข็งแรงแก่เม็ดสตาร์ช ทำให้ในขณะที่ให้ความร้อน เม็ดสตาร์ชสามารถพองตัวได้มากขึ้น ความหนืดขณะนั้นจึงเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเป็นการยืนยันอิทธิพลของโปรตีนต่อการพองตัวของเม็ดสตาร์ชให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

3.3.5 ไขมัน

Hibi *et al.* (1990) ได้ทดสอบผลของไขมันต่อการพองตัว และการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าว โดยใช้สตาร์ชข้าวปกติ (Nondefatted starch) สตาร์ชข้าวสกัดไขมัน (Defatted starch) และสตาร์ชข้าวสกัดไขมันแล้วเติมไขมันลงไปใหม่ (Refatted starch) สตาร์ชข้าวปกติ และสตาร์ชข้าวสกัดไขมันแล้วเติมไขมันลงไปใหม่ มีกำลังการพองตัวใกล้เคียงกัน ส่วนสตาร์ชข้าวสกัดไขมันมีกำลังการพองตัวสูงกว่มาก เนื่องจากในสถานะที่มีไขมันอยู่ร่วมกับแอมิโลส จะเกิดการจับกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้น (amylose-lipid complex) ทำให้ความสามารถในการพองตัว และความสามารถในการละลายน้ำของเม็ดสตาร์ชลดลง เมื่อสกัดไขมันออกจากเม็ดสตาร์ช จะเพิ่มกำลังการพองตัวและปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้มากขึ้น ทำให้เกิดการสลายตัวของสตาร์ชได้มาก จึงเกิดเจลที่ยืดหยุ่น และมีความหนืดต่ำ ในการศึกษาผลของไขมันต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าว เชื่อว่าไขมันช่วยชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันของแอมิโลส

4. การแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อน และความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์

การใช้ความร้อนในการแปรรูปอาหาร เป็นวิธีการถนอมรักษาอาหาร เพื่อยับยั้งการเน่าเสียของอาหาร และการสร้างสารพิษจากจุลินทรีย์ในอาหาร ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในอาหาร รวมทั้งพยาธิ และแมลงต่างๆ การใช้ความร้อนในการแปรรูปอาหารนั้นจะทำให้สี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัสของอาหารเปลี่ยนแปลงไป

ระดับความร้อนที่ใช้ในการแปรรูปสามารถใช้ความร้อนต่ำ เป็นระยะเวลานาน หรือใช้ความร้อนสูง ระยะเวลาสั้น การใช้ความร้อนกับอาหารมีหลายวิธี ระดับความสูง หรือต่ำของความร้อนขึ้นกับวัตถุประสงค์ กระบวนการที่ไม่รุนแรง เช่น การลวก การพาสเจอไรซ์ ทำให้คุณภาพการ

บริโภคเปลี่ยนไปไม่มากนัก สามารถนำกระบวนการเหล่านี้ไปใช้ร่วมกับกระบวนการอื่นๆ ได้ เช่น การแช่เยือกแข็ง หรือการแช่เย็น และการบรรจุ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้น หากต้องการยืดอายุของผลิตภัณฑ์ด้วยการใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว จำเป็นต้องใช้กรรมวิธีที่ค่อนข้างรุนแรง เช่น การสเตอริไลซ์ (วิไล, 2545)

4.1 การแปรรูปอาหารด้วยความร้อนระดับพาสเจอไรซ์

การพาสเจอไรซ์ เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่ไม่รุนแรงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C เพื่อยืดอายุของผลิตภัณฑ์อาหารให้นานหลายวัน หรือหลายเดือน วิธีนี้สามารถใช้ในการถนอมอาหารได้โดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ เช่น แบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ ยีสต์ และรา และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านประสาทสัมผัส และคุณค่าทางอาหารน้อยที่สุด จุดประสงค์ของการพาสเจอไรซ์นั้น เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคทุกชนิด และเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จากการเสื่อมเสีย เนื่องจากจุลินทรีย์ และเอนไซม์ในอาหาร (วราวุฒิ, 2538) ฉะนั้นจึงเป็นเพียงการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ แต่ไม่ใช่ทั้งหมดในอาหาร ดังนั้น อาหารที่ผ่านการพาสเจอไรซ์แล้วต้องเข้าสู่กระบวนการต่อไป หรือต้องเก็บรักษาในสถานะที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ เช่น การแช่เย็น การใช้สารเคมีเพื่อให้เกิดสถานะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น การใช้น้ำตาลในนมข้นหวาน การใช้กรดหรือการหมักเพื่อให้จุลินทรีย์เปลี่ยนองค์ประกอบในอาหาร หรือการบรรจุหีบห่อ เช่น การรักษาสภาพไร้อากาศในขวดเบียร์ จะช่วยให้อายุการเก็บรักษาอาหารนานขึ้น (วิไล, 2545) สถานะการพาสเจอไรซ์ที่ใช้สำหรับอาหารเส้น ได้แก่ การพาสเจอไรซ์เส้นบะหมี่ที่ปรับให้เป็นกรดด้วยกรดซิตริก ที่อุณหภูมิ 90°C นาน 15 นาที (Ito *et al.*, 1996) การพาสเจอไรซ์เส้นก๋วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที ซึ่งสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°C ได้นาน 31 วัน (อรพรรณ, 2547) และการพาสเจอไรซ์สปาเกตตีโดยใช้อุณหภูมิ 95°C นาน 30 นาที (Irie *et al.*, 2004) การพาสเจอไรซ์อาหารเส้น ส่งผลให้เส้นมีความแข็งแรงน้อยลง เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเส้นพาสเจอไรซ์ที่ต่างจากเส้นสด (อรพรรณ, 2547)

4.2 ความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์ในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน

การให้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ และเอนไซม์ในอาหาร จะต้องใช้ให้เหมาะสม เพื่อให้อาหารที่ได้รับปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค และสารพิษ แต่ต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อคุณภาพอาหารให้เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดด้วย ฉะนั้นจึงต้องทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา-

อุณหภูมิ ที่จำเป็นต่อการทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค และจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงของอาหารแต่ละชนิด และลักษณะการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในอาหาร (วรารุณี, 2538)

4.2.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการต้านทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์

การทำลายจุลินทรีย์ด้วยความร้อน อาจทำให้เกิดการสูญเสียสภาพของโปรตีน หรือยับยั้งเอนไซม์ที่จำเป็นต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์นั้น ทั้งนี้ ระดับความร้อนที่ใช้ทำลายจุลินทรีย์นั้นขึ้นกับ ชนิด สภาพการเจริญ และสภาพแวดล้อมของจุลินทรีย์ในระหว่างให้ความร้อนด้วย ทั้งนี้ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์ มีหลายปัจจัยดังนี้ (วรารุณี, 2538)

ก. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ-เวลา กล่าวคือ ในสถานะที่กำหนด หากอุณหภูมิที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น จะทำให้เวลาที่จำเป็นต้องใช้ลดลง

ข. ความเข้มข้นของสปอร์ หรือเซลล์เริ่มต้น หากสภาพเริ่มต้นมีสปอร์ หรือเซลล์ของจุลินทรีย์ปริมาณมาก จำเป็นต้องใช้ความร้อนที่อุณหภูมิหนึ่ง ระยะเวลาเพิ่มขึ้น เพื่อทำลายสปอร์ หรือเซลล์ทั้งหมดได้

ค. สภาพของเซลล์ปกติ หรือสปอร์ก่อนให้ความร้อน

ง. ส่วนประกอบของสับสเตรต ในที่นี้หมายถึง อาหารที่กำลังจะผ่านกระบวนการให้ความร้อน สิ่งที่ต้องคำนึงถึง ได้แก่

1) ความชื้น โดยปกติ การทำลายจุลินทรีย์ด้วยความร้อนเปียกจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ความร้อนแห้ง

2) ความเข้มข้นของประจุไฮโดรเจน หรือความเป็นกรด-เบส หากเซลล์หรือสปอร์อยู่ในสถานะความเป็นกรด-เบส ไม่เหมาะสม จะทำให้ความต้านทานความร้อนของเซลล์ หรือสปอร์ลดลง

3) ส่วนประกอบอื่นๆ ของสับสเทรต ได้แก่ เกลือ น้ำตาล โปรตีน และไขมัน เป็นต้น ซึ่งอาจมีผลช่วยป้องกันเซลล์ หรือสปอร์จากความร้อน ทั้งนี้ ต้องขึ้นกับสายพันธุ์ของจุลินทรีย์เป็นสำคัญ และปัจจัยด้านอื่นๆ ด้วย

4.2.2 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมภายในภาชนะบรรจุที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร (วรารุณี, 2538) ได้แก่

ก. สภาพสุญญากาศ มีผลกระทบต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศที่มีชีวิตรอดจากการกระบวนแปรรูปอาหาร

ข. ชนิดของแบคทีเรีย

ค. ความเป็นกรด-เบส มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ และการทำลายสปอร์ระหว่างการให้ความร้อน

ง. อุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษา กระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน ในบางสภาวะอาจไม่เพียงพอต่อการทำลายแบคทีเรียบางชนิด หรือเพียงแค่ทำให้แบคทีเรียบาดเจ็บจากกระบวนการแปรรูป ฉะนั้น หากนำอาหารมาบ่มไว้ในระดับอุณหภูมิไม่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรีย อาจทำให้แบคทีเรียลดจำนวน หรือตายในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร

4.3 มาตรฐานอาหารปรุงสุกแล้วแช่เย็น หรือต้องอุ่นก่อนบริโภค

มาตรฐานอาหารปรุงสุกแล้วแช่เย็น หรือต้องอุ่นก่อนบริโภค ตามมาตรฐานของกองอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ซึ่งอาจมีในผลิตภัณฑ์ต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2549) ดังนี้

4.3.1 จุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 1×10^6 โคโลนี/ก

4.3.2 โคลิฟอร์ม น้อยกว่า 500 เอ็มพีเอ็น/ก

4.3.3 อี.โคไล (*E. Coli*) น้อยกว่า 3 เอ็มพีเอ็น/ก

4.3.4 สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส (*S. aureus*) น้อยกว่า 100 โคโลนี/ก

- 4.3.5 บาซิลลัส ซีเรียส (*B. cereus*) น้อยกว่า 100 โคโลนี/ก
- 4.3.6 คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (*C. perfringens*) ต้องไม่พบในตัวอย่าง
- 4.3.7 วิบริโอ พาราฮีโมไลติคัส (*V. parahaemolyticus*) ต้องไม่พบในตัวอย่าง
- 4.3.8 ซัลโมเนลลา (*Salmonellae*) ต้องไม่พบในตัวอย่าง

อี. โคไล เป็นแบคทีเรียแกรมลบ เคลื่อนที่ได้ กระบวนการเมแทบอลิซึมมีทั้ง ออกซิเดทีฟ (oxidative) และการหมัก สามารถสร้างกรดขึ้นจากการหมักน้ำตาลกลูโคส ส่วนมาก พบแบคทีเรียชนิดนี้ในลำไส้ และระบบย่อยอาหารของสัตว์เลือดอุ่น แต่ก็สามารถพบในน้ำได้ บางสายพันธุ์สร้างสารพิษที่ก่อให้เกิดโรค พบแบคทีเรียชนิดนี้ในอาหารจำพวก เนื้อสัตว์ เนื้อย่าง นมสด น้ำแอปเปิล แชนดวีชเนื้อ มายองเนส เป็นต้น ตามปกติแล้ว เชื้อ อี. โคไล เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนที่เกี่ยวข้องกับระบบขับถ่าย (อุจจาระ) ในอาหาร เครื่องดื่ม (วราวุฒ, 2538; USFDA, 2000)

สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส เป็นแบคทีเรียแกรมบวกที่มีการรวมตัวของเซลล์คล้ายพวง องุ่น ต้องการอากาศบ้างในการเจริญ แม้ว่าจะสามารถเจริญได้ในที่ที่มีอากาศน้อย แต่เจริญได้ดีที่สุดในสภาวะที่มีอากาศ อุณหภูมิที่สามารถเจริญได้อยู่ในช่วง 10-45°C แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ ประมาณ 35°C ความเป็นกรด-เบส ที่สามารถเจริญได้คือ 4.5-9.3 แต่ช่วงที่เหมาะสมทำให้เจริญได้ดีคือช่วง 7.0-7.5 กระบวนการเมแทบอลิซึมมีทั้งใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน สามารถหมักคาร์โบไฮเดรตได้หลายชนิด เป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างสารพิษในอาหาร สารพิษที่สร้างทนความร้อนได้ดี เป็นสาเหตุของโรคอาหารเป็นพิษ แต่ตัวเซลล์ของแบคทีเรียไม่ทนความร้อน ดังนั้น ความร้อนไม่สูงมาก เช่น ความร้อนที่ใช้ปรุงอาหาร ก็สามารถทำลายแบคทีเรียชนิดนี้ได้ แบคทีเรียชนิดนี้มีอยู่ตามจุก ลำคอ มือ ผิวน้ำ ของสัตว์ ดังนั้นจึงพบแบคทีเรียชนิดนี้ปนเปื้อนมากับอาหารประเภทโปรตีน เช่น ไข่ เนื้อ ปลา ผลิตภัณฑ์นม แยม เป็นต้น และสามารถพบได้ในพวก มันฝรั่ง ซอส ครีม อีกด้วย หรือพบในอาหารที่ต้องมีการจัดเตรียมไว้ก่อน เช่น สลัด และคัสตาร์ด เป็นต้น (วราวุฒ, 2538; Lampel, 1999; USFDA, 2000)

บาซิลลัส ซีเรียส เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างท่อน อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญคือ 28-35°C (สามารถเจริญได้บ้างในช่วงอุณหภูมิต่ำสุด 4-5°C สูงสุด 48°C) ความเป็นกรด-เบส 4.9-9.3 ความเข้มข้นเกลือมากกว่า 7.5% แบคทีเรียชนิดนี้สามารถสร้างสปอร์ได้ สปอร์ทนร้อนได้สูง และงอกได้เร็ว บางสายพันธุ์งอกในเวลาเพียง 30 นาที แบคทีเรียชนิดนี้ก่อให้เกิดโรคในมนุษย์ สร้างสารพิษ ทำให้เกิดอาการท้องเสีย และอาเจียน และมักจะผลิตสารพิษในอาหารประเภท

ที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก คัสตาร์ด และผลิตภัณฑ์นม เป็นต้น แบคทีเรียชนิดนี้ส่วนใหญ่พบในดิน ทำให้ปะปนมากับพืชผักได้ อาหารที่ปนเปื้อนแบคทีเรียชนิดนี้ เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เครื่องเทศ กล้วยพืช ข้าวผัด สปอร์ของแบคทีเรียชนิดนี้ทนต่อกระบวนการหุงต้มข้าว ฉะนั้น ข้าวหุงสุกที่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง อาจมีสารพิษจากแบคทีเรียนี้ได้ (วรารุณี, 2538; Dahl, 1999; USFDA, 2000)

คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ สามารถสร้างสารพิษในทางเดินอาหารได้ ทำให้ปวดท้อง ท้องร่วง พบในคนที่รับประทานอาหารแช่เย็นในอุณหภูมิไม่เหมาะสม และอาหารที่อุ่นซ้ำโดยใช้ความร้อนไม่เพียงพอ โดยปกติแล้ว พบสปอร์ของแบคทีเรียชนิดนี้ในเนื้อสัตว์ดิบ และอาจพบในเนื้อสัตว์ปรุงสุกแล้วบ้าง ฉะนั้น การแช่เย็นอาหารปรุงสุก โดยอุณหภูมิแช่เย็นไม่เหมาะสม อาจทำให้สปอร์เหล่านี้งอก และเจริญได้ และหากไม่อุ่นอาหารด้วยความร้อนที่เพียงพอก่อนบริโภค เชลล์เหล่านี้จะเจริญ และเพิ่มจำนวนขึ้นมาก ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ (วรารุณี, 2538; USFDA, 2000)

วibriโอ พาราอีโมไลติคัส เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค ซึ่งพบในอาหารทะเล และอาหารที่ปนเปื้อนน้ำสกปรก นอกจากนี้ สามารถพบได้ในพวกผักสด นม และน้ำดื่มที่ไม่สะอาดเพียงพอ การเก็บอาหารสด/ดิบ ที่อุณหภูมิต่ำ ก่อนการแปรรูป จะช่วยให้เชื้อเจริญอย่างช้าๆ การให้ความร้อนเกิน 60°C สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ชนิดนี้ได้ เพราะไม่ทนต่อความร้อน (วรารุณี, 2538; USFDA, 2000)

ซัลโมเนลลา เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในแฟมิลีเดียวกับ อี. โคไล คือ แฟมิลีเอนเทอโรแบคทีเรียซี (enterobacteriaceae) เชื้อชนิดนี้ก่อให้เกิดโรคลำไส้และระบบทางเดินอาหารเข้าไป สามารถพบซัลโมเนลลาปะปนอยู่ในธรรมชาติทั่วไป ในลำไส้สัตว์ นก และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ฉะนั้น จึงอาจปนเปื้อนในอาหารได้หลากหลาย อาหารที่พบซัลโมเนลลา ได้แก่ เนื้อ ไข่ นมสด น้ำ กุ้ง หอย ปู ปลา อาหารสัตว์ ผัก และผลไม้ หากได้รับเชื้อชนิดนี้เข้าสู่ร่างกายแม้เพียงเซลล์เดียว ก็สามารถป่วยได้ ฉะนั้น จึงเป็นเชื้อที่สำคัญ สำหรับการพาเชื้อโรคอาหารให้ปลอดภัย อุณหภูมิสูงที่สุดที่ซัลโมเนลลาสามารถเจริญได้ คือ 49.5°C เพราะเชื้อจุลินทรีย์ชนิดนี้ไม่ทนต่อความร้อน จึงสามารถฆ่าได้ง่ายแค่ความร้อนระดับพาเชื้อโรคเท่านั้น อย่างไรก็ตาม การทนความร้อนของซัลโมเนลลา ขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่น วอเตอร์แอกทิวิตี (water activity) ความเป็นกรดเบส และวิธีการให้ความร้อน เป็นต้น (วรารุณี, 2538; USFDA, 2000)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

ข้าวเจ้าเต็มเมล็ดพันธุ์ชัยนาท 1 อายุ 4 เดือน จากกรมวิชาการเกษตร (ปี 2547)

2. อุปกรณ์ในการผลิตแป้ง และตัดแปรแป้งข้าว

2.1 เครื่องโม่หินไฟฟ้า (Double-disc stone mill) ประเทศไทย

2.2 เครื่องเหวี่ยงแยกน้ำแบบตะกร้า (Basket centrifuge) รุ่น H-130G ผลิตโดยบริษัท

Kokusen Ensinki Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

2.3 ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) ยี่ห้อ Eureka ประเทศไทย

2.4 เครื่องบดตัวอย่างแห้ง (Ultra-centrifugal mill) รุ่น ZM1 ผลิตโดยบริษัท Retch ประเทศ

เยอรมัน

2.5 ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช ผลิตโดยบริษัท Retch ประเทศเยอรมัน

2.6 ภาชนะเหล็กกล้าปลอดสนิมทรงกลม มีฝาปิด

2.7 ตู้ฉายรังสียูวี ภายในประกอบด้วยหลอดไฟผลิตรังสียูวี ยี่ห้อ Philips No. TL. 100W/01 ยาว 176 ซม. เส้นรอบวง 5.8 ซม. ผลิตรังสียูวีในช่วงคลื่น 310-330 นาโนเมตร จำนวน 4 หลอด

2.8 ตู้เย็นรุ่น SF-C65 ผลิตโดยบริษัท Sanyo (Thailand) Co., Ltd.

2.9 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) รุ่น ULE500 ผลิตโดยบริษัท Memmert ประเทศเยอรมัน

3. อุปกรณ์ในการผลิต และฆ่าเชื้อเส้นก๊วยเตี๋ยว

3.1 เครื่องนึ่งอาหารไฟฟ้า รุ่น HS-639 ผลิตโดยบริษัท Freedom Development ประเทศไทย
ได้หวัน

3.2 เครื่องตัดเส้นเล็ก

3.3 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ รุ่น WB29 ผลิตโดยบริษัท Memmert ประเทศเยอรมัน

3.4 ชุดเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ประกอบด้วย หัววัดอุณหภูมิ (Thermocouple) กล้องวิเคราะห์ และเก็บข้อมูล (Data logger) และเครื่องพิมพ์ (Printer)

3.5 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น GT4100 ผลิตโดยบริษัท Ohaus Corp. ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.6 นาฬิกาจับเวลา

4. อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพ

4.1 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

4.1.1 ปีเปตต์

4.1.2 หลอดไมโครเซนทรีฟิวส์

4.1.3 เครื่องเขย่าผสม (Vortex mixer)

4.1.4 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) รุ่น Spectro 23 ผลิตโดย บริษัท LabMed ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.1.5 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ รุ่น WB29 ผลิตโดยบริษัท Memmert ประเทศเยอรมัน

4.1.6 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น Damon/IEC Division ผลิตโดยบริษัท IEC Clinical Centrifuge ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.1.7 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน (Kjeldahl apparatus, Buchi)

4.1.8 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (1043 Soxtec system HT6) ผลิตโดย Tecator AB ประเทศสวีเดน

4.1.9 เตาเผา (Muffle furnace) รุ่น FSE-621 Series ผลิตโดยบริษัท Sanyo Gallenkamo ประเทศอังกฤษ

4.1.10 เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (pH meter) รุ่น 410A ผลิตโดยบริษัท Orion Research, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.1.11 เครื่องวัดค่าออกซิเจนอิ่มตัว รุ่น Testo 650 ผลิตโดยบริษัท Testo GmbH&Co. ประเทศเยอรมัน

4.1.12 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

4.2 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์

4.2.1 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น AP210 S ผลิตโดยบริษัท Ohaus Corp. ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.2.2 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (Shaking water bath) รุ่น WB29 ผลิตโดยบริษัท Memmert ประเทศเยอรมัน

4.2.3 หลอดพลาสติกมีฝาเกลียวปิดใช้กับเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge tube)

4.2.4 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น Damon/IEC Division ผลิตโดยบริษัท IEC Clinical Centrifuge ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.2.5 กระป๋องอะลูมิเนียมสำหรับวิเคราะห์ความชื้น (moisture can)

4.2.6 เครื่องวัดสีรุ่น CM-3500d ผลิตโดยบริษัท Minolta ประเทศญี่ปุ่น

4.2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5600LV ประเทศอังกฤษ

4.3 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์

4.3.1 เครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์ (Brookfield viscometer) รุ่น RVDV-III ผลิตโดยบริษัท Brookfield Engineering Labs ประเทศสหรัฐอเมริกา

4.3.2 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid visco analyzer, RVA) รุ่น RVA4 ผลิตโดยบริษัท Newport Scientific Instruments & Engineering ประเทศออสเตรเลีย

4.3.3 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyser) รุ่น TA-XT2 ผลิตโดยบริษัท Stable Micro System ประเทศอังกฤษ

4.3.4 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ (X-ray diffractometer) รุ่น JDX-3530 ผลิตโดยบริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น

4.3.5 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ หรือดีเอสซี (Differential scanning calorimeter, DSC) รุ่น Pyris1 ผลิตโดยบริษัท Perkin-Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา

5. อุปกรณ์ประมวลผล และวิเคราะห์ผลทางสถิติ

5.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

5.2 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 11.5

6. สารเคมี

6.1 สารเคมีในการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส ได้แก่ ไอโอดีน โพแทสเซียมไอโอไดด์

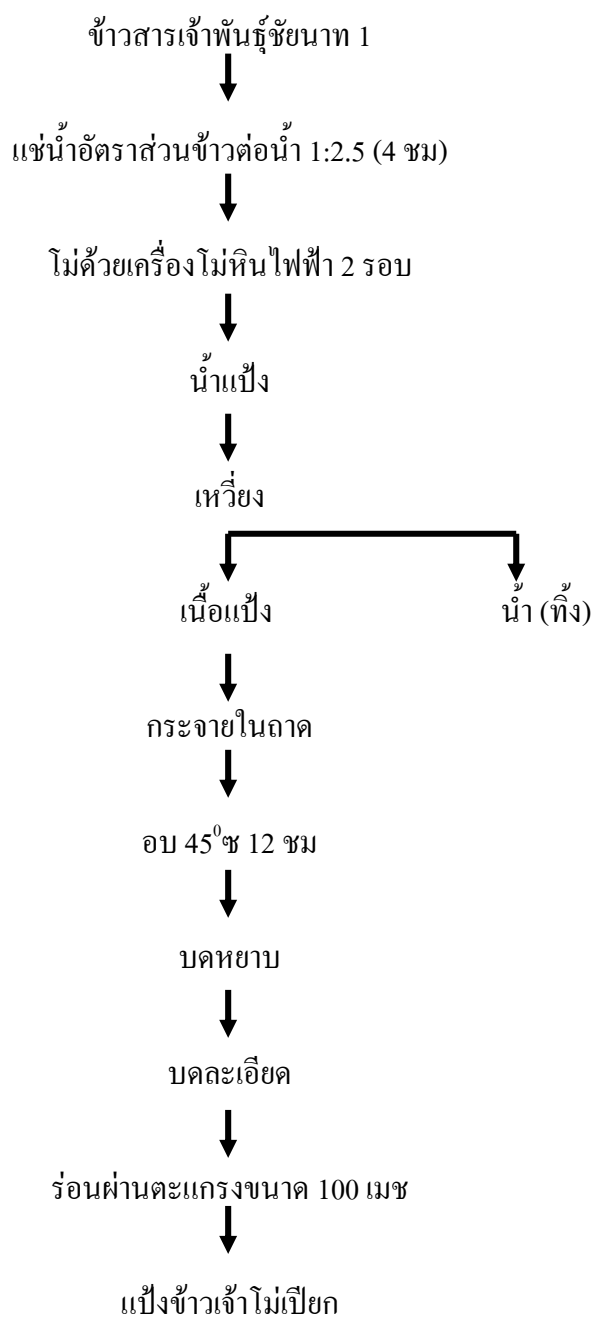
6.2 สารเคมีในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ได้แก่ กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 95-97% คอปเปอร์ซัลเฟต โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดบอริก โพแทสเซียมซัลเฟต กรดไฮโดรคลอริก เมทิลเรด และโบรโมครีซอลกรีน

6.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ได้แก่ ปีโคเรเลียมอีเธอร์

วิธีการ

1. การเตรียมวัตถุดิบแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1

ผลิตแป้งข้าวโม้เปียกตามวิธีของอรพรรณ (2547) โดยนำข้าวเจ้าเต็มเมล็ดพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ขัดสี และผ่านการเก็บเกี่ยวมาแล้ว 6 เดือน มาล้างทำความสะอาด แล้วแช่น้ำด้วยอัตราส่วนของข้าวต่อน้ำ 1:2.5 นาน 4 ชม จากนั้นนำไปโม่ด้วยเครื่องโม่หินไฟฟ้า 2 รอบ ใช้อัตราส่วนของข้าวต่อน้ำในการโม่ คือ 1:2 นำน้ำแป้งที่ได้ใส่ในถุงผ้าดิบ ผูกปากถุงให้แน่น เหยียงแยกน้ำออกด้วยเครื่องเหยียงแยกน้ำแบบตะกร้า กระจายก้อนแป้งที่ได้จากการเหยียงแยกน้ำให้เป็นก้อนเล็กๆ กระจายในถาด จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ $45 \pm 5^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 12 ชม แล้วพักแป้งไว้ให้เย็น ก่อนนำมาบดลดขนาด แล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช ได้แป้งโม้เปียก นำไปบรรจุในถุงพลาสติกหนาปิดผนึกสนิท ซึ่งบรรจุอยู่ในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์กันแสงอีกชั้นหนึ่ง เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4°C เพื่อเก็บเป็นวัตถุดิบในการนำไปใช้งานในขั้นต่อไป (ดังภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 วิธีผลิตแป้งข้าวเจ้าโมเปียก

ที่มา: อรพรรณ (2547)

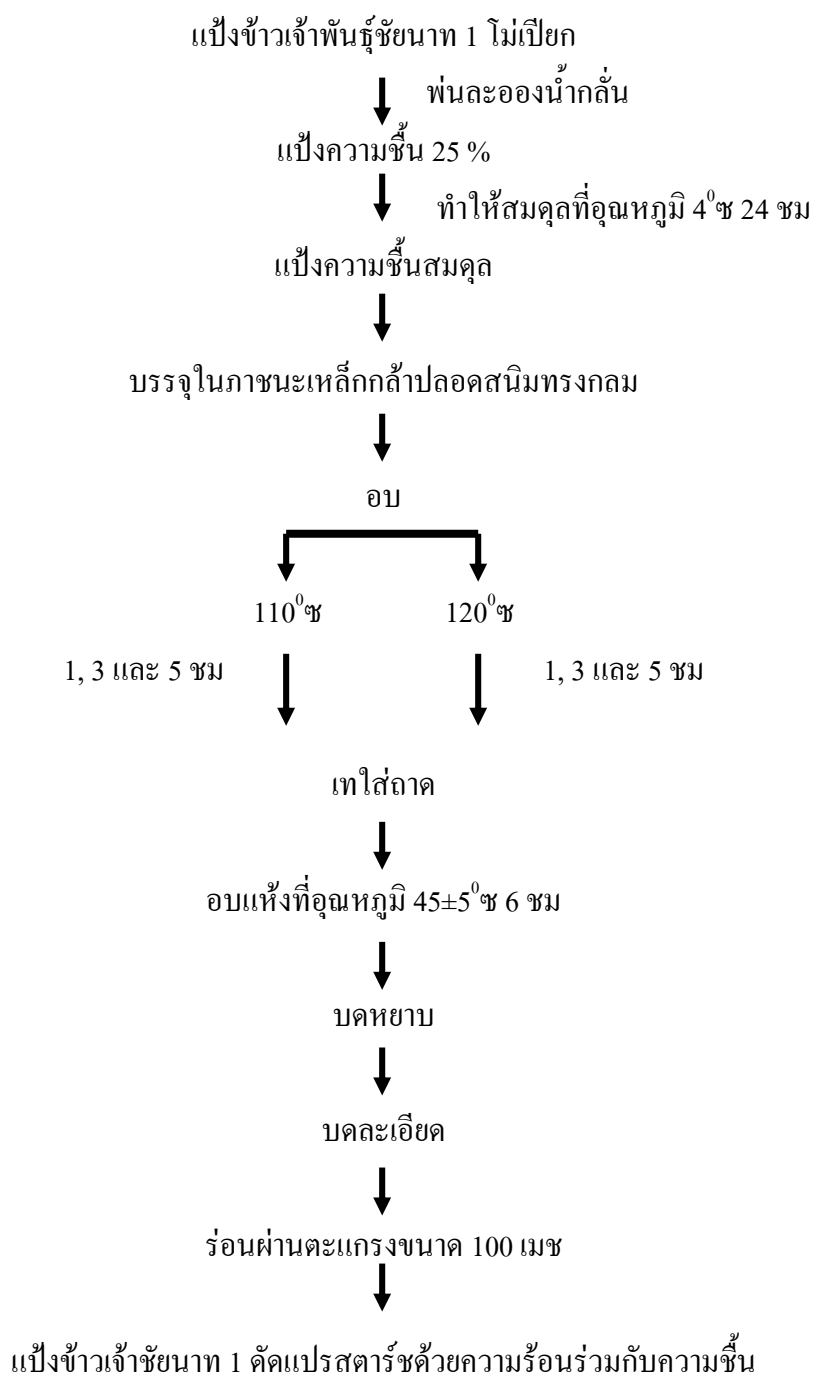
2. การดัดแปรสตาบิลในแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1

2.1 การดัดแปรสตาบิลในแป้งข้าวเจ้าโดยใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น (Heat-moisture treatment; HMT)

ซึ่งแป้งจากวัตถุดิบแป้งข้าวเจ้าโมเปียกในข้อ 1 ที่ทราบปริมาณความชื้น จำนวน 550 ก ใส่น้ำในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน จากนั้นพ่นละอองน้ำกลั่นลงบนแป้ง เพื่อปรับปริมาณความชื้นให้เป็น 25 % (โดยการคำนวณ) ผสมให้เข้ากัน ปิดผนึกถุงให้สนิท ทำให้เกิดความชื้นสมดุลโดยเก็บถุงบรรจุแป้งปรับความชื้นไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4⁰ซ นาน 24 ชม นำถุงบรรจุแป้งออกมาตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชม เพื่อปรับอุณหภูมิแป้งให้เท่าอุณหภูมิห้อง จากนั้นบรรจุแป้งปรับความชื้นลงในภาชนะเหล็กกล้าปลอดสนิม ปิดผนึกฝาให้แน่น แล้วนำภาชนะดังกล่าวใส่น้ำในตู้อบลมร้อนควบคุมอุณหภูมิ กำหนดอุณหภูมิเป็น 110 และ 120⁰ซ อบนาน 1, 3 และ 5 ชม เมื่อครบกำหนดเวลานำแป้งออกจากภาชนะดังกล่าว เทใส่ถาดเกลี่ยแป้งบางๆ อบในตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 45±5⁰ซ เป็นเวลา 6 ชม นำแป้งดัดแปรสตาบิลที่ได้ไปไม่หยาบด้วยเครื่องบดหยาบ และไม่ละเอียดด้วยเครื่องบดของแข็งแห้ง แล้วจึงร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช เก็บแป้งดัดแปรสตาบิลที่ได้ในถุงพอลิเอทิลีน ปิดผนึกให้แน่น เพื่อนำไปใช้งานในการทดลองต่อไป โดยมีสภาวะในการดัดแปรดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การดัดแปรสตาบิลในแป้งข้าวชัยนาท 1 ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นสภาวะต่างๆ

ตัวอย่างที่	ตัวอย่าง/สภาวะที่ใช้ดัดแปร	อักษรย่อ
1	แป้งข้าวชัยนาท 1	CN1
2	แป้งดัดแปรสตาบิลที่อุณหภูมิ 110 ⁰ ซ นาน 1 ชม	HMT110-1
3	แป้งดัดแปรสตาบิลที่อุณหภูมิ 110 ⁰ ซ นาน 3 ชม	HMT110-3
4	แป้งดัดแปรสตาบิลที่อุณหภูมิ 110 ⁰ ซ นาน 5 ชม	HMT110-5
5	แป้งดัดแปรสตาบิลที่อุณหภูมิ 120 ⁰ ซ นาน 1 ชม	HMT120-1
6	แป้งดัดแปรสตาบิลที่อุณหภูมิ 120 ⁰ ซ นาน 3 ชม	HMT120-3
7	แป้งดัดแปรสตาบิลที่อุณหภูมิ 120 ⁰ ซ นาน 5 ชม	HMT120-5



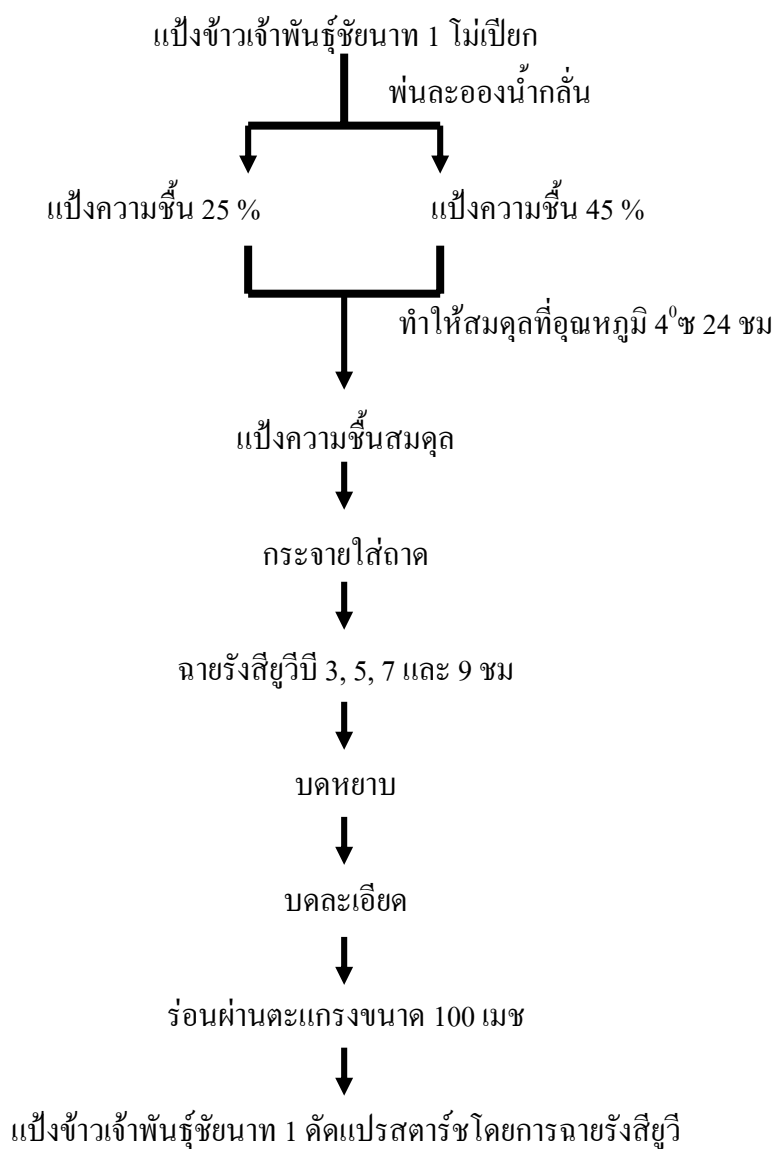
ภาพที่ 17 วิธีผลิตแป้งข้าวเจ้าชัชนาท 1 คัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น
ที่มา: คัดแปลงจาก พิณทิพย์ (2547)

2.2 การดัดแปรสสารในแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 โดยใช้รังสียูวี (UV-irradiation method)

ซึ่งแป้งข้าวเจ้าไม่เปียกในข้อ 1 ที่ทราบปริมาณความชื้น จำนวน 330 ก ใส่ในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน จากนั้นพ่นละอองน้ำกลั่นลงบนแป้ง เพื่อปรับปริมาณความชื้นให้เป็น 25 % และ 45 % (โดยการคำนวณ) ผสมให้เข้ากัน จากนั้นปิดผนึกถุงให้สนิท ทำให้เกิดความชื้นสมดุล โดยเก็บถุงบรรจุแป้งปรับความชื้นไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4°C นาน 24 ชม นำถุงบรรจุแป้งออกมาตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชม เพื่อปรับอุณหภูมิแป้งให้เท่าอุณหภูมิห้อง จากนั้นเทแป้งปรับความชื้นลงในภาชนะจากเหล็กกล้าปลอดสนิมจำนวน 4 ภาชนะเท่าๆ กัน เคลี่ยแป้งให้กระจายตัวเป็นชั้นบางๆ แล้วนำภาชนะใส่ในตู้ฉายรังสียูวีบี ที่ผลิตช่วงความยาวคลื่น 310-330 นาโนเมตร นาน 3, 5, 7 และ 9 ชม เมื่อครบกำหนดเวลาจึงนำภาชนะออกจากตู้ฉายรังสียูวีบี หากแป้งดัดแปรสสารตัวอย่างใดยังไม่แห้ง (ความชื้นมากกว่า 12 %) ให้นำไปอบในตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ $45 \pm 5^{\circ}\text{C}$ จนกว่าจะแห้ง (ความชื้นต่ำกว่า 12 %) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 4 ชม นำแป้งดัดแปรสสารที่ได้ไปไม่หยาบด้วยเครื่องบดหยาบ และโมลอะเอียดด้วยเครื่องบดของแข็งแห้ง แล้วจึงร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช เก็บแป้งดัดแปรสสารที่ได้ในถุงพอลิเอทิลีน ปิดผนึกให้แน่น เพื่อนำไปใช้งานในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 3 การดัดแปรสสารในแป้งข้าวชัยนาท 1 ด้วยรังสียูวีบี สภาวะต่างๆ

ตัวอย่างที่	ตัวอย่าง/สภาวะที่ใช้ดัดแปร	อักษรย่อ
8	แป้งปรับความชื้นเป็น 25% ฉายรังสียูวีบี นาน 3 ชม	UV25-3
9	แป้งปรับความชื้นเป็น 25% ฉายรังสียูวีบี นาน 5 ชม	UV25-5
10	แป้งปรับความชื้นเป็น 25% ฉายรังสียูวีบี นาน 7 ชม	UV25-7
11	แป้งปรับความชื้นเป็น 25% ฉายรังสียูวีบี นาน 9 ชม	UV25-9
12	แป้งปรับความชื้นเป็น 45% ฉายรังสียูวีบี นาน 3 ชม	UV45-3
13	แป้งปรับความชื้นเป็น 45% ฉายรังสียูวีบี นาน 5 ชม	UV45-5
14	แป้งปรับความชื้นเป็น 45% ฉายรังสียูวีบี นาน 7 ชม	UV45-7
15	แป้งปรับความชื้นเป็น 45% ฉายรังสียูวีบี นาน 9 ชม	UV45-9



ภาพที่ 18 วิธีผลิตแบ่งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 คัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี

ที่มา: คัดแปลงจาก เนตรนภิส (2004)

3. การตรวจสอบสมบัติของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ปกติ และแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ดัดแปรสตาร์ช

3.1 การตรวจสอบสมบัติทางเคมีฟิสิกส์

3.1.1 สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด (AACC method 61-02, 2000)

ตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyser; RVA) ตามวิธีการของ AACC (2000) เพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุดขณะร้อน (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (tough) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าความหนืดลดลง (breakdown) และค่าเซตแบค (setback)

3.1.2 กำลังการพองตัว และร้อยละการละลายของเม็ดสตาร์ช (ดัดแปลงวิธีของ Scotch, 1959 ดังแสดงในตารางผนวกที่ ข2)

3.1.3 ตรวจสอบลักษณะ โครงสร้างผลึก (crystallinity) (ดัดแปลงจาก Perera *et al.*, 1997)

ตรวจสอบด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ (x-ray diffractometer) คำนวณเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกโดยเปรียบเทียบ (% relative crystallinity) (แสดงวิธีคำนวณในภาคผนวก ข3) โดยดัดแปลงวิธีการของ Adebawale *et al.* (2005) กำหนดค่าความต่างศักย์ที่ 35 กิโลโวลต์ ใช้กระแสไฟฟ้า 40 มิลลิแอมป์ และสแกนในช่วงมุม 2θ เท่ากับ 3-30 องศา

3.1.4 สมบัติการเกิดเจลในเซชัน และการเกิดรีโทรเกรเดชัน (ดัดแปลงวิธีการของ Lu *et al.*, 1996)

ใส่แป้งข้าวเจ้าปริมาณ 7.0 มิลลิกรัม ลงในภาชนะสแตนเลส (stainless pan) แล้วจึงเติมน้ำกลั่นจนได้อัตราส่วนแป้งต่อน้ำเท่ากับ 30 ต่อ 70 ปิดฝาให้สนิท บ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4°C ข้ามคืน จากนั้น นำภาชนะสแตนเลสที่บรรจุแป้งตัวอย่างออกจากตู้บ่ม และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนานกว่า 1 ชม จึงนำมาวิเคราะห์การเกิดเจลในเซชันด้วยเครื่องดีเอสซีโดยใช้ภาชนะ สแตนเลสเปล่าเป็นตัวอย่างอ้างอิง และกำหนดอุณหภูมิให้ความร้อนที่ 30 ถึง 150°C โดยมีอัตราการเพิ่ม

และลดของอุณหภูมิเป็น 10^0 ซ ต่อนาที วิเคราะห์หาอุณหภูมิที่จุดเริ่มต้น (onset temperature, T_o) อุณหภูมิที่จุดสูงสุด (peak temperature, T_p) อุณหภูมิที่จุดสุดท้าย (conclusion temperature, T_c) ช่วงกว้างของอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ($T_c - T_o$) และพลังงานเอนทัลปี (enthalpy, ΔH) ที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีโนเซชัน

3.2 การตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์

3.2.1 ตรวจสอบขนาด และรูปร่างของเม็ดสตาร์ชในแป้งข้าวเจ้า

โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) ตรวจสอบลักษณะ รูปร่าง และขนาดของเม็ดสตาร์ช

3.2.2 สี

ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดสี (Minolta Spectrophotometer รุ่น CM-3500D) โดยนำตัวอย่างแป้งบรรจุในภาชนะใสทรงกระบอกสำหรับวัดสีของเครื่อง ประมาณ 2 ใน 3 ของภาชนะ และบันทึกค่าของสีที่วัดได้ในแบบของ CIE เป็น L^* , a^* และ b^*

3.3 การตรวจสอบสมบัติทางเคมี โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า ปกติ แป้งข้าวเจ้าคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และแป้งข้าวเจ้าคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี เพื่อคัดเลือกมาใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

3.3.1 ปริมาณแอมิโลส โดยใช้ วิธีของ Juliano (1971)

3.3.2 ปริมาณโปรตีน ตามวิธีการ AOAC (1990)

3.3.3 ปริมาณไขมัน ตามวิธีการ AOAC (1990)

3.3.4 ปริมาณเถ้า ตามวิธีการ AOAC (1990)

3.3.5 ความชื้น ตามวิธีการของ AACC method 44-15A (2000)

4. การตรวจสอบน้ำแป้ง และเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อคัดเลือกสูตรสำหรับการพาสเจอไรซ์

4.1 วัดความหนืดของน้ำแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

เตรียมน้ำแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวเจ้าชัณนาท 1 และการทดแทนแป้งข้าวเจ้าชัณนาท 1 ด้วยแป้งข้าวเจ้าชัณนาท 1 คัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่คัดเลือกแล้ว และแป้งข้าวเจ้าชัณนาท 1 คัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่คัดเลือกแล้ว ปริมาณ 5, 10 และ 20 % ตามตารางที่ 4 แช่น้ำแป้งนาน 3 ชม จากนั้น วัดความหนืดของน้ำแป้งด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิลด์ (Brookfield) ที่อุณหภูมิ 25⁰ซ และกวนน้ำแป้งให้เข้ากันก่อนวัดความหนืด ด้วยหัววัดเบอร์ 21 ความเร็วรอบ 90 รอบต่อนาที (rpm) และใช้ปริมาณน้ำแป้ง 8 มล. (ดัดแปลงจาก Shi and Bemiller, 2002)

4.2 การผลิตและการตรวจสอบคุณภาพก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กอบแห้ง

4.2.1 การผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กอบแห้งจากแป้งปกติ

เตรียมน้ำแป้งข้าวเจ้าความเข้มข้น 40 % จากแป้งข้าวโม้เปียกในข้อ 1 แช่น้ำแป้งเป็นเวลา 3 ชม โดยเว้นระยะการกวนน้ำแป้งทุกๆ 0.5 ชม เมื่อครบเวลาที่กำหนดให้กวนผสมน้ำแป้งให้เข้ากันอีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงเทน้ำแป้งใส่ถาดเหล็กกล้าปลอดสนิมขนาด 20x30 ซม. ถาดละ 55 ก จากนั้นนำไปนึ่งด้วยเครื่องนึ่งอาหารไฟฟ้า 5 นาที ทิ้งให้แผ่นแป้งเย็นประมาณ 5 นาที แล้วลอกแผ่นแป้งออกจากถาด กลับแผ่นแป้งนำด้านล่างขึ้นตากลมเพื่อลดความชื้นประมาณ 5 นาที ซ้อนแผ่นแป้งทับกันประมาณ 10 แผ่น โดยมีพลาสติกคั่นระหว่างแผ่น นำใส่ถุงพลาสติกปิดผนึกให้เรียบร้อย ก่อนนำไปบ่มในตู้เย็นอุณหภูมิ 4⁰ซ นาน 6 ชม แล้วจึงตัดแผ่นแป้งด้วยเครื่องตัดเส้นเล็ก นำเส้นเล็กสดมาเรียงใส่ถาด อบแห้งที่อุณหภูมิ 45±5⁰ซ ประมาณ 2-3 ชม บรรจุก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กอบแห้งในถุงพอลิเอทิลีน ปิดผนึกให้เรียบร้อย เพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

4.2.2 การผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กอบแห้งโดยใช้แป้งข้าวเจ้าคัดแปรสตาร์ชทดแทนแป้งข้าวเจ้าปกติบางส่วน

นำแป้งข้าวเจ้าคัดแปรสตาร์ชโดยใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น และวิธีฉายรังสียูวี จากข้อ 2.1 และ 2.2 ที่คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยว มาแทนที่แป้งข้าว

เข้าปกติในปริมาณ 5, 10 และ 20 % จากนั้นนำไปเตรียมน้ำแป้งข้าวเจ้าเข้มข้น 40 % เพื่อทำเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้งในวิธีเดียวกันกับการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าปกติในข้อ 4.2.1

ตารางที่ 4 สูตรส่วนผสมแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก

สูตร	แป้งที่ผลิตเป็นก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก	อักษรย่อ
ก	แป้งข้าวชัณนาท 1	CN1
ข	แทนที่แป้งข้าวชัณนาท 1 ด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อน ร่วมกับความร้อน ที่อุณหภูมิ 120 ⁰ ซ นาน 5 ชม ปริมาณ 5%	5% HMT120-5
ค	แทนที่แป้งข้าวชัณนาท 1 ด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อน ร่วมกับความร้อน ที่อุณหภูมิ 120 ⁰ ซ นาน 5 ชม ปริมาณ 10%	10% HMT120-5
ง	แทนที่แป้งข้าวชัณนาท 1 ด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อน ร่วมกับความร้อน ที่อุณหภูมิ 120 ⁰ ซ นาน 5 ชม ปริมาณ 20%	20% HMT120-5
จ	แทนที่แป้งข้าวชัณนาท 1 ด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชที่ปรับความชื้น แป้งเป็น 45% แล้วฉายรังสียูวีบีนาน 7 ชม ปริมาณ 5%	5% UV45-7
ฉ	แทนที่แป้งข้าวชัณนาท 1 ด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชที่ปรับความชื้น แป้งเป็น 45% แล้วฉายรังสียูวีบีนาน 7 ชม ปริมาณ 10%	10% UV45-7
ช	แทนที่แป้งข้าวชัณนาท 1 ด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชที่ปรับความชื้น แป้งเป็น 45% แล้วฉายรังสียูวีบีนาน 7 ชม ปริมาณ 20%	20% UV45-7

4.2.3 ตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (TA-XT2)

การวัดเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser) ดัดแปลงวิธี AACC (2000) ใช้หัววัด A/LKB ตัดตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวยาว 5 ซม. ด้วยแรงกดที่ 5 กก. เป็นระยะทาง 60% ของความสูงของตัวอย่าง วิเคราะห์ผลค่าแรงสูงสุดที่ใช้ตัด เป็นค่าความแน่นเนื้อ (firmness) และพื้นที่ได้กราฟ เป็นงานที่ใช้ในการตัด (total work to cut) ดังแสดงวิธีในภาคผนวก ก1 และวัดค่าแรงด้านการดึงด้วยหัววัดA/SPR ตามวิธีในภาคผนวก ก2 ในการเตรียมน้ำเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อวัดเนื้อสัมผัสนั้น หากเป็นเส้นอบแห้งให้แช่ในน้ำกรอง 10 นาที ก่อนลวกน้ำเดือด

15 วินาที สะเด็ดน้ำ คลุกน้ำปรุงถ้วยเดียว เก็บเส้นถ้วยเดียวในภาชนะบรรจุปิดฝาสนิท แล้วนำไปวัดเนื้อสัมผัสภายใน 15 นาที หลังลวก ทำ 5 ซ้ำ ต่อตัวอย่าง

4.2.4 ทดสอบทางประสาทสัมผัส

ตรวจสอบสมบัติทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการประเมินคุณภาพเชิงปริมาณ ด้วยผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝน 15 คน ให้คะแนนความเข้มในด้านต่างๆ คือ ความกระด้าง ความยืดหยุ่น ความแน่นเนื้อ โดยทำเครื่องหมายลงบนเส้นตรงยาว 15 ซม. ที่บริเวณห่างจากปลายทั้งสองข้างด้านละ 1 ซม. (แสดงแบบทดสอบในภาคผนวก ง) (ดัดแปลงจาก อรพรรณ, 2547)

4.3 ตรวจสอบลักษณะเนื้อเส้นถ้วยเดียวสด

โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เตรียมตัวอย่างสดโดยนำเส้นถ้วยเดียวอบแห้งมาแช่น้ำ 10 นาที ลวกน้ำเดือด 15 วินาที ทำให้เย็นโดยจุ่มในน้ำอุณหภูมิห้องสักครู่ เทในโครเจนเหลวใส่เส้นถ้วยเดียวที่ลวกแล้ว เพื่อทำให้น้ำในเส้นแข็งตัว จากนั้นนำไปทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze drying) เก็บตัวอย่างในโถดูดความชื้น (desiccator) จากนั้น หักเส้นถ้วยเดียวนำมาติดบนฐานทรงกลมโดยหันด้านรอยหักขึ้นด้านบน นำตัวอย่างไปเคลือบทอง และส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ดัดแปลงจาก Chewangkul *et al.*, 2001)

5. การผลิตถ้วยเดียวเส้นเล็กพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวปิดสนิท

5.1 การเตรียมเส้นถ้วยเดียวสำหรับพาสเจอไรซ์

แช่ถ้วยเดียวเส้นเล็กอบแห้งในน้ำกรอง 10 นาที สะเด็ดน้ำ ลวกเส้นถ้วยเดียวในน้ำต้มเดือด 15 วินาที สะเด็ดน้ำ ปรุงด้วยน้ำปรุง และคลุกด้วยเครื่อง บรรจุถ้วยเดียวพร้อมเครื่องปรุงที่คลุกเคล้าเข้ากันลงในภาชนะอ่อนตัวทนความร้อน ปิดผนึกถุงแบบสุญญากาศบางส่วนก่อนนำไปพาสเจอไรซ์

การให้น้ำปรุงรส โดยผสมส่วนผสมของน้ำปรุงรสให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม จากนั้นแบ่งน้ำปรุงรส 35.5 ก ต่อถ้วยเดียว 1 ถ้วย สูตรให้น้ำปรุงรสมีสัดส่วนดังนี้ (ดัดแปลงจาก เส้นทางสุขภาพ, 2550)

1) น้ำตาลทราย	6	ก
2) พริกป่น	0.5	ก
3) กระเทียมเจียว	1	ก
4) ไข่ไก่หั่น	5	ก
5) น้ำพริกเผา	5	ก
6) ซีอิ๊วขาวสูตร 1	9	ก
7) น้ำส้มสายชูกลั่น	9	ก

วัตถุดิบทำก๋วยเตี๋ยวปรุงรสรวมน้ำหนัก 110 ก ต่อ 1 ถัง มีสัดส่วนดังนี้

1) เส้นก๋วยเตี๋ยวลวกแล้ว	50	ก
2) ข้าวโพดอ่อนซอยเป็นแว่น	15	ก
3) แครอทหั่นลูกเต๋า	15	ก
4) หมูสับหมัก	15	ก
5) ลูกชิ้นหมูซอยเป็นแว่น	15	ก

ดังนั้น ผลิตรสชาติก๋วยเตี๋ยวปรุงรส 1 ถัง มีน้ำหนัก 145.5 ก โดยมีอัตราส่วนวัตถุดิบ ต่อ น้ำปรุงเท่ากับ 110:35.5 หรือ 3.1:1

5.2 การหาเวลารวมทั้งหมดในการพาสเจอไรซ์เส้นก๋วยเตี๋ยว

ในการทดลองนี้ใช้อุณหภูมิในการพาสเจอไรซ์เส้นก๋วยเตี๋ยว 90°C 5 นาที ถังที่นำมาวัดอุณหภูมิเส้นก๋วยเตี๋ยว เพื่อหาเวลาการพาสเจอไรซ์นั้น ให้นำมาเจาะรูเพื่อเสียบหัววัดอุณหภูมิ (Thermocouple) ซึ่งมีสายต่อกับเครื่องอ่านอุณหภูมิ (Data logger) และพ่วงกับเครื่องพิมพ์ (Printer) นำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมดังข้อ 5.1 มาบรรจุ และปิดผนึกถังด้วยสุญญากาศระดับ 3 จำนวน 12 ถัง ไปพาสเจอไรซ์ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ปรับอุณหภูมิสูงสุด หาเวลาในการพาสเจอไรซ์เส้นก๋วยเตี๋ยว จากการอ่านอุณหภูมิภายในบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ และบันทึกเวลารวมที่ต้องใช้ในการพาสเจอไรซ์เส้นก๋วยเตี๋ยว ก๋วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์ที่ให้ความร้อนมาเชื้อตามเวลาที่กำหนดข้างต้น ให้เก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 4°C จนกว่าจะนำมาทดลองต่อไป (ดัดแปลงจาก Ito *et al.*, 1996)

5.3 การตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์

การตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์ ใช้วิธีเดียวกับข้อ 4.2.3 แต่ให้นำผลิตภัณฑ์ไปอุ่นด้วยไมโครเวฟโปรแกรมละลายน้ำแข็ง 1 นาที และอุ่นด้วยระดับความร้อนสูงสุดอีก 1 นาที แล้วจึงนำเส้นก๋วยเตี๋ยวไปวัดเนื้อสัมผัสภายใน 15 นาทีหลังอุ่น ทำ 10 ซ้ำ ตัวอย่าง

5.4 สมบัติทางประสาทสัมผัส

วิเคราะห์สมบัติทางประสาทสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์ด้วยวิธีเช่นเดียวกับวิธีในข้อ 4.2.4

6. การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์

สุ่มตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์ และแช่ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4°C ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 วัน และ 1, 3, 5, 7 และ 8 สัปดาห์ มาวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆ ดังนี้

6.1 เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์ด้วยวิธีเดียวกันกับข้อ 4.2.3

6.2 สมบัติทางประสาทสัมผัส

วิเคราะห์สมบัติทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีเช่นเดียวกับข้อ 4.2.4

6.3 ความเป็นกรด-เบส

สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์ 100 ก ปั่นด้วยเครื่องปั่นผสม 1 นาที เติมน้ำกลั่น 100 มล. ปั่นผสมด้วยความเร็วสูงสุด 1 นาที นำไปวัดความเป็นกรด-เบส ภายใน 5 นาที หลังปั่นผสม (ดัดแปลงจาก อรพรรณ, 2547)

6.4 วอเตอร์แอคทิวิตี (water activity, a_w)

ปั่นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ก๊วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์ด้วยเครื่องปั่นผสม 1 นาที ตักตัวอย่างใส่ในถ้วยวัดวอเตอร์แอคทิวิตี สูง 2 ใน 3 ส่วนของถ้วย แล้ววัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี โดยอ่านค่าหลังจากค่าตัวเลขนิ่งแล้ว 5 นาที

6.5 ความชื้น

ปั่นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ก๊วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์ด้วยเครื่องปั่นผสม 1 นาที ตักตัวอย่างจำนวน 2.0 กรัม มาวิเคราะห์หาความชื้น ตามวิธี AACC (2000) หมายเลข 44-15 A

6.6 ความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์

สุ่มตัวอย่างก๊วยเตี๋ยวปรุงรสก่อนพาสเจอไรซ์ และหลังพาสเจอร์ไรซ์นาน 1 วัน และ 8 สัปดาห์ ตัวอย่างละ 300 กรัม มาตรวจสอบจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ ตามมาตรฐานอาหารปรุงสุกแล้วแช่เย็น หรือต้องอุ่นก่อนบริโภคของกองอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2549) ส่วนตัวอย่างก๊วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์นาน 1, 3, 5 และ 7 สัปดาห์ ตรวจสอบเฉพาะจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) เพียงอย่างเดียว

มาตรฐานอาหารปรุงสุกแล้วแช่เย็น หรือต้องอุ่นก่อนบริโภคของกองอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2549) ได้แก่

6.6.1 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) วิเคราะห์ตาม BAM (2001) ข้อ C 3

6.6.2 โคลิฟอร์ม (Coliform) ตามวิธี most probable number technique (MPN) วิเคราะห์ตาม BAM (2002) ข้อ C 4

6.6.3 อี.โคไล (*E. coli*) ตามวิธี most probable number technique (MPN) วิเคราะห์ตาม BAM (2002) ข้อ C 4

6.6.4 สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส (*S. aureus*) วิเคราะห์ตาม AOAC (2003) ข้อ 07

6.6.5 บาซิลลัส ซีเรียส (*Bacillus cereus*) วิเคราะห์ตาม ISO 7932 (2004) ข้อ E

6.6.6 คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (*C. perfringens*) วิเคราะห์ตาม BAM (2001) ข้อ

C 16

6.6.7 วิบริโอ พาราฮีโมไลติคัส (*V. parahaemolyticus*) วิเคราะห์ตาม In house

method based on BAM (2004) ข้อ C 9

6.6.8 ซัลโมเนลลา (*Salmonellae*) วิเคราะห์ตาม ISO 6579 (2002) ข้อ E

7. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

คำนวณผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการตรวจสอบสมบัติของแป้งคัดแปรสตาarch ทางฟิสิกส์ และเคมีเชิงฟิสิกส์ โดยใช้แผนการทดลองแบบ Factorial in CRD วิเคราะห์ผลการวัดเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว และเส้นก๋วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์สภาวะต่างๆ โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (randomized complete design; CRD) และวิเคราะห์ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางสถิติโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design) วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ ANOVA ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะด้วยวิธีการหาความแตกต่างค่าเฉลี่ยของดันแคน (Duncan's new multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

8. สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการเคมี ห้องปฏิบัติการ Rice and Starch และอาคารแปรรูปของภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และห้องปฏิบัติการชั้น 6 สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร

9. ระยะเวลาทำการวิจัย

เดือนธันวาคม พ.ศ.2547 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2549

ผลและวิจารณ์

แป้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้ผลิตจากข้าวเจ้าข้าวมณีพันธุ์ชัยนาท 1 โม่และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช เก็บในถุงพอลิเอทิลีนปิดสนิท ซ่อนทับด้วยถุงพอลิเอทิลีนอีกชั้น เพื่อป้องกันผลกระทบจากแสง เรียกแป้งชนิดนี้ว่าแป้งปกติ ส่วนแป้งดัดแปรสตาร์ช เป็นการนำแป้งปกติปรับความชื้น แล้วดัดแปรในสถานะต่างๆ เช่น การใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น และการใช้รังสียูวี

1. การดัดแปรสตาร์ชในแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

นำแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ปรับความชื้นด้วยน้ำกลั่นจนแป้งมีความชื้น 25.0% มาดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 110 และ 120°C เป็นระยะเวลา 1, 3 และ 5 ชม ในภาชนะปิด ทำให้ความชื้นแป้งหลังดัดแปรคงที่เท่ากับ 25.0% จากนั้นนำไปอบแห้ง และลดขนาดวิเคราะห์สมบัติของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ได้ผลดังนี้

1.1 ผลของการดัดแปรสตาร์ชในแป้งข้าวเจ้าด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นต่อสมบัติทางเคมีฟิสิกส์

1.1.1 สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด

การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวปกติ และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นทั้ง 6 สถานะ วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (RVA) ให้ค่าวิเคราะห์ต่างๆ ได้แก่ ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย เซตแบค และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความหนืดจากเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว ของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์
ชัยนาท 1 และแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

ตัวอย่าง ¹	ลักษณะความหนืด(อาร์วียู) ²					อุณหภูมิที่ เริ่มเกิดความ หนืด (°ซ)
	ความหนืด สูงสุด	ความหนืด ต่ำสุด	ความหนืด ลดลง	ความหนืด สุดท้าย	เซตแบค	
CN1	317.2 ± 5.5 a	235.3 ± 2.9 b	81.8 ± 2.6 a	414.3 ± 10.8 a	179.0 ± 13.7 a	80.8 ± 0.6 c
HMT110-1	286.4 ± 3.6 b	247.7 ± 2.7 a	38.8 ± 0.9 b	406.3 ± 9.2 a	158.6 ± 11.9 b	83.3 ± 0.2 d
HMT110-3	209.0 ± 4.2 c	201.4 ± 5.3 c	7.7 ± 1.0 d	288.9 ± 14.3 b	87.5 ± 9.0 c	88.1 ± 0.8 c
HMT110-5	192.3 ± 7.9 d	184.3 ± 7.1 d	8.0 ± 0.8 d	256.8 ± 9.0 c	72.5 ± 1.9 c	89.0 ± 0.3 bc
HMT120-1	190.9 ± 1.6 d	171.2 ± 0.2 e	19.7 ± 1.8 c	211.4 ± 3.5 d	40.2 ± 3.3 d	89.4 ± 0.0 c
HMT120-3	152.6 ± 1.4 e	133.9 ± 1.5 f	18.7 ± 0.0 c	159.2 ± 1.9 e	25.3 ± 0.5 de	91.4 ± 0.2 a
HMT120-5	136.5 ± 0.7 f	118.7 ± 0.7 g	17.8 ± 0.0 c	137.9 ± 1.8 f	19.2 ± 1.2 e	91.6 ± 0.7 a

หมายเหตุ ¹ CN1 = แป้งข้าวชัยนาท 1, HMT = การคัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

110 และ 120 = อุณหภูมิ (°ซ) ที่ใช้คัดแปร และ 1, 3, 5 = เวลา (ชม) ที่ใช้คัดแปร

² ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ความหนืดสูงสุดของแป้งปกติมีค่ามากที่สุด คือ 317.2 อาร์วียู และแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) กับแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นในทุกสภาวะการคัดแปร เมื่อพิจารณาสภาวะการคัดแปรที่อุณหภูมิ 110°ซ ปรากฏว่า แป้งคัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110°ซ ระยะเวลา 1 ชม มีความหนืดสูงสุด 286.4 อาร์วียู มากกว่าแป้งคัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110°ซ ระยะเวลา 3 และ 5 ชม ที่มีความหนืดสูงสุด 209.0 และ 192.3 อาร์วียู ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสภาวะการคัดแปรที่อุณหภูมิ 120°ซ ปรากฏว่า แป้งคัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°ซ ระยะเวลา 1 ชม มีความหนืดสูงสุด 190.9 อาร์วียู มากกว่าแป้งคัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°ซ ระยะเวลา 3 และ 5 ชม ที่มีความหนืดสูงสุด 152.6 และ 136.5 อาร์วียู ตามลำดับ จากผลการทดลองดังที่กล่าวมาข้างต้น วิเคราะห์ได้ว่า ที่อุณหภูมิการคัดแปรเท่ากัน หากเพิ่มระยะเวลาการคัดแปร ส่งผลให้ความหนืดสูงสุดของแป้งคัดแปรสตาร์ชมีค่าน้อยลง นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบความหนืดสูงสุดของแป้งคัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110 และ 120°ซ ที่ระยะเวลาการคัดแปรที่เท่ากัน ปรากฏว่าความหนืดสูงสุดของแป้งคัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°ซ มีค่าน้อยกว่าความหนืดสูงสุดของแป้งคัดแปรสตาร์ชที่

อุณหภูมิ 110°C ดังนั้น อุณหภูมิ และระยะเวลาการดัดแปรสสารซ์มีผลต่อความหนืดสูงสุดของแป้งดัดแปรสสารซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

ความหนืดต่ำสุดของแป้งปกติ คือ 235.3 อาร์วียู เมื่อพิจารณาสภาวะการดัดแปรที่อุณหภูมิ 110°C ปรากฏว่า ความหนืดต่ำสุดของแป้งดัดแปรสสารซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 1 ชม มีค่ามากที่สุด คือ 247.7 อาร์วียู รองลงมาคือแป้งดัดแปรสสารซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 3 ชม (201.4 อาร์วียู) และแป้งดัดแปรสสารซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 5 ชม (184.3 อาร์วียู) ตามลำดับ โดยแป้งดัดแปรสสารซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 1 ชม มีความหนืดต่ำสุดมากกว่าแป้งปกติ แต่แป้งดัดแปรสสารซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 1 และ 3 ชม มีความหนืดต่ำสุดน้อยกว่าแป้งปกติ เมื่อพิจารณาสภาวะการดัดแปรที่อุณหภูมิ 120°C ปรากฏว่า ความหนืดต่ำสุดของแป้งดัดแปรสสารซ์ที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1 ชม เท่ากับ 171.2 อาร์วียู ซึ่งมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับแป้งดัดแปรสสารซ์ที่อุณหภูมิ 120°C เท่ากัน รองลงมาคือแป้งดัดแปรสสารซ์ที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 3 ชม (133.9 อาร์วียู) และแป้งดัดแปรสสารซ์ที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 5 ชม (118.7 อาร์วียู) ตามลำดับ โดยแป้งดัดแปรสสารซ์ที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1, 3 และ 5 ชม มีความหนืดต่ำสุดน้อยกว่าแป้งปกติ จากผลการทดลองดังที่กล่าวมาข้างต้น วิเคราะห์ได้ว่า ที่อุณหภูมิการดัดแปรเท่ากัน หากเพิ่มระยะเวลาการดัดแปร ส่งผลให้ความหนืดต่ำสุดของแป้งดัดแปรสสารซ์มีค่าลดลง นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบความหนืดต่ำสุดของแป้งดัดแปรสสารซ์ที่อุณหภูมิ 110 และ 120°C ที่ระยะเวลาการดัดแปรที่เท่ากัน ปรากฏว่าความหนืดต่ำสุดของแป้งดัดแปรสสารซ์ที่อุณหภูมิ 120°C มีค่าน้อยกว่าความหนืดต่ำสุดของแป้งดัดแปรสสารซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ดังนั้น อุณหภูมิ และระยะเวลาการดัดแปรสสารซ์มีผลต่อความหนืดต่ำสุดของแป้งดัดแปรสสารซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

ความหนืดลดลงของแป้งปกติมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 81.8 อาร์วียู สูงกว่าความหนืดลดลงของแป้งดัดแปรสสารซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 110 และ 120°C ระยะเวลา 1, 3 และ 5 ชม ทุกสภาวะการทดลอง เมื่อพิจารณาสภาวะการดัดแปรที่อุณหภูมิ 110°C ปรากฏว่า แป้งดัดแปรสสารซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 1 ชม มีความหนืดลดลง 38.8 อาร์วียู มากกว่าความหนืดลดลงของแป้งดัดแปรสสารซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 3 และ 5 ชม ซึ่งเท่ากับ 7.7 และ 8.0 อาร์วียู ตามลำดับ โดยแป้งดัดแปรสสารซ์ที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 3 และ 5 ชม มีความหนืดลดลงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาสภาวะการดัดแปรที่อุณหภูมิ 120°C ปรากฏว่า แป้งดัดแปรสสารซ์ที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1, 3 และ 5 ชม มีความหนืดลดลงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เท่ากับ 19.7, 18.7 และ 17.8 อาร์วียู ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความ

ชนิดลดลงของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่ระยะเวลาการดัดแปร 1 ชม แต่อุณหภูมิในการดัดแปรไม่เท่ากัน ปรากฏว่าความหนืดลดลงของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110⁰ซ มีค่ามากกว่าความหนืดลดลงของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120⁰ซ แต่เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการดัดแปร 3 และ 5 ชม ปรากฏว่า ความหนืดลดลงของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110⁰ซ มีค่าน้อยกว่าความหนืดลดลงของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120⁰ซ

ความหนืดสุดท้ายของแป้งปกติเท่ากับ 414.3 อาร์วียู เมื่อพิจารณาสภาวะการดัดแปรที่อุณหภูมิ 110⁰ซ ปรากฏว่า แป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110⁰ซ ระยะเวลา 1 ชม มีค่าความหนืดสุดท้าย 406.3 อาร์วียู มากกว่าความหนืดสุดท้ายของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110⁰ซ ระยะเวลา 3 และ 5 ชม ซึ่งมีความหนืดสุดท้าย 288.9 และ 256.8 อาร์วียู ตามลำดับ โดยแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110⁰ซ ระยะเวลา 1 ชม มีค่าความหนืดสุดท้ายไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งปกติ แต่แป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110⁰ซ ระยะเวลา 3 และ 5 ชม มีค่าความหนืดสุดท้ายน้อยกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) เมื่อพิจารณาสภาวะการดัดแปรที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ปรากฏว่า แป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 1 ชม มีค่าความหนืดสุดท้าย 211.4 อาร์วียู มากกว่าความหนืดสุดท้ายของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 3 และ 5 ชม ซึ่งมีความหนืดสุดท้าย 159.2 และ 137.9 อาร์วียู ตามลำดับ โดยแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 1-5 ชม มีค่าความหนืดสุดท้ายน้อยกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) จากผลการทดลองดังที่กล่าวมาข้างต้น วิเคราะห์ได้ว่า ที่อุณหภูมิการดัดแปรเท่ากัน หากเพิ่มระยะเวลาการดัดแปร ส่งผลให้ความหนืดสุดท้ายของแป้งดัดแปรสตาร์ชมีค่าน้อยลง นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบความหนืดสุดท้ายของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110 และ 120⁰ซ ในระยะเวลาการดัดแปรที่เท่ากัน ปรากฏว่า ความหนืดสุดท้ายของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120⁰ซ มีค่าน้อยกว่าความหนืดสุดท้ายของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110⁰ซ ดังนั้น อุณหภูมิ และระยะเวลาการดัดแปรสตาร์ชมีผลต่อความหนืดสุดท้ายของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

เซตแบคของแป้งปกติมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 179.0 อาร์วียู มากกว่าเซตแบคของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 110 และ 120⁰ซ ระยะเวลา 1, 3 และ 5 ชม ในทุกสภาวะการทดลอง เมื่อพิจารณาสภาวะการดัดแปรที่อุณหภูมิ 110⁰ซ ปรากฏว่า แป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110⁰ซ ระยะเวลา 1 ชม มีค่าเซตแบค 158.6 อาร์วียู มากกว่าเซตแบคของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110⁰ซ ระยะเวลา 3 และ 5 ชม ที่มีค่าเท่ากับ 87.5 และ 72.5 อาร์วียู ตามลำดับ โดยแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110⁰ซ ระยะเวลา 3 และ 5 ชม มีเซตแบคไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตาม แป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110⁰ซ ระยะเวลา 1-5 ชม มีค่าเซต

แบคน้อยกว่าแป้งปกติ เมื่อพิจารณาสถานะการดัดแปรที่อุณหภูมิ 120°C ปรากฏว่า แป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1 ชม มีเซตแบค 40.2 อาร์วียู ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับเซตแบคของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 3 ชม (25.3 อาร์วียู) แต่มีค่ามากกว่า แป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 5 ชม (19.2 อาร์วียู) อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1-5 ชม มีค่าเซตแบคน้อยกว่าแป้งปกติ นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบเซตแบคของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110 และ 120°C ในระยะเวลาการดัดแปรที่เท่ากัน ปรากฏว่า เซตแบคของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°C มีค่าน้อยกว่าเซตแบคของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110°C

แป้งปกติมีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดต่ำที่สุดเท่ากับ 80.8°C ต่ำกว่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 110 และ 120°C ระยะเวลา 1, 3 และ 5 ชม ในทุกสถานะการทดลอง เมื่อพิจารณาสถานะการดัดแปรที่อุณหภูมิ 110°C ปรากฏว่า แป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 1 ชม มีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด 83.3°C ต่ำกว่าแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 3 และ 5 ชม ซึ่งมีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด 88.1 และ 89.0°C ตามลำดับ โดยแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 3 และ 5 ชม มีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาสถานะการดัดแปรที่อุณหภูมิ 120°C ปรากฏว่า แป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1 ชม มีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด 89.4°C ต่ำกว่าแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 3 และ 5 ชม ซึ่งมีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด 91.4 และ 91.6°C ตามลำดับ โดยแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 3 และ 5 ชม มีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110 และ 120°C ในระยะเวลาการดัดแปรที่เท่ากัน ปรากฏว่า อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°C มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110°C

ในสถานะที่ให้ความร้อนกับน้ำแป้ง ความร้อนทำให้พันธะไฮโดรเจนในส่วนออสฐานของโครงสร้างโมเลกุลแอมิโลเพกทินคลายตัว สามารถมาจับกับโมเลกุลของน้ำในส่วนผสมได้ ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวอุ้มน้ำได้มากขึ้น และเกิดความข้นหนืดขึ้น (อรอนงค์, 2547) ในกรณีของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น สถานะในการดัดแปรทำให้เกิดการคลายเกลียวคู่ของสายแอมิโลเพกทินในส่วนโครงสร้างผลึก (crystalline) และเกิดการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลสตาร์ช ซึ่งอาจเป็นแบบ แอมิโลสกับแอมิโลส และ/หรือ แอมิโลสกับแอมิโลเพกทิน และ/หรือ แอมิโลเพกทินกับแอมิโลเพกทิน (Gunaratne and Hoover,

2002; Perera *et al.*, 1997) ทำให้เกิดการจำกัดปริมาณน้ำที่สามารถจับกับโมเลกุลสตาร์ชได้น้อยลง การพองตัวของเม็ดสตาร์ชจึงเกิดได้ยากขึ้น ทำให้ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าปกติในการทำเม็ด สตาร์ชพองตัว แล้วเริ่มเกิดความหนืด ดังนั้นอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดจากเครื่องวัดความหนืด แบบรวดเร็วจึงมีค่าสูงขึ้น จากนั้น เมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนถึง 95⁰ซ และคงอุณหภูมิไว้ที่ 95⁰ซ ความร้อนทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวได้มากขึ้นในระดับหนึ่ง เมื่อถูกแรงกวนผสมที่อุณหภูมิสูงนี้ โครงสร้างเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย ทำให้โมเลกุลของเอมิโลส และเอมิโลเพกทินกระจายออกจากเม็ดสตาร์ช แขนงลอยในส่วนผสม ส่งผลให้ความหนืดของส่วนผสมน้อยลง ซึ่งค่าความหนืด สูงสุด ความหนืดต่ำสุด และความหนืดลดลง ของแป้งคัดแปรสตาร์ชนี้ มีค่าน้อยกว่าแป้งปกติ แสดง ถึงความแข็งแรงของเม็ดสตาร์ช ซึ่งมีความคงทนต่อแรงเฉือน และความร้อน จากนั้น เมื่อลด อุณหภูมิของส่วนผสมจาก 95⁰ซ เป็น 50⁰ซ โมเลกุลของเอมิโลส และเอมิโลเพกทินที่กระจาย กระจายแขวนลอยในส่วนผสมเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ เกิดการคืนตัว (set back) ทำให้ส่วนผสมมี ความข้นหนืดอีกครั้ง แป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีนี้มีค่าความหนืดสุดท้าย และเซตแบค น้อยกว่าแป้ง ปกติ เป็นเพราะโครงสร้างเม็ดสตาร์ชถูกทำลายจากความร้อน และแรงเฉือนได้ยาก การกระจาย กระจายของโมเลกุลเอมิโลส และเอมิโลเพกทิน ออกมาในส่วนผสม จึงเกิดในปริมาณน้อยกว่า แป้งปกติ ส่งผลให้ความข้นหนืดในช่วงการลดอุณหภูมิมีน้อย

ผลของการคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นในการทดลองนี้ ให้ค่า ความหนืดสูงสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคน้อยลง แต่อุณหภูมิที่เริ่มเกิด ความหนืดสูงขึ้นกว่าแป้งปกตินี้ สอดคล้องกับผลงานวิจัยของพิณทิพย์ (2547) ที่คัดแปรแป้งพันธุ์ ปทุมธานี 60 มีเอมิโลสสูง 30.55% ที่ปรับความชื้นแป้งก่อนคัดแปรเป็น 25% แล้วคัดแปรที่ อุณหภูมิ 120⁰ซ นาน 30 และ 60 นาที ด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) แป้งหลังคัดแปรมีค่าความ หนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคน้อยลง แต่อุณหภูมิที่ เริ่มเกิดความหนืดสูงขึ้น และยังสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Lai (2001) ซึ่งคัดแปรข้าวขัดขาว เอมิโลส 28.8% ปรับความชื้นเป็น 29.8-34.8% ก่อนคัดแปรที่อุณหภูมิ 75-95⁰ซ นาน 20-60 นาที ด้วยไอน้ำร้อน ทำให้ข้าวคัดแปรมีความหนืดสูงสุด และความหนืดลดลงมีค่าน้อยลง อุณหภูมิที่เริ่ม เกิดความหนืดมีค่าสูงขึ้น แต่ค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าไม่แน่นอนเมื่อเทียบกับข้าวไม่คัดแปร อย่างไรก็ตาม หากเทียบระหว่างข้าวคัดแปรที่สถานะต่างกัน ผลปรากฏว่า การใช้สภาวะการคัดแปร ที่รุนแรงขึ้น คือ อุณหภูมิสูงขึ้น เวลารานขึ้น และความชื้นข้าวมากขึ้น ทำให้ข้าวคัดแปรมีค่าความ หนืดสุดท้ายน้อยลงสอดคล้องกับการทดลองนี้ (ตารางที่ 5) แต่ค่าเซตแบคไม่สอดคล้องกัน เพราะ ข้าวคัดแปรในผลการทดลองของ Lai (2001) มีค่าเซตแบคมากกว่าข้าวปกติ นอกจากนี้ ผลการ ทดลองนี้ยังสอดคล้องกับผลการคัดแปรข้าวขัดขาวที่มีปริมาณเอมิโลสปานกลาง 17.7% จาก

งานวิจัยของ Takahashi (2005) ซึ่งใช้สภาวะการดัดแปรที่อุณหภูมิ 120°C นาน 60 นาที ในหม้อนึ่งมาเชื้อ ทำให้ข้าวดัดแปรมีความหนืดสูงสุดน้อยลงมากจนไม่เห็นกราฟเป็นยอดแหลม ส่งผลให้ไม่สามารถคำนวณค่าความหนืดลดลงได้ ส่วนค่าความหนืดต่ำสุด ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคน้อยลง แต่อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดสูงขึ้นกว่าข้าวปกติไม่ดัดแปรประมาณ 12.1°C (ตรวจสอบความหนืดที่ pH 6.3)

เมื่อพิจารณาผลการดัดแปรธัญชาติชนิดอื่นด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นพบว่าผลการเปลี่ยนแปลงความหนืดบางค่าสอดคล้องกับงานวิจัยของ Adebawale *et al.* (2005) ที่ดัดแปรสตาร์ชข้าวฟ่าง (finger millet starch) ปรับความชื้นเป็น 20-30% ดัดแปรที่อุณหภูมิ 100°C นาน 16 ชม สตาร์ชข้าวฟ่างหลังการดัดแปรมีความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบคน้อยกว่าสตาร์ชข้าวฟ่างปกติ แต่ไม่สอดคล้องกับค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดของสตาร์ชข้าวฟ่างดัดแปร ที่มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าวฟ่างปกติ

1.1.2 กำลังการพองตัว

กำลังการพองตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการอุ้มน้ำของเมล็ดสตาร์ช เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำแป้ง แป้งจะมีกำลังการพองตัวมากขึ้น ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่

ตารางที่ 6 กำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

ตัวอย่าง ¹	กำลังการพองตัว (ก/ก) ²	
	อุณหภูมิ (°ซ)	
	80	90
CN1	9.8 ± 0.0 a	13.1 ± 0.0 a
HMT110-1	9.2 ± 0.4 ab	9.9 ± 0.3 b
HMT110-3	8.1 ± 0.8 bc	9.4 ± 0.5 bc
HMT110-5	8.0 ± 0.5 c	9.5 ± 0.2 bc
HMT120-1	9.5 ± 0.2 a	9.8 ± 0.2 b
HMT120-3	7.9 ± 0.3 c	9.4 ± 0.6 bc
HMT120-5	7.4 ± 0.2 c	8.9 ± 0.2 c

หมายเหตุ ¹ CN1 = แป้งข้าวชัยนาท 1, HMT = การดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

110 และ 120 = อุณหภูมิ (°ซ) ที่ใช้ดัดแปร และ 1, 3, 5 = เวลา (ชม) ที่ใช้ดัดแปร

² ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ที่อุณหภูมิ 60 และ 70°ซ แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นยังคงมีลักษณะเป็นของไหล เมื่อหมุนเหวี่ยงแล้วยังไม่เกาะติดกับหลอดทดลอง ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์กำลังการพองตัวได้ จึงไม่ได้รายงานในตารางที่ 6

ที่อุณหภูมิ 80°ซ กำลังการพองตัวของแป้งปกติเท่ากับ 9.8 ก/ก กำลังการพองตัวของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110°ซ ระยะเวลา 1 ชม มีค่า 9.2 ก/ก ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกำลังการพองตัวของแป้งปกติ และแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110°ซ ระยะเวลา 3 ชม ซึ่งมีค่า (8.1 ก/ก) แต่แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110°ซ ระยะเวลา 5 ชม (8.0 ก/ก) โดยแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110°ซ ระยะเวลา 5 ชม มีกำลังการพองตัวน้อยกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาการดัดแปรที่อุณหภูมิ 120°ซ ปรากฏว่า กำลังการพองตัวของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°ซ ระยะเวลา 1 ชม มีค่า 9.5 ก/ก ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกำลังการพองตัวของแป้งปกติ ส่วนกำลังการพองตัวของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°ซ ระยะเวลา 3 และ 5 ชม มีกำลังการพองตัวไม่แตกต่างกัน เท่ากับ 7.9

และ 7.4 ก/ก ตามลำดับ แต่มีกำลังการพองตัวน้อยกว่าแป้งปกติ และแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1 ชม นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบกำลังการพองตัวของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110 และ 120°C ที่ระยะเวลาการดัดแปรที่เท่ากัน ปรากฏว่ามีกำลังการพองตัวไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

ที่อุณหภูมิ 90°C กำลังการพองตัวของแป้งปกติ 13.1 ก/ก มีค่ามากกว่าแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นในทุกสภาวะการทดลอง โดยกำลังการพองตัวของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 1, 3 และ 5 ชม มีกำลังการพองตัวไม่แตกต่างกัน เท่ากับ 9.9, 9.4 และ 9.5 ก/ก ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสภาวะการดัดแปรที่อุณหภูมิ 120°C ผลปรากฏว่า แป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1 และ 3 ชม มีกำลังการพองตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 9.8 และ 9.4 ก/ก ตามลำดับ ส่วนแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 5 ชม มีกำลังการพองตัว 8.9 ก/ก ไม่แตกต่างกับแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 3 ชม แต่มีกำลังการพองตัวน้อยกว่าแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 5 ชม อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบกำลังการพองตัวของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 110 และ 120°C ที่ระยะเวลาการดัดแปรที่เท่ากัน ปรากฏว่ามีกำลังการพองตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

กำลังการพองตัวของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น มีค่าน้อยกว่าแป้งปกติ ในสภาวะที่ให้อุณหภูมิสูงนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยที่ทำในแป้งข้าว (พิณทิพย์, 2547; Anderson *et al.*, 2002)) สตาร์ชข้าวฟ่าง (Adebowale *et al.*, 2005) สตาร์ชข้าวโพด (Liu *et al.*, 2000) สตาร์ชถั่ว (Adebowale and Lawal, 2003) สตาร์ชมันฝรั่ง (Gunaratne and Hoover, 2002; Perera *et al.*, 1997) สตาร์ชจากมันสำปะหลัง หัวเผือก และมันเทศ (Gunaratne and Hoover, 2002) กำลังการพองตัวของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นมีค่าน้อยลงนี้ งานวิจัยของพิณทิพย์ (2547) และ Gunaratne and Hoover (2002) อธิบายว่า อาจเป็นผลจากการคลายเกลียวคู่ของโมเลกุลเอมิโลเพกทินบางส่วนที่เป็นอิสระ และ/หรือ ที่อยู่ในส่วนโครงสร้างผลึก ระหว่างการดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และอาจเกิดจากเอมิโลสจับกับไขมัน เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเอมิโลสกับไขมันในแป้งมากขึ้น

1.1.3 เปอร์เซ็นต์การละลาย

ค่าการละลายของสตาร์ชเกิดจากโมเลกุลสตาร์ชบางส่วนในน้ำแป้ง ซึ่มีหลุดออกจากเม็ดสตาร์ชระหว่างเม็ดสตาร์ชพองตัว ดังนั้น ค่าการละลายสามารถบ่งชี้ได้ถึงความสามารถในการเกาะเกี่ยว หรือเกิดพันธะต่อกัน ระหว่างโมเลกุลของสตาร์ช การละลายของแป้งปกติ และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นแสดงในตารางที่ 7

การเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำแป้งมีผลทำให้ตัวอย่างแป้งปกติ และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นทุกสภาวะ มีการละลายเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 7 การละลายของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

ตัวอย่าง ¹	การละลาย (%) ²	
	อุณหภูมิ (°ซ)	
	80 ^{ns}	90 ^{ns}
CN1	2.3 ± 0.0	4.2 ± 0.0
HMT110-1	2.2 ± 0.2	4.7 ± 0.5
HMT110-3	2.3 ± 0.4	5.2 ± 0.7
HMT110-5	1.9 ± 0.1	4.5 ± 0.5
HMT120-1	2.0 ± 0.2	5.0 ± 0.7
HMT120-3	2.1 ± 0.1	4.6 ± 0.2
HMT120-5	2.4 ± 0.2	5.2 ± 0.1

หมายเหตุ ¹ CN1 = แป้งข้าวชัยนาท 1, HMT = การดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น 110 และ 120 = อุณหภูมิ (°ซ) ที่ใช้ดัดแปร และ 1, 3, 5 = เวลา (ชม) ที่ใช้ดัดแปร

² ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ที่อุณหภูมิ 60 และ 70°ซ แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นยังคงมีลักษณะเป็นของไหล เมื่อหมุนเหวี่ยงแล้วยังไม่เกาะติดกับหลอดทดลอง ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์การละลายของแป้งได้ จึงไม่ได้รายงานในตารางที่ 7

ที่อุณหภูมิ 80⁰ซ แบ่งปกติมีการละลาย 2.3% ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับ แบ่งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 110 และ 120⁰ซ ระยะเวลา 1-5 ชม ทุกสภาวะการทดลอง โดยแบ่งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 110⁰ซ ระยะเวลา 1-5 ชม มีค่าการละลายระหว่าง 1.9-2.3% และแบ่งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 1-5 ชม มีค่าการละลายระหว่าง 2.0-2.4%

ในทำนองเดียวกัน ที่อุณหภูมิ 90⁰ซ แบ่งปกติมีการละลาย 4.2% ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับแบ่งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 110 และ 120⁰ซ ระยะเวลา 1-5 ชม ทุกสภาวะการทดลอง โดยแบ่งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 110⁰ซ ระยะเวลา 1-5 ชม มีค่าการละลายระหว่าง 4.5-5.2% และแบ่งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 1-5 ชม มีค่าการละลายระหว่าง 4.6-5.2%

จากผลการทดลองนี้ ทำให้ทราบว่าแบ่งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นมีการละลายที่อุณหภูมิ 80-90⁰ซ ไม่แตกต่างกับแบ่งปกติ บ่งชี้ถึงสตาร์ช หรือองค์ประกอบอื่นนอกเหนือจากสตาร์ช เช่น โปรตีน หรือไขมัน ในแบ่งดัดแปรสตาร์ชยังคงมีการเกาะเกี่ยวกันเหมือนเดิม ไม่หลุด หรือละลายไปกับน้ำในขั้นตอนการทดสอบการละลาย ผลการทดลองนี้ ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของพัลลภ และอรอนงค์ (2548) ที่ดัดแปรแป้งข้าวเหนียวความชื้น 30% ด้วยคลื่นไมโครเวฟ นาน 30-50 นาที มีการละลายที่อุณหภูมิ 55 และ 65⁰ซ ต่ำกว่าแป้งข้าวเหนียวปกติ แต่ที่ 75 และ 85⁰ซ มีการละลายสูงกว่า หรือใกล้เคียงกับการละลายของแป้งข้าวเหนียวปกติ

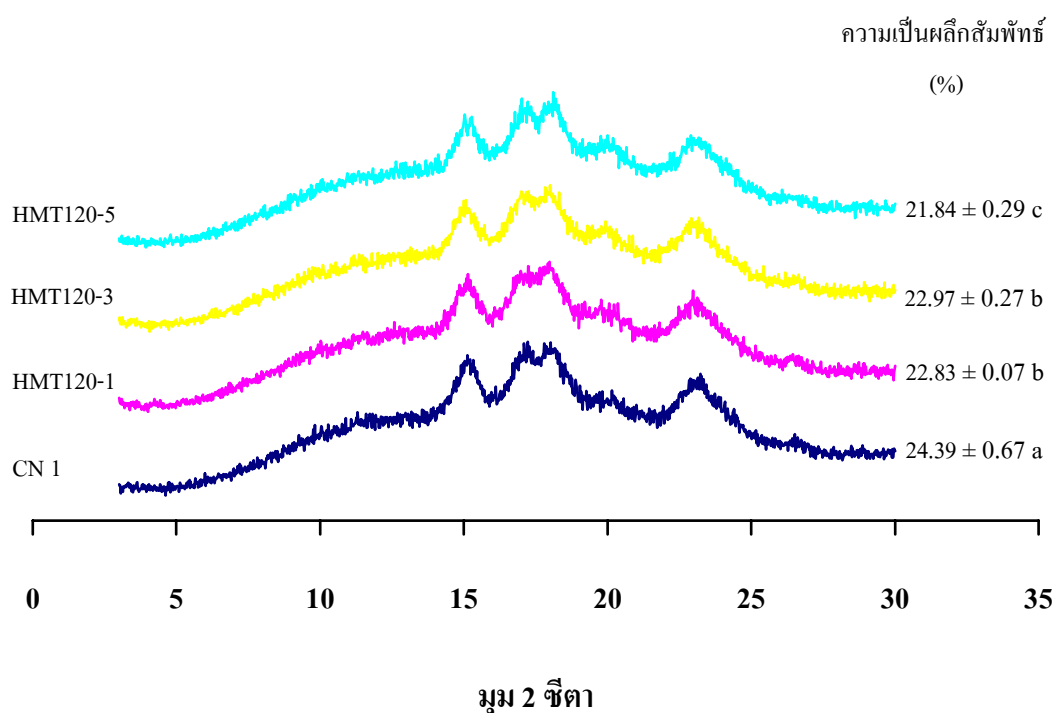
เมื่อพิจารณาผลการละลายเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ทดลองในธัญชาติอื่น เช่น ข้าวฟ่าง ปรากฏว่า ผลการทดลองนี้ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยที่ทดลองกับสตาร์ชข้าวฟ่างปรับความชื้นเป็น 20-30% ดัดแปรอุณหภูมิ 100⁰ซ นาน 16 ชม ซึ่งมีการละลายที่อุณหภูมิ 50-100⁰ซ สูงกว่าสตาร์ชข้าวฟ่างปกติ (Adebowale *et al.*, 2005) และไม่สอดคล้องกับงานวิจัยสตาร์ชข้าวโพดที่มีแอมิโลส 22.4% ดัดแปรในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ โดยปรับอุณหภูมิจาก 25⁰ซ ถึง 121⁰ซ เป็นเวลา 50 นาที และคงอุณหภูมิที่ 121⁰ซ นาน 1 นาที สตาร์ชข้าวโพดหลังดัดแปรมีการละลายที่อุณหภูมิ 60-80⁰ซ เท่ากับสตาร์ชข้าวโพดปกติ แต่ที่ 90⁰ซ มีการละลายน้อยกว่าสตาร์ชข้าวโพดปกติ (Liu *et al.*, 2000)

แต่ในรายงานวิจัยที่ทดลองในสตาร์ชพืชวงศ์ถั่ว (Adebowale and Lawal, 2003; Hoover and Manuel, 1996) สตาร์ชข้าวโพด (Liu *et al.*, 2000) สตาร์ชมันฝรั่ง (Gunaratne and Hoover, 2002; Perera *et al.*, 1997) สตาร์ชจากมันสำปะหลัง หัวเผือก และมันเทศ (Gunaratne and

Hoover, 2002) รายงานการละลายของสไตร์ชตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีค่าน้อยกว่าสไตร์ชปกติ

1.1.4 ความเป็นผลึกสัมพัทธ์

เมื่อวิเคราะห์ผลจากการทดลองเรื่องกำลังการพองตัว เปอร์เซ็นต์การละลาย และสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด ผลปรากฏว่า แป้งตัดแปรสไตร์ชที่อุณหภูมิ 120°C เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีฟิสิกส์มากกว่าแป้งตัดแปรสไตร์ชที่อุณหภูมิ 110°C ดังการอธิบายข้างต้น ดังนั้น จึงนำแป้งตัดแปรสไตร์ชที่อุณหภูมิ 120°C มาวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกสัมพัทธ์ และสมบัติการเกิดเจลลาทีไนซ์ เพื่ออธิบายผลของการตัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นต่อลักษณะการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลสไตร์ชให้ชัดเจนยิ่งขึ้น



ภาพที่ 19 กราฟแสดงความเป็นผลึกสัมพัทธ์ของแป้งข้าวชัณนาท 1 และแป้งตัดแปรสไตร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชม

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแป้งข้าวด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (x-ray diffraction) โดยคำนวณเป็นความเป็นผลึกสัมพัทธ์ จากสัดส่วนของพื้นที่ใต้กราฟที่จุดสูงสุด

ต่อพื้นที่ทั้งหมดของสเปกตรัมที่วัดได้ ผลปรากฏว่า แป้งปกติมีความเป็นผลึกสัมพัทธ์ 24.39% มีค่ามากที่สุด และมากกว่าความเป็นผลึกสัมพัทธ์ของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 1-5 ชม โดยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 1 และ 3 ชม มีความเป็นผลึกสัมพัทธ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เท่ากับ 22.83 และ 22.97% ตามลำดับ แต่มีความเป็นผลึกสัมพัทธ์มากกว่าแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 5 ชม ซึ่งมีความเป็นผลึกสัมพัทธ์น้อยที่สุด 21.84% (ภาพที่ 19)

การดัดแปรสตาร์ชในแป้งด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นในสภาวะที่ใช้ระยะเวลาการดัดแปรนานขึ้น ส่งผลต่อโครงสร้างผลึกของสตาร์ชข้าวให้มีความเป็นผลึกสัมพัทธ์น้อยลง โครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชนี้เกิดจากโมเลกุลของเอมิโลเพกทินสายเอ (A chain) ที่มีความยาวอย่างน้อย 6 โมเลกุลกลูโคส หรือมีความยาวที่เหมาะสมประมาณ 10-12 โมเลกุลกลูโคส เกิดการพันเกลียวกับสายเอมิโลเพกทินที่อยู่ใกล้เคียงกันเกิดเป็นเกลียวคู่ (double helix) ซึ่งเสถียรอยู่ได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) และแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals force) การเกิดเกลียวคู่ของเอมิโลเพกทินในระนาบเดียวกันเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดลักษณะ โครงสร้างผลึกของสตาร์ช (Fitzgerald, 2004) ดังนั้น การดัดแปรสตาร์ชในแป้งข้าวด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นน่าจะทำให้โมเลกุลเอมิโลเพกทินบางส่วนคลายเกลียวคู่ และ/หรือ ความร้อนสูงที่ใช้ในการดัดแปรอาจไปตัดสายเอมิโลเพกทินให้สั้นลงจนไม่เหมาะสมต่อการเกิดเกลียวคู่ และ/หรือ โมเลกุลเอมิโลเพกทินเกิดการเคลื่อนที่ หรือจัดเรียงตัวกันใหม่ในระนาบที่ต่างไปจากเดิม ทำให้การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกในแป้งดัดแปรสตาร์ช มีค่าความเป็นผลึกสัมพัทธ์น้อยลง

รูปแบบโครงสร้างผลึกของแป้งข้าวชยันต 1 ไม่ดัดแปร เป็นโครงสร้างผลึกชนิดเอ (A type) ซึ่งเป็นชนิดที่เกิดขึ้นกับสตาร์ชจากธัญชาติเป็นส่วนใหญ่ (Fitzgerald, 2004) การดัดแปรสตาร์ชในแป้งด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นในการทดลองนี้ ไม่เปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างผลึกของแป้ง คือยังคงเกิดจุดสูงสุด (peak) ที่ตำแหน่ง 20 เท่ากับ 15 องศา จำนวน 1 จุด ตำแหน่ง 20 เท่ากับ 17-18 องศา จำนวน 2 จุดเชื่อมต่อกัน ตำแหน่ง 20 เท่ากับ 20 องศา จำนวน 1 จุด และตำแหน่ง 20 เท่ากับ 23 องศา จำนวน 1 จุด

จากผลการทดลองความเป็นผลึกสัมพัทธ์ของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่มีความเป็นผลึกสัมพัทธ์ลดลง แต่ยังคงมีรูปแบบโครงสร้างผลึกชนิดเอเหมือนเดิมนี้ สอดคล้องกับผลการทดลองดัดแปรแป้งข้าว กข 6 แป้งข้าวดอกมะลิ 105 และแป้งข้าว

ปทุมธานี 60 ที่มีเอมิโลส 3.88, 15.70 และ 30.55% ตามลำดับ คัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่ระดับความชื้น 25% อุณหภูมิ 120⁰ซ นาน 60 นาที ด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ ทำให้แป้งดัดแปรสตาร์ชมีความเป็นผลึกสัมพัทธ์น้อยลง (พิณทิพย์, 2547) แต่ไม่สอดคล้องกับผลการดัดแปรแป้งข้าวเหนียวปรับความชื้นเป็น 30% คัดแปรด้วยคลื่นไมโครเวฟ นาน 50 นาที ที่มีความเป็นผลึกสัมพัทธ์มากกว่าแป้งข้าวเหนียวปกติ (พลลภ, 2548)

1.1.5 สมบัติการเกิดเจลลิต์ไนเซชัน

การวิเคราะห์เจลลิต์ไนเซชันของแป้งปกติ และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120⁰ซ เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชม ด้วยเครื่องดีเอสซี วิเคราะห์อุณหภูมิเริ่มต้น (To), อุณหภูมิที่จุดสูงสุด (Tp), อุณหภูมิสิ้นสุด (Tc), ช่วงอุณหภูมิ (Tc-To) และพลังงานเอนทัลปี (ΔH) ของการเกิดเจลลิต์ไนซ์ เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติการเกิดเจลลิต์ไนซ์ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 อุณหภูมิ และเอนทัลปีของการเกิดเจลลิต์ไนซ์ของแป้งข้าวชัณนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120⁰ซ

ตัวอย่าง ¹	อุณหภูมิในการเกิดเจลลิต์ไนเซชัน (°ซ) ²			ΔH (จูล/ก)
	To	Tp	Tc	
CN1	72.2 ± 0.09 c	77.3 ± 0.24 c	82.5 ± 0.59 c	15.0 ± 0.17 a
HMT120-1	81.7 ± 0.03 b	85.0 ± 0.12 b	88.3 ± 0.27 b	10.3 ± 1.14 b
HMT120-3	83.7 ± 0.28 a	87.1 ± 0.01 a	90.5 ± 0.29 a	11.1 ± 0.88 b
HMT120-5	84.1 ± 0.20 a	87.5 ± 0.38 a	90.6 ± 0.45 a	10.7 ± 0.32 b

หมายเหตุ ¹ CN1 = แป้งข้าวชัณนาท 1, HMT = การดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

120 = อุณหภูมิ (°ซ) ที่ใช้ดัดแปร และ 1, 3, 5 = เวลา (ชม) ที่ใช้ดัดแปร

² ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แป้งปกติมีอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลทาโทไนซ์ (T_o) ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งคัดแปรสตาซ์ คือ 72.2°C แป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1 ชม มีอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลทาโทไนซ์ 81.7°C สูงกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 3 และ 5 ชม มีอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลทาโทไนซ์ไม่แตกต่างกัน คือ 83.7 และ 84.1°C ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลทาโทไนซ์ของแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1 ชม และแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แป้งปกติมีอุณหภูมิที่จุดสูงสุดของการเกิดเจลทาโทไนซ์ (T_p) ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งคัดแปรสตาซ์ คือ 77.3°C แป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1 ชม มีอุณหภูมิที่จุดสูงสุดของการเกิดเจลทาโทไนซ์ 85.0°C สูงกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 3 และ 5 ชม มีอุณหภูมิที่จุดสูงสุดของการเกิดเจลทาโทไนซ์ ไม่แตกต่างกัน คือ 87.1 และ 87.5°C ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่จุดสูงสุดของการเกิดเจลทาโทไนซ์ ของแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1 ชม และแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อุณหภูมิสิ้นสุดของการเกิดเจลทาโทไนซ์ (T_c) มีแนวโน้มในทำนองเดียวกันกับอุณหภูมิเริ่มต้น และอุณหภูมิที่จุดสูงสุดของการเกิดเจลทาโทไนซ์ โดยแป้งปกติมีอุณหภูมิสิ้นสุดของการเกิดเจลทาโทไนซ์ ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งคัดแปรสตาซ์ คือ 82.5°C แป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1 ชม มีอุณหภูมิสิ้นสุดของการเกิดเจลทาโทไนซ์ 88.3°C สูงกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 3 และ 5 ชม มีอุณหภูมิสิ้นสุดของการเกิดเจลทาโทไนซ์ ไม่แตกต่างกัน คือ 90.5 และ 90.6°C ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิสิ้นสุดของการเกิดเจลทาโทไนซ์ ของแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1 ชม และแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

แป้งปกติมีพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลทาโทไนซ์ (ΔH) สูงที่สุด คือ 15.0 จูล/ก ส่วนแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1, 3 และ 5 ชม มีพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลทาโทไนซ์ไม่แตกต่างกัน คือ 10.3 , 11.1 และ 10.7 จูล/ก

ตามลำดับ แต่มีค่าน้อยกว่าพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตีในซึ้นของแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองข้างต้น แป้งหลังการดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีค่าพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตีในซึ้นน้อยลงจากแป้งปกติ จึงมีสาเหตุมาจากสถานะที่ใช้ในการดัดแปรไปลด หรือเปลี่ยนลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ช ทำให้ตรวจวัดค่าพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตีในซึ้นได้น้อยลง สอดคล้องกับค่าความเป็นผลึกสัมพัทธ์ของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่มีค่าน้อยลง (ภาพที่ 19) การจัดเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลสตาร์ชนี ทำให้แป้งดัดแปรสตาร์ชมีความคงทนต่อความร้อนมากกว่าเดิม จึงส่งผลต่ออุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันที่สูงขึ้น (ทั้งอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิที่จุดสูงสุด และอุณหภูมิสิ้นสุดการเกิดเจลลิตีในซึ้น) สอดคล้องกับผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดสูงกว่าแป้งปกติ (ตารางที่ 5) และสอดคล้องกับผลวิเคราะห์กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 90°C ที่ต่ำกว่ากำลังการพองตัวของแป้งปกติ (ตารางที่ 6)

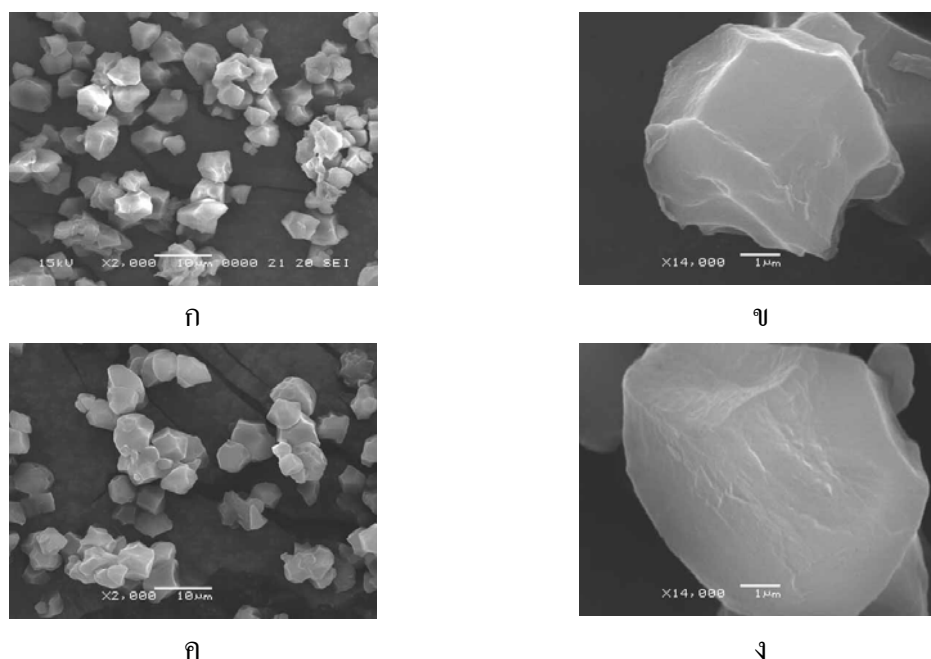
อย่างไรก็ตาม วัตถุดิบที่ใช้ในการดัดแปรคือแป้งข้าว ซึ่งยังคงมีองค์ประกอบอื่นๆ เช่น โปรตีน และไขมันอยู่มาก Paraman *et al.* (2006) สกัดโปรตีนจากข้าวตามสมบัติการละลาย ปรากฏว่า โปรตีนที่มีปริมาณมากที่สุดในแป้งข้าวคือกลูเทลิน (glutelin) เป็นโปรตีนชนิดละลายในสารละลายเบส มีปริมาณถึง 77.4% ของโปรตีนทั้งหมด ซึ่งเมื่อตรวจสอบอุณหภูมิของการเสียสภาพด้วยเครื่องดีเอสซี ปรากฏว่า โปรตีนที่สกัดด้วยเบสมีอุณหภูมิของการเสียสภาพเท่ากับ 81.3°C ดังนั้น การดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นในการทดลองนี้ใช้อุณหภูมิสูงถึง 110 และ 120°C น่าจะทำให้โปรตีนบางส่วนเสียสภาพ จึงอาจไปรบกวนผลการวิเคราะห์ ทำให้คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังการดัดแปรได้ยาก เพราะอาจเป็นผลจากทั้งการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ช และ/หรือ องค์ประกอบอื่น เช่น โปรตีน เป็นต้น

แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นจากผลการทดลองนี้มีค่าอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในซึ้นสูงขึ้น และมีพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตีในซึ้นน้อยลงจากแป้งปกติสอดคล้องกับการทดลองดัดแปรแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 แป้งข้าวคอกมะลิ 105 และแป้งข้าวปทุมธานี 60 ซึ่งมีแอมิโลส 3.88, 15.70 และ 30.55% ตามลำดับ ด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120°C นาน 60 นาที (พินทิพย์, 2547) และสอดคล้องกับผลการดัดแปรข้าวขัดขาวที่มีแอมิโลส 17.7% ด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิ 120°C นาน 60 นาที (Takahashi *et al.*, 2005) และข้าวขัดขาวแอมิโลส 1.2-28.8% ด้วยไอน้ำร้อนอุณหภูมิ $75-95^{\circ}\text{C}$ นาน 60 นาที (Lai, 2001) ทั้งการดัดแปรแป้งข้าว และ

ดัดแปรข้าวขัดขาวด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ทำให้แป้ง/ข้าวดัดแปรมีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีไนซ์สูงขึ้น และมีพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตีไนซ์น้อยลงเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับผลการดัดแปรในรัชชาติชนิดอื่น เช่น สตาร์ชข้าวฟ่าง ปรับความชื้น 20-30% ดัดแปรที่อุณหภูมิ 100°C นาน 16 ชม (Adebawale *et al.*, 2005) สตาร์ชข้าวโพด ดัดแปรด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 125°C นาน 20 นาที (Miyoshi, 2002)

1.2 ผลของการดัดแปรสตาร์ชในแป้งข้าวเจ้าด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นต่อสมบัติทางฟิสิกส์

1.2.1 ขนาด และรูปร่างของเม็ดสตาร์ช



ภาพที่ 20 เม็ดสตาร์ชแป้งข้าวชัยนาท 1 (ก และ ข) และแป้งดัดแปรสตาร์ช HMT120-5 (ค และ ง) ที่กำลังขยาย 2,000 และ 14,000 เท่า จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การตรวจสอบขนาด รูปร่าง และลักษณะเม็ดสตาร์ชที่ผ่าน และไม่ผ่านการดัดแปร โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 2,000 เท่า เห็นเม็ดสตาร์ชแป้งข้าวชัยนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120°C 5 ชม มีรูปร่างหลายเหลี่ยม เม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวชัยนาท 1 มีขนาดประมาณ 3.6-7.1 ไมโครเมตร เล็กกว่า

เมื่อดูดาวของแปดดัดแปรสสารด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120°C 5 ชม ที่มีขนาด 4.1-8.5 ไมโครเมตร เมื่อเพิ่มกำลังขยายของกล้องเป็น 14,000 เท่า พบเมื่อดูดาวในแปดดัดแปรสสารด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นบางส่วนมีขนาดใหญ่กว่าปกติ มีความเป็นเหลี่ยมน้อยลง มีลักษณะบวมใหญ่ขึ้น และมีรอยที่ผิวของเมื่อดูดาวมากกว่าสสารจากแปดปกติ คาดว่าความร้อนที่ใช้ในการดัดแปรน่าจะมีผลทำลายโครงสร้างที่ผิวของเมื่อดูดาวบ้าง ประกอบกับการปรับความชื้นแปดเป็น 25% และการใช้อุณหภูมิสูงในการดัดแปร ส่งผลให้เมื่อดูดาวบางส่วนเกิดเจลาทีไนซ์ โดยเฉพาะบริเวณผิว จึงมีลักษณะพองตัว บวมขึ้น และเกิดรอยคล้ายรอยร้าวบริเวณผิวเมื่อดูดาว (ภาพที่ 20)

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับพินทิพย์ (2547) ที่ดัดแปรแปดด้วยความชื้น 25% ด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้ออุณหภูมิ 120°C นาน 60 นาที พบว่าเมื่อดูดาวขาวหลังการดัดแปรบางส่วนมีผิวหน้าหลอมติดกัน และเมื่อดูดาวกระจายตัวน้อยลง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Anderson and Guraya (2006) ที่ดัดแปรสสารขาวเหนียว และขาวเจ้าด้วยไมโครเวฟ นาน 60 นาที ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะการเกาะกลุ่มของเมื่อดูดาวที่เป็นกลุ่มก้อนมากขึ้น แต่รูปร่างลักษณะเมื่อดูดาวยังคงเหมือนเดิม แต่ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยดัดแปรสสารจากธัญชาชนิดอื่น เช่น สสารขาวฟางความชื้น 20-30% ดัดแปรอุณหภูมิ 100°C นาน 16 ชม ที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของเมื่อดูดาว (Adebowale *et al.*, 2005)

1.2.2 สี

จากตารางที่ 9 แสดงค่าสีของแปดปกติ และแปดดัดแปรสสารด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น เป็นค่า $L^* a^* b^*$ โดยค่า L^* บอกความสว่างของตัวอย่าง ค่า a^* ใช้กำหนดสีแดง (+) หรือสีเขียว (-) และค่า b^* ใช้กำหนดสีเหลือง (+) หรือสีน้ำเงิน (-)

ตารางที่ 9 ค่าสี L^* a^* b^* ของแป้งข้าวพันธุ์เจ้าชัยนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาarchด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

ตัวอย่าง ¹	L^{*2} ^{ns}	a^{*2}	b^{*2}
CN1	96.4 ± 0.0	0.0 ± 0.0 d	2.8 ± 0.0 d
HMT110-1	94.4 ± 3.0	0.2 ± 0.3 cd	4.7 ± 0.3 c
HMT110-3	93.6 ± 3.1	0.7 ± 0.4 abc	5.9 ± 0.3 b
HMT110-5	93.6 ± 2.5	0.8 ± 0.2 ab	6.2 ± 0.4 ab
HMT120-1	93.1 ± 0.7	0.4 ± 0.0 bcd	4.3 ± 0.1 c
HMT120-3	92.2 ± 0.3	0.9 ± 0.1 ab	5.5 ± 0.4 b
HMT120-5	90.9 ± 0.5	1.2 ± 0.1 a	6.6 ± 0.0 a

หมายเหตุ ¹ CN1 = แป้งข้าวชัยนาท 1, HMT = การดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

110 และ 120 = อุณหภูมิ (°ซ) ที่ใช้ดัดแปร และ 1, 3, 5 = เวลา (ชม) ที่ใช้ดัดแปร

² ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

แป้งปกติมีค่า L^* 96.4 ส่วนแป้งดัดแปรสตาarchด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 110°ซ ระยะเวลา 1, 3 และ 5 ชม มีค่า L^* ไม่แตกต่างกัน คือ 94.4, 93.6 และ 93.6 ตามลำดับ และแป้งดัดแปรสตาarchด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120°ซ ระยะเวลา 1, 3 และ 5 ชม มีค่า L^* ไม่แตกต่างกัน คือ 93.1, 92.2 และ 90.9 ตามลำดับ แป้งดัดแปรสตาarchด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นทั้งที่อุณหภูมิ 110 และ 120°ซ มีค่า L^* ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งปกติ

แป้งปกติมีค่า a^* 0.0 แป้งดัดแปรสตาarchด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 110°ซ ระยะเวลา 1 ชม มี a^* 0.2 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งปกติ แป้งดัดแปรสตาarchด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 110°ซ ระยะเวลา 3 และ 5 ชม มีค่า a^* ไม่แตกต่างกัน เท่ากับ 0.7 และ 0.8 ตามลำดับ แต่มีค่า a^* มากกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาการดัดแปรที่อุณหภูมิ 120°ซ ปรากฏว่า แป้งดัดแปรสตาarchที่อุณหภูมิ 120°ซ ระยะเวลา 1 ชม มีค่า a^* 0.4 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งปกติ แป้งดัดแปรสตาarchด้วย

ความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 3 และ 5 ชม มีค่า a^* ไม่แตกต่างกัน คือ 0.9 และ 1.2 ตามลำดับ แต่มีค่ามากกว่าแป้งปกติ อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบ a^* ของแป้งคัดแปรสตาρχที่อุณหภูมิ 110 และ 120°C ในระยะเวลาการคั้ดแปรที่เท่ากัน (ในช่วง 1-5 ชม) ปรากฏว่าค่า a^* ไม่แตกต่างกัน

แป้งปกติมีค่า b^* 2.8 แป้งคัดแปรสตาρχด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นทุกสภาวะการทดลองมีค่า b^* มากกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การคั้ดแปรโดยใช้ อุณหภูมิ 110 และ 120°C เมื่อเพิ่มระยะเวลาการคั้ดแปรให้นานขึ้นจาก 1-5 ชม ทำให้ค่า b^* มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาสภาวะการคั้ดแปรที่อุณหภูมิ 110°C ปรากฏว่า แป้งคัดแปรสตาρχด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 1 ชม มี b^* 4.7 มากกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แป้งคัดแปรสตาρχด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 3 และ 5 ชม มีค่า b^* ไม่แตกต่างกัน คือ 5.9 และ 6.2 ตามลำดับ แต่มีค่า b^* มากกว่าแป้งปกติ และแป้งคัดแปรสตาρχด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 1 ชม อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาสภาวะการคั้ดแปรที่อุณหภูมิ 120°C ปรากฏว่า แป้งคัดแปรสตาρχด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1 ชม มีค่า b^* 4.3 มากกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แป้งคัดแปรสตาρχด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 3 ชม มีค่า b^* 5.5 มากกว่าค่า b^* ของแป้งปกติ และแป้งคัดแปรสตาρχด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1 ชม ส่วนแป้งคัดแปรสตาρχด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 5 ชม มีค่า b^* 6.6 มากกว่า b^* ของแป้งปกติ และแป้งคัดแปรสตาρχด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1 และ 3 ชม อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบ b^* ของแป้งคัดแปรสตาρχที่อุณหภูมิ 110 และ 120°C ในระยะเวลาการคั้ดแปรที่เท่ากัน (ในช่วง 1-5 ชม) ปรากฏว่าค่า b^* ไม่แตกต่างกัน

ผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับผลการทดลองของพิณทิพย์ (2547) และ Takahashi *et al.* (2005) ที่ทำการคั้ดแปรสตาρχในแป้งข้าว และข้าว ตามลำดับ ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นเช่นกัน การเปลี่ยนแปลงของสีในแป้งข้าวคั้ดแปรสตาρχด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น น่าจะเป็นผลจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ ซึ่งเกิดระหว่างน้ำตาลรีดิซิงจากโมเลกุลสตาρχที่โดนความร้อน กับหมู่เอมิโนจากโปรตีนในแป้ง เกิดเป็นสารสีน้ำตาลขึ้น (Maillard reaction)

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์แป้งคัดแปรสตา์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น เพื่อคัดเลือกสภาวะการคัดแปรสำหรับวิจัยเรื่องการทดแทนแป้งคัดแปรสตา์ชบางส่วนในการผลิต ก้วยเตี๊ยะสด และก้วยเตี๊ยะพาสเจอไรซ์ ผลปรากฏว่า ควรคัดเลือกแป้งคัดแปรสตา์ชด้วยความร้อน ร่วมกับความชื้นที่ใช้อุณหภูมิในการคัดแปร 120°C นาน 5 ชม เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า ความหนืดมากที่สุด คือ มีค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด และความหนืดสุดท้ายน้อยที่สุด และมีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดสูงกว่าสภาวะอื่นๆ ยกเว้นสภาวะการคัดแปรที่ 120°C นาน 3 ชม เช่นเดียวกับอุณหภูมิ และเอนทัลปีของการเกิดเจลลาทีไนซ์ที่ไม่ต่างกัน อย่างไรก็ตาม แป้งคัดแปร สตา์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่ใช้อุณหภูมิในการคัดแปร 120°C นาน 5 ชม มีความเป็น ผลึกสัมพัทธ์น้อยที่สุด และแตกต่างจากแป้งปกติมากที่สุด แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึก เกิดขึ้นมากที่สุด

2. การคัดแปรสตา์ชในแป้งข้าวเจ้าด้วยรังสียูวี

การคัดแปรสตา์ชในแป้งข้าวชัชนาท 1 ด้วยรังสียูวี ได้แปรสภาวะในการทดลองคือ ปรับ ความชื้นแป้งข้าวชัชนาท 1 ก่อนการคัดแปรเป็น 2 ระดับ คือ 25 และ 45% จากนั้น ทำให้เกิดสภาวะ ความชื้นสมดุลโดยเก็บแป้งปรับความชื้นไว้ในถุงปิดสนิท 24 ชม ที่อุณหภูมิ $2-4^{\circ}\text{C}$ จากนั้นเทแป้ง ปรับความชื้นใส่ถาด แล้วฉายรังสียูวีเป็นเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม ตามลำดับ จากนั้นนำแป้งคัดแปร สตา์ชด้วยรังสียูวีมาวิเคราะห์สมบัติดังนี้

2.1 ผลของการคัดแปรสตา์ชในแป้งข้าวเจ้าด้วยรังสียูวีต่อสมบัติทางเคมีฟิสิกส์

2.1.1 สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด

การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวปกติ และแป้งคัดแปรสตา์ชด้วยรังสี ยูวีทั้ง 8 สภาวะ วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (RVA) ให้ค่าวิเคราะห์ต่างๆ ได้แก่ ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย เซตแบค และอุณหภูมิ ที่เริ่มเกิดความหนืด ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การเปลี่ยนแปลงความหนืดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็วของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี

ตัวอย่าง ¹	ความหนืด(อาร์วียู) ²					อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (°ซ)
	ความหนืดสูงสุด	ความหนืดต่ำสุด	ความหนืดลดลง	ความหนืดสุดท้าย	เขตแบบค	
CN1	317.2 ± 5.5 a	235.3 ± 2.9 b	81.8 ± 2.6 a	414.3 ± 10.8 a	179.0 ± 13.7 a	80.8 ± 0.6 c
UV25-3	291.9 ± 1.9 b	259.4 ± 3.4 a	32.4 ± 1.4 c	333.7 ± 7.2 b	74.3 ± 10.5 bc	82.9 ± 0.6 c
UV25-5	284.4 ± 0.6 cd	252.2 ± 2.7 b	32.2 ± 3.3 c	333.1 ± 0.2 b	80.9 ± 2.9 b	83.3 ± 0.0 bc
UV25-7	288.1 ± 0.6 bc	256.9 ± 2.1 ab	31.2 ± 1.5 c	336.9 ± 14.3 b	80.0 ± 16.4 bc	82.9 ± 0.6 c
UV25-9	287.7 ± 2.8 bc	255.0 ± 0.4 ab	32.7 ± 2.4 c	340.0 ± 5.6 b	85.0 ± 6.0 b	83.4 ± 0.4 bc
UV45-3	276.0 ± 0.7 e	244.2 ± 0.2 c	31.8 ± 0.6 c	300.6 ± 2.7 c	56.4 ± 2.5 c	85.3 ± 0.2 a
UV45-5	291.5 ± 0.6 b	253.1 ± 0.3 ab	38.3 ± 0.4 b	327.0 ± 1.6 b	73.9 ± 1.9 bc	84.3 ± 0.9 ab
UV45-7	280.0 ± 1.3 de	245.0 ± 2.1 c	35.2 ± 0.8 bc	308.2 ± 4.4 c	63.2 ± 2.3 bc	84.8 ± 0.2 a
UV45-9	267.5 ± 2.0 f	233.3 ± 5.4 d	34.2 ± 3.5 bc	299.5 ± 9.2 c	66.2 ± 14.6 bc	85.2 ± 0.0 a

หมายเหตุ ¹ CN1 = แป้งข้าวชัยนาท 1, UV = การดัดแปรด้วยรังสียูวี

25 และ 45 = ความชื้นแป้ง (%) ก่อนการดัดแปร 3, 5, 7 และ 9 = เวลา (ชม) ดัดแปร

² ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งปกติมีค่ามากที่สุด คือ 317.2 อาร์วียู และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ระดับความชื้น 25 และ 45% ระยะเวลา 3-9 ชม ในทุกสภาวะการดัดแปร หากพิจารณาแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ปรากฏว่า การดัดแปรเป็นระยะเวลา 3, 7 และ 9 ชม มีค่าความหนืดสูงสุด 291.9, 288.1 และ 287.7 อาร์วียู ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนการดัดแปรเป็นระยะเวลา 5 ชม มีค่าความหนืดสูงสุด 284.4 อาร์วียู น้อยกว่าความหนืดสูงสุดของแป้งดัดแปรสตาร์ชเป็นระยะเวลา 3 ชม แต่ไม่แตกต่างกับการดัดแปรเป็นระยะเวลา 7 และ 9 ชม ในทำนองเดียวกัน หากพิจารณาแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ปรากฏว่า การดัดแปรเป็นระยะเวลา 3 และ 7 ชม มีค่าความหนืดสูงสุด 276.0 และ 280.0 อาร์วียู ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) การดัดแปรเป็นระยะเวลา 5 ชม มีค่าความหนืดสูงสุด 291.5 อาร์วียู มากกว่าแป้งดัดแปรสตาร์ชที่ระดับความชื้นเดียวกันอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่หากยืระยะเวลาการดัดแปรเป็น 9 ชม แป้งดัดแปร

สตาร์ชมีค่าความหนืดสูงสุด น้อยที่สุดเป็น 267.5 อาร์วียู เมื่อพิจารณาความหนืดสูงสุดของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแ่งก่อนดัดแปรต่างกัน คือ 25 และ 45% แต่ใช้ระยะเวลาการดัดแปรเท่ากันในช่วง 3-9 ชม ผลปรากฏว่า ที่ระยะเวลาการดัดแปร 3, 7 และ 9 ชม แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแ่งก่อนดัดแปรเป็น 45% มีความหนืดสูงสุดน้อยกว่าแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแ่งก่อนดัดแปรเป็น 25% อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ที่ระยะเวลาการดัดแปร 5 ชม แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแ่งก่อนดัดแปรเป็น 45% มีความหนืดสูงมากกว่าแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแ่งก่อนดัดแปรเป็น 25% อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ความหนืดต่ำสุดของแป้งปกติมีค่า 235.3 อาร์วียู เมื่อพิจารณาสถานะการดัดแปรที่ระดับความชื้น 25% ผลปรากฏว่า แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 3 ชม ที่มีค่าความหนืดต่ำสุด 259.4 อาร์วียู มากกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 5, 7 และ 9 ชม ซึ่งมีความหนืดต่ำสุด 252.2, 256.9 และ 255.0 อาร์วียู ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับความหนืดต่ำสุดของแป้งปกติ เมื่อพิจารณาสถานะการดัดแปรที่ระดับความชื้น 45% ผลปรากฏว่า การดัดแปรระยะเวลา 3 ชม ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับการดัดแปรระยะเวลา 7 ชม ซึ่งมีค่าความหนืดต่ำสุดเป็น 244.2 และ 245.0 อาร์วียู ตามลำดับ แต่แตกต่างกับแป้งปกติ ส่วนแป้งดัดแปรสตาร์ชที่ระยะเวลา 5 ชม มีความหนืดต่ำสุด 253.1 อาร์วียู มากกว่าความหนืดต่ำสุดของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่ระดับความชื้นเดียวกัน แต่มีค่าไม่แตกต่างกับความหนืดต่ำสุดของแป้งปกติ นอกจากนี้ แป้งดัดแปรสตาร์ชที่ระยะเวลา 9 ชม มีความหนืดต่ำสุด 233.3 อาร์วียู น้อยกว่าความหนืดต่ำสุดของแป้งดัดแปรสตาร์ชที่ระดับความชื้นเดียวกัน และมีค่าความหนืดต่ำสุดน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาความหนืดต่ำสุดของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแ่งก่อนดัดแปรต่างกัน คือ 25 และ 45% แต่ใช้ระยะเวลาการดัดแปรเท่ากันในช่วง 3-9 ชม ผลปรากฏว่า ที่ระยะเวลาการดัดแปร 3, 7 และ 9 ชม แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแ่งก่อนดัดแปรเป็น 45% มีความหนืดต่ำสุดน้อยกว่าแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแ่งก่อนดัดแปรเป็น 25% แต่ที่ระยะเวลาการดัดแปร 5 ชม แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแ่งก่อนดัดแปรเป็น 25 และ 45% มีความหนืดต่ำสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ความหนืดลดลงของแป้งปกติมีค่ามากที่สุด คือ 81.8 อาร์วียู สูงกว่าความหนืดลดลงของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีทุกสถานะการทดลองอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบผลของการดัดแปรสตาร์ชในแ่งด้วยรังสียูวี โดยปรับความชื้นเป็น 25% ระยะเวลา 3,

5, 7 และ 9 ชม ความหนืดลดลงของแป้งดัดแปรสตาร์ช มีค่า 32.4, 32.2, 31.2 และ 32.7 อาร์วียู ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) หากพิจารณาความหนืดลดลงของแป้งดัดแปรสตาร์ช ด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3, 7 และ 9 ชม มีค่าไม่แตกต่างกัน คือ 31.8, 35.2 และ 34.2 อาร์วียู ตามลำดับ ส่วนแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 5 ชม มีความหนืดลดลง 38.3 อาร์วียู ไม่แตกต่างกับความหนืดลดลงของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 7 และ 9 ชม แต่มีค่ามากกว่าความหนืดลดลงของแป้งดัดแปรสตาร์ช ด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3 ชม อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) เมื่อพิจารณา ความหนืดลดลงของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแป้งก่อนดัดแปรต่างกัน คือ 25 และ 45% แต่ใช้ระยะเวลาการดัดแปรเท่ากันในช่วง 3-9 ชม ผลปรากฏว่า ที่ระยะเวลาการดัดแปร 3, 7 และ 9 ชม แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแป้งก่อนดัดแปรเป็น 25 และ 45% มีความหนืดลดลงไม่แตกต่างกัน แต่ที่ระยะเวลาการดัดแปร 5 ชม แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแป้งก่อนดัดแปรเป็น 45% มีความหนืดลดลงมากกว่าแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแป้งก่อนดัดแปรเป็น 25% อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ความหนืดสุดท้ายของแป้งปกติคือ 414.3 อาร์วียู มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งดัดแปรด้วยรังสียูวีในทุกสภาวะการทดลอง เมื่อพิจารณาแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม มีค่าความหนืดสุดท้ายไม่แตกต่างกัน คือ 333.7, 333.1, 336.9 และ 340.0 อาร์วียู ตามลำดับ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาที่ระดับความชื้น 45% ปรากฏว่า การใช้ระยะเวลาดัดแปรนาน 3, 7 และ 9 ชม มีค่าความหนืดสุดท้ายไม่แตกต่างกัน คือ 300.6, 308.2 และ 299.5 อาร์วียู ตามลำดับ แต่มีความหนืดสุดท้ายน้อยกว่าแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 5 ชม ที่มีค่าความหนืดสุดท้ายเท่ากับ 327.0 อาร์วียู อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) เมื่อพิจารณาความหนืดสุดท้ายของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแป้งก่อนดัดแปรต่างกัน คือ 25 และ 45% แต่ใช้ระยะเวลาการดัดแปรเท่ากันในช่วง 3-9 ชม ผลปรากฏว่า ที่ระยะเวลาการดัดแปร 3, 7 และ 9 ชม แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแป้งก่อนดัดแปรเป็น 45% มีความหนืดสุดท้ายน้อยกว่าแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแป้งก่อนดัดแปรเป็น 25% อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) แต่ที่ระยะเวลาการดัดแปร 5 ชม แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแป้งก่อนดัดแปรเป็น 25 และ 45% มีความหนืดสุดท้ายไม่แตกต่างกัน

เซตแบบของแป้งปกติ 179.0 อาร์วียู มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งดัดแปรด้วยรังสียูวีในทุกสภาวะการทดลอง แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25%

ระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม มีค่าเซตแบบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือมีค่า 74.3, 80.9, 80.0 และ 85.0 อาร์วียู ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ระดับความชื้นแฉะ 45% ปรากฏว่า แปะดัดแปรสตาเรชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม มีค่าเซตแบบไม่แตกต่างกัน เท่ากับ 56.4, 73.9, 63.2 และ 66.2 อาร์วียู ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเซตแบบของแปะดัดแปรสตาเรชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแฉะก่อนดัดแปรต่างกัน คือ 25 และ 45% แต่ใช้ระยะเวลาการดัดแปรเท่ากัน ในช่วง 3-9 ชม ผลปรากฏว่า มีค่าเซตแบบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกระยะเวลาการดัดแปร

อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความร้อนของแปะปกติ 80.8⁰ซ มีค่าต่ำกว่าแปะดัดแปรสตาเรชด้วยรังสียูวีทุกสภาวะการทดลองอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ส่วนแปะดัดแปรสตาเรชด้วยรังสียูวีที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม มีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความร้อนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 82.9, 83.3, 82.9 และ 83.4⁰ซ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาสภาวะการดัดแปร โดยแปะมีระดับความชื้น 45% ปรากฏผลในทำนองเดียวกันว่า แปะดัดแปรสตาเรชด้วยรังสียูวีที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม มีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความร้อน 85.3, 84.3, 84.8 และ 85.2⁰ซ ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความร้อนของแปะดัดแปรสตาเรชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแฉะก่อนดัดแปรต่างกัน คือ 25 และ 45% แต่ใช้ระยะเวลาการดัดแปรเท่ากันในช่วง 3-9 ชม ผลปรากฏว่า ที่ระยะเวลาการดัดแปร 3, 7 และ 9 ชม แปะดัดแปรสตาเรชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแฉะก่อนดัดแปรเป็น 45% มีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความร้อนสูงกว่าแปะดัดแปรสตาเรชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแฉะก่อนดัดแปรเป็น 25% อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) แต่ที่ระยะเวลาการดัดแปร 5 ชม แปะดัดแปรสตาเรชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแฉะก่อนดัดแปรเป็น 25 และ 45% มีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความร้อนไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาผลโดยรวมของการดัดแปรสตาเรชในแปะด้วยรังสียูวีทั้งที่ระดับความชื้น 25 และ 45% ระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม ปรากฏว่า การดัดแปรสตาเรชด้วยวิธีนี้ส่งผลให้ค่าความร้อนสูงสุด ความร้อนลดลง ความร้อนสุดท้าย และเซตแบบมีค่าน้อยลง ส่วนอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความร้อนมีค่าสูงขึ้นกว่าค่าการเปลี่ยนแปลงความร้อนของแปะปกติที่ไม่ผ่านการดัดแปร ค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความร้อนมีค่าสูงขึ้นนี้ แสดงถึงเม็ดสตาเรชดัดแปรพองตัวได้มากขึ้น จึงต้องใช้อุณหภูมิ และระยะเวลาที่นานขึ้นในการทำให้เม็ดสตาเรชพองตัวจนเริ่มเกิดความร้อน นอกจากนี้ ความร้อนลดลงมีค่าน้อยกว่าแปะปกติ แสดงว่าเม็ดสตาเรชที่ผ่านการดัดแปรด้วยรังสียูวีมีความคงทนต่อความร้อน และแรงเสียดมากกว่าสตาเรชจากแปะปกติ

จากผลการทดลองนี้ การตัดแปรด้วยรังสียูวีทำให้แป้งตัดแปรสตาร์ชมีความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบบน้อยลง สอดคล้องกับการทดลองของ Fiedorowicz *et al.* (1999) ที่ตัดแปรสตาร์ชข้าวโพดปรับความชื้นเป็น 70% ด้วยรังสียูวีความยาวคลื่นมากกว่า 250 นาโนเมตร ในสภาวะที่มีอากาศ นาน 5 และ 15 ชม และค่าความหนืดสูงสุดที่น้อยลงนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bertolini *et al.* (2000) ที่ตัดแปรสตาร์ชมันสำปะหลังด้วยรังสียูวีความยาวคลื่น 250-600 นาโนเมตร นาน 15 ชม แต่ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยเดียวกันนี้ที่ใช้สตาร์ชข้าวโพดเป็นวัตถุดิบ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความหนืดยังคงเท่ากับสตาร์ชข้าวโพดปกติ

2.1.2 กำลังการพองตัว

กำลังการพองตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการอุ้มน้ำของเม็ดสตาร์ช เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำแป้ง แป้งจะมีกำลังการพองตัวมากขึ้น ตามอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 11

ที่อุณหภูมิ 60⁰ซ กำลังการพองตัวของแป้งปกติ 2.7 ก/ก เมื่อตัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี แป้งตัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ทั้งที่ระดับความชื้น 25 และ 45% ระยะเวลา 3-9 ชม ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับกำลังการพองตัวของแป้งปกติ โดยกำลังการพองตัวของแป้งตัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม มีค่า 2.7, 2.7, 2.6 และ 2.6 ก/ก ตามลำดับ และแป้งตัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม มีกำลังการพองตัว 2.6, 2.7, 2.7 และ 2.7 ก/ก ตามลำดับ

ตารางที่ 11 กำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาโรซ์ด้วยรังสียูวี

ตัวอย่าง ¹	กำลังการพองตัว (ก/ก) ²			
	อุณหภูมิ (°ซ)			
	60 ^{ns}	70	80	90
CN1	2.7 ± 0.0	3.7 ± 0.0 abc	9.8 ± 0.0 ab	13.1 ± 0.0 bc
UV25-3	2.7 ± 0.0	3.7 ± 0.0 bcd	10.0 ± 0.0 a	12.9 ± 0.2 cde
UV25-5	2.7 ± 0.0	3.7 ± 0.0 abcd	9.9 ± 0.1 ab	12.9 ± 0.1 cde
UV25-7	2.6 ± 0.0	3.8 ± 0.0 ab	9.9 ± 0.1 ab	13.3 ± 0.0 ab
UV25-9	2.6 ± 0.0	3.7 ± 0.1 cd	9.7 ± 0.2 bc	12.8 ± 0.2 de
UV45-3	2.6 ± 0.0	3.7 ± 0.1 cd	9.5 ± 0.2 cd	13.0 ± 0.1 bcd
UV45-5	2.7 ± 0.0	3.7 ± 0.0 cd	9.9 ± 0.1 ab	13.5 ± 0.0 a
UV45-7	2.7 ± 0.0	3.6 ± 0.0 d	9.1 ± 0.2 e	12.4 ± 0.1 f
UV45-9	2.7 ± 0.0	3.8 ± 0.0 a	9.3 ± 0.1 de	12.6 ± 0.2 ef

หมายเหตุ ¹ CN1 = แป้งข้าวชัยนาท 1, UV = การดัดแปรด้วยรังสียูวี

25 และ 45 = ความชื้นแป้ง (%) ก่อนการดัดแปร 3, 5, 7 และ 9 = เวลา (ชม) ดัดแปร

² ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ที่อุณหภูมิ 70°ซ กำลังการพองตัวของแป้งปกติ 3.7 ก/ก ส่วนกำลังการพองตัวของแป้งดัดแปรสตาโรซ์ด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม มีค่า 3.7, 3.7, 3.8 และ 3.7 ก/ก ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกำลังการพองตัวของแป้งปกติ ส่วนแป้งดัดแปรสตาโรซ์ด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3, 5 และ 9 ชม มีกำลังการพองตัว 3.7, 3.7 และ 3.8 ก/ก ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกำลังการพองตัวของแป้งปกติ เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม หากดัดแปรสตาโรซ์ในแป้งด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 7 ชม จะทำให้แป้งดัดแปรสตาโรซ์ มีกำลังการพองตัว 3.6 ก/ก น้อยกว่าแป้งปกติ อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งดัดแปรสตาโรซ์ด้วยรังสียูวี โดยปรับระดับความชื้นแป้งต่างกัน แต่ระยะเวลาการดัดแปรในช่วงเวลา 3-9 ชม เท่ากัน ปรากฏว่า ที่ระยะเวลาการดัดแปร 3 และ 5 ชม แป้งที่ถูกรับความชื้นเป็น 25 และ 45% มีกำลังการพองตัวไม่แตกต่างกัน แต่ที่ระยะเวลาการดัดแปร 7 ชม แป้งที่ปรับความชื้นเป็น 45% ก่อนฉายรังสียูวี มีกำลังการพองตัวน้อย

กว่าแป้งปรับความชื้นเป็น 25% ก่อนฉายรังสียูวี ส่วนที่ระยะเวลาการดัดแปร 9 ชม แป้งที่ปรับความชื้นเป็น 45% ก่อนฉายรังสียูวี มีกำลังการพองตัวมากกว่าแป้งปรับความชื้นเป็น 25% ก่อนฉายรังสียูวี

ที่อุณหภูมิ 80⁰ซ กำลังการพองตัวของแป้งปกติ 9.8 ก/ก ส่วนกำลังการพองตัวของแป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม มีค่า 10.0, 9.9, 9.9 และ 9.7 ก/ก ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งปกติ แป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3, 7 และ 9 ชม มีกำลังการพองตัว 9.5, 9.1 และ 9.3 ก/ก น้อยกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) และกำลังการพองตัวของแป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 5 ชม เท่ากับ 9.9 ก/ก ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งปกติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี โดยปรับระดับความชื้นแป้งต่างกัน แต่ระยะเวลาการดัดแปรในช่วงเวลา 3-9 ชม เท่ากัน ปรากฏว่า แป้งที่ปรับความชื้นเป็น 45% ก่อนฉายรังสียูวี มีกำลังการพองตัวน้อยกว่าแป้งปรับความชื้นเป็น 25% ก่อนฉายรังสียูวี ยกเว้นที่ระยะเวลาการดัดแปร 5 ชม ที่มีกำลังการพองตัวไม่แตกต่างกัน

ที่อุณหภูมิ 90⁰ซ กำลังการพองตัวของแป้งปกติ 13.1 ก/ก ส่วนกำลังการพองตัวของแป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 3, 5 และ 7 ชม มีค่า 12.9, 12.9 และ 13.3 ก/ก ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งปกติ แต่หากเพิ่มระยะเวลาเป็น 9 ชม ทำให้มีกำลังการพองตัว 12.8 ก/ก น้อยกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) นอกจากนี้การดัดแปรสตาซ์ในแป้งด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3 ชม มีกำลังการพองตัว 13.0 ก/ก ไม่แตกต่างกับแป้งปกติ เมื่อเพิ่มระยะเวลาดัดแปรเป็น 5 ชม มีกำลังการพองตัว 13.5 ก/ก มากกว่าแป้งปกติ แต่หากเพิ่มระยะเวลาดัดแปรนานขึ้นเป็น 7 และ 9 ชม กำลังการพองตัวน้อยลงเท่ากับ 12.4 และ 12.6 ก/ก ตามลำดับ น้อยกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี โดยปรับระดับความชื้นแป้งต่างกัน แต่ระยะเวลาการดัดแปรในช่วงเวลา 3-9 ชม เท่ากัน ปรากฏว่า ที่ระยะเวลาการดัดแปร 3 และ 9 ชม แป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี โดยปรับระดับความชื้นแป้งเป็น 25 และ 45% ก่อนดัดแปร มีกำลังการพองตัวไม่แตกต่างกัน ส่วนที่ระยะเวลาการดัดแปร 5 ชม แป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี โดยปรับความชื้นแป้งเป็น 45% ก่อนดัดแปร มีกำลังการพองตัวมากกว่าแป้งที่ปรับความชื้นเป็น 25% ก่อนดัดแปรอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) แต่ที่ระยะเวลาการดัดแปร 7 ชม แป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี โดยปรับความชื้นแป้งเป็น 45% ก่อนดัดแปร มีกำลังการพองตัวมากกว่าแป้งที่ปรับความชื้นเป็น 25% ก่อนดัดแปรอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 80°C ของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3, 7 และ 9 ชม. มีกำลังการพองตัวน้อยกว่าแป้งปกติ สอดคล้องกับผลการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดสูงกว่าแป้งปกติ และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 7 และ 9 ชม. มีกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 90°C น้อยกว่าแป้งสถานะอื่นมากที่สุด

2.1.3 เปอร์เซ็นต์การละลาย

ค่าการละลายของสตาร์ชเกิดจากโมเลกุลสตาร์ชบางส่วนในน้ำแป้ง ซึมหลุดออกจากเม็ดสตาร์ชระหว่างเม็ดสตาร์ชพองตัว ดังนั้น ค่าการละลายสามารถบ่งชี้ได้ถึงความสามารถในการเกาะเกี่ยว หรือเกิดพันธะต่อกัน ระหว่างโมเลกุลของสตาร์ช การละลายของแป้งปกติ และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ระหว่างอุณหภูมิ $60-90^{\circ}\text{C}$ แสดงในตารางที่ 12

ที่อุณหภูมิ 60°C การละลายของแป้งปกติเป็น 0.7% ส่วนการละลายของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 3, 5 และ 7 ชม. มีค่า 0.7, 0.8 และ 0.8% ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งปกติ เมื่อเพิ่มระยะเวลาการดัดแปรเป็น 9 ชม. ได้ค่าการละลาย 0.8% มากกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3, 5 และ 7 ชม. มีค่าการละลาย 0.8, 0.7 และ 0.7 % ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งปกติ แต่แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 9 ชม. มีการละลาย 0.9% มากกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) เมื่อพิจารณาการละลายของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแป้งก่อนดัดแปรต่างกัน คือ 25 และ 45% แต่ใช้ระยะเวลาการดัดแปรเท่ากันในช่วง 3-9 ชม. ผลปรากฏว่า มีค่าการละลายไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกระยะเวลาการดัดแปร

ตารางที่ 12 การละลายของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี

ตัวอย่าง ¹	การละลาย (%) ²			
	อุณหภูมิ (°ซ)			
	60	70	80 ^{ns}	90
CN1	0.7 ± 0.0 c	0.8 ± 0.0 de	2.3 ± 0.0	4.2 ± 0.0 c
UV25-3	0.7 ± 0.1 c	0.9 ± 0.0 bcd	3.0 ± 0.4	4.3 ± 0.3 bc
UV25-5	0.8 ± 0.1 bc	0.9 ± 0.1 c	2.5 ± 0.1	4.6 ± 0.2 b
UV25-7	0.8 ± 0.0 bc	1.0 ± 0.1 b	2.5 ± 0.0	4.4 ± 0.3 bc
UV25-9	0.8 ± 0.0 ab	0.9 ± 0.0 bcde	3.1 ± 0.9	4.6 ± 0.2 b
UV45-3	0.8 ± 0.0 c	0.8 ± 0.0 e	2.2 ± 0.1	4.4 ± 0.0 bc
UV45-5	0.7 ± 0.0 c	0.8 ± 0.0 e	2.5 ± 0.6	3.4 ± 0.1 d
UV45-7	0.7 ± 0.0 c	0.9 ± 0.0 cde	2.2 ± 0.0	4.2 ± 0.0 bc
UV45-9	0.9 ± 0.0 a	1.1 ± 0.0 a	2.5 ± 0.1	5.1 ± 0.1 a

หมายเหตุ ¹ CN1 = แป้งข้าวชัยนาท 1, UV = การดัดแปรด้วยรังสียูวี

25 และ 45 = ความชื้นแป้ง (%) ก่อนการดัดแปร 3, 5, 7 และ 9 = เวลา (ชม) ดัดแปร

² ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ที่อุณหภูมิ 70°ซ การละลายของแป้งปกติเป็น 0.8% ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 3 และ 9 ชม ที่มีการละลาย 0.9% เท่ากัน แต่แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 5 และ 7 ชม มีการละลาย 0.9 และ 1.0% มากกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนการดัดแปรสตาร์ชในแป้งด้วยรังสียูวี โดยปรับความชื้นแป้งเป็น 45% ระยะเวลา 3, 5 และ 7 ชม ไม่ทำให้ค่าการละลายของแป้งดัดแปรสตาร์ชต่างไปจากแป้งปกติ โดยแป้งดัดแปรสตาร์ชสภาวะดังกล่าว มีการละลาย 0.8, 0.8 และ 0.9% ตามลำดับ แต่หากเพิ่มระยะเวลาการดัดแปรเป็น 9 ชม ที่ระดับความชื้นเดิม คือ 45% ทำให้ค่าการละลายเพิ่มขึ้นมากที่สุดเป็น 1.1% แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับแป้งปกติ เมื่อพิจารณาการละลายของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแป้งก่อนดัดแปรต่างกัน คือ 25 และ 45% แต่ใช้ระยะเวลาการดัดแปรเท่ากันในช่วง 3-9 ชม ผลปรากฏว่า แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นแป้งเป็น 45% ใช้เวลาดัดแปรนาน 3, 5 และ 7 ชม มีการละลาย

น้อยกว่าแป้ดัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นเป้่งเป็น 25% ในระยะเวลาการดัดแปรที่เท่ากัน แต่หากใช้ระยะเวลาการดัดแปรนานขึ้นเป็น 9 ชม แป้ดัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นเป้่งเป็น 45% มีการละลายสูงกว่าแป้ดัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นเป้่งเป็น 25% อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

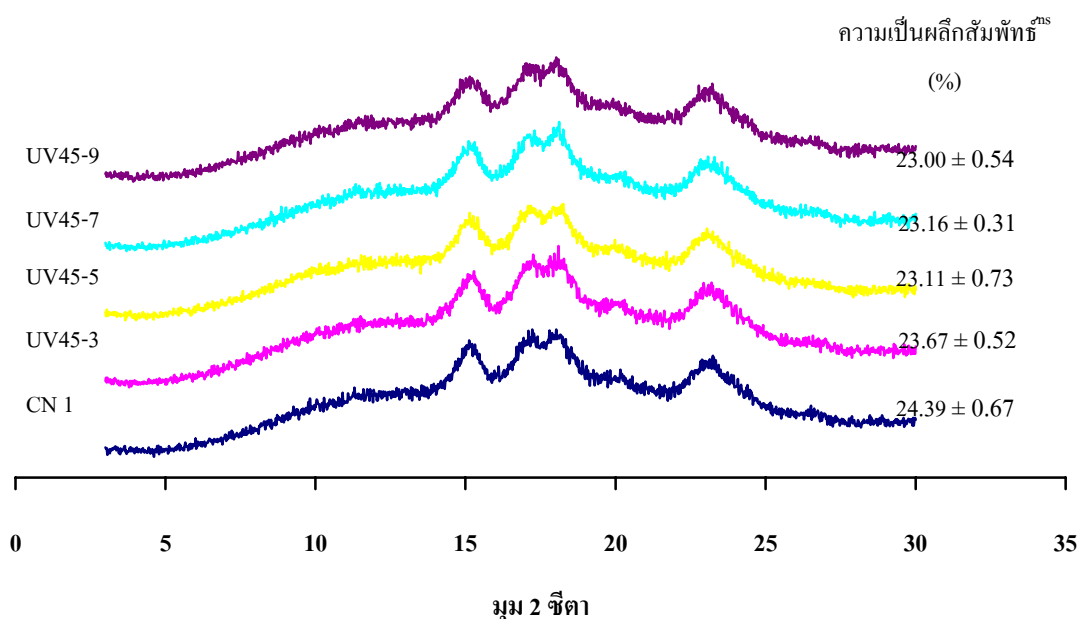
ที่อุณหภูมิ 80⁰ซ การละลายของแป้่งปกติเป็น 2.3% แป้่งดัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม ที่มีการละลายไม่แตกต่างกัน คือ 3.0, 2.5, 2.5 และ 3.1% ตามลำดับ แป้่งดัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม มีการละลายไม่แตกต่างกัน คือ 2.2, 2.5, 2.2 และ 2.5% ตามลำดับ ซึ่งแป้่งดัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวี ทั้งที่ปรับระดับความชื้นเป้่งเป็น 25 และ 45% ทุกสภาวะการทดลอง มีการละลายไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับ การละลายของแป้่งปกติ

ที่อุณหภูมิ 90⁰ซ การละลายของแป้่งปกติมีค่า 4.2% ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับ การละลายของแป้่งดัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 3 และ 7 ชม ซึ่งมีค่า 4.3 และ 4.4% ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 5 และ 9 ชม แป้่งดัดแปรสตา์ชมีค่าการละลาย 4.6% เท่ากัน และมีการละลายสูงกว่าแป้่งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม แป้่งดัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 3-9 ชม มีการละลายไม่แตกต่างกัน การละลายของแป้่งดัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3 และ 7 ชม มีค่าการละลาย 4.4 และ 4.2% ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้่งปกติ แป้่งดัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 5 ชม มีค่าการละลายต่ำที่สุด เท่ากับ 3.4% ส่วนการละลายของแป้่งดัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 9 ชม มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 5.1% เมื่อพิจารณาการละลายของแป้่งดัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นเป้่งก่อนดัดแปรต่างกัน คือ 25 และ 45% แต่ใช้ระยะเวลาการดัดแปรเท่ากันในช่วง 3-9 ชม ผลปรากฏว่า ที่ระยะเวลาการดัดแปร 3 และ 7 ชม แป้่งดัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นเป้่งก่อนดัดแปรเป็น 25 และ 45% มีการละลายไม่แตกต่างกัน แต่ที่ระยะเวลาการดัดแปร 5 ชม แป้่งดัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นเป้่งก่อนดัดแปรเป็น 45% มีการละลายน้อยกว่าแป้่งที่ปรับความชื้นเป็น 25% อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนที่ระยะเวลาการดัดแปร 9 ชม แป้่งดัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวีที่ปรับความชื้นเป้่งก่อนดัดแปรเป็น 45% มีการละลายมากกว่าแป้่งที่ปรับความชื้นเป็น 25% อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าการละลายของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีส่วนใหญ่มีค่าการละลายมากกว่าหรือเท่ากับแป้งปกติ และการละลายไม่สอดคล้องกับกำลังการพองตัวของแป้งดัดแปรสตาร์ช เช่น แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% นาน 7 และ 9 ชม. มีกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 90⁰ซ ไม่แตกต่างกัน แต่มีการละลายต่างกัน คือ การดัดแปรนาน 7 ชม การละลายของแป้งไม่เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อดัดแปรนาน 9 ชม ทำให้การละลายมากขึ้น ทั้งนี้จะเป็นเพราะวิธีการวิเคราะห์กำลังการพองตัว และการละลายวิธีนี้เป็นวิธีพื้นฐานในการวิเคราะห์เท่านั้น ไม่ละเอียดเพียงพอที่จะแยกแยะความแตกต่างเล็กน้อยให้เกิดผลที่ชัดเจนขึ้นได้

2.1.4 ความเป็นผลึกสัมพัทธ์

เมื่อวิเคราะห์ผลจากการทดลองเรื่องกำลังการพองตัว เปอร์เซ็นต์การละลาย และสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด ผลปรากฏว่า แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ระดับความชื้น 45% เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีฟิสิกส์มากกว่าแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ระดับความชื้น 25% ดังการอธิบายข้างต้น ดังนั้น จึงนำแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ระดับความชื้น 45% มาวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก และสมบัติการเกิดเจลาทีไนซ์ เพื่ออธิบายผลของการดัดแปรด้วยรังสียูวี ต่อลักษณะการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลสตาร์ชให้ชัดเจนยิ่งขึ้น



ภาพที่ 21 ความเป็นผลึกสัมพัทธ์ของแป้งข้าวชัณนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ระดับความชื้น 45% เป็นระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม

ความเป็นผลึกสัมพัทธ์ของแป้งปกติที่มีค่า 24.39% ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม ที่มี ความเป็นผลึกสัมพัทธ์ 23.67, 23.11, 23.16 และ 23.00% ตามลำดับ แสดงถึง การใช้ระยะเวลาในการดัดแปรนานขึ้น ไม่ส่งผลต่อความเป็นผลึกสัมพัทธ์ของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3-9 ชม (ภาพที่ 21)

รูปแบบโครงสร้างผลึกของแป้งข้าวชัณนาท 1 ไม่ดัดแปร เป็นโครงสร้างผลึกชนิดเอ (A type) ซึ่งเป็นชนิดที่เกิดขึ้นกับสตาร์ชจากธัญชาติเป็นส่วนใหญ่ (Fitzgerald, 2004) การดัดแปรสตาร์ชในแป้งด้วยรังสียูวีในการทดลองนี้ ไม่เปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างผลึกของแป้ง คือ ยังคงเกิดจุดสูงสุด (peak) ที่ตำแหน่ง 20 เท่ากับ 15 องศา จำนวน 1 จุด ตำแหน่ง 20 เท่ากับ 17-18 องศา จำนวน 2 จุดเชื่อมต่อกัน ตำแหน่ง 20 เท่ากับ 20 องศา จำนวน 1 จุด และตำแหน่ง 20 เท่ากับ 23 องศา จำนวน 1 จุด (ภาพที่ 21)

Vatanasuchart *et al.* (2005) วิจัยผลของรังสียูวี 3 ชนิด คือ ยูวีบีเอ (UVBA) ยูวีบี (UVB) และยูวีซี (UVC) ต่อสตาร์ชมันสำปะหลังที่ถูกย่อยด้วยกรดแลกติก 1% ก่อนนำไปดัดแปรด้วยรังสียูวีทั้ง 3 ชนิด ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดโมเลกุล (molecular size

distribution) ด้วยวิธีโครมาโทกราฟี (high performance size exclusion chromatography; HPSEC) ปรากฏว่า การตัดแปรด้วยรังสียูวีซี (ซึ่งมีความเข้มของพลังงานสูงที่สุด) ระยะเวลา 9 ชม เกิดการตัดสายของโมเลกุลเอมิโลส และเอมิโลเพกทิน ทำให้เกิดโมเลกุลสตาร์ขนาดกลาง (intermediate size molecule) มากกว่ารังสีชนิดอื่น ส่วนรังสียูวีบีจะไปตัดสายโมเลกุลเอมิโลสเป็นหลัก โดยรังสียูวีบี และยูวีซี ทำให้ความยาวสายโมเลกุลสตาร์ (degree of polymerization; DPn) ลดลงจาก 2173 (สตาร์ไขมันสำปะหลังปกติ) เหลือ 1427 และ 1096 ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม สตาร์ข้าวซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบเอ (A-type) สามารถเกิดปฏิสัมพันธ์กับโมเลกุลของน้ำได้น้อยกว่าสตาร์มันสำปะหลังซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบบี (B-type) จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลสตาร์จากรังสียูวีได้น้อย เนื่องจากจำนวนน้ำที่ช่วยเป็นพลาสติกไซเซอร์ในการขับเคลื่อนโมเลกุลสตาร์มีน้อย ประกอบกับโมเลกุลสตาร์ยังคงจัดรูปแบบการเรียงตัวเป็นกลุ่มใหญ่ ไม่ได้ผ่านการย่อยให้มีโมเลกุลเล็ก การเคลื่อนตัวเพื่อเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างโมเลกุลจึงเกิดขึ้นอย่างลำบาก ทำให้การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกสัมผัสของแป้งข้าวตัดแปรด้วยรังสียูวีในการทดลองนี้ไม่พบความแตกต่างจากแป้งปกติ นอกจากนี้ รังสีที่ใช้ในการตัดแปรเป็นรังสียูวีบี ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนโมเลกุลสตาร์ได้น้อย อีกทั้งยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโมเลกุลของเอมิโลสเป็นหลัก (Vatanasuchart *et al.*, 2005) ซึ่งความเป็นผลึกสัมผัสส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของโครงสร้างเอมิโลเพกทิน ทำให้ผลการวิเคราะห์ความเป็นผลึกสัมผัสจากการตัดแปรด้วยรังสียูวีบีเห็นไม่ชัดเจน

2.1.5 สมบัติการเกิดเจลในเซชัน

การวิเคราะห์เจลในเซชันของแป้งปกติ และแป้งตัดแปรสตาร์ด้วยรังสียูวีที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3-9 ชม ด้วยเครื่องดีเอสซี วิเคราะห์อุณหภูมิเริ่มต้น (T_o), อุณหภูมิที่จุดสูงสุด (T_p), อุณหภูมิสิ้นสุด (T_c), ช่วงอุณหภูมิ ($T_c - T_o$) และ พลังงานเอนทัลปี (ΔH) ของการเกิดเจลในเซชัน เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติการเกิดเจลในเซชัน ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 อุณหภูมิ และเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตีไนซ์ ของแป้งข้าวชัณนาท 1 และแป้งดัดแปร
สตาร์ชด้วยรังสียูวี

ตัวอย่าง ¹	อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีไนซ์ (°ซ) ²			ΔH^{ns} (จูล/ก)
	To ^{ns}	Tp ^{ns}	Tc ^{ns}	
CN1	72.2 ± 0.09	77.3 ± 0.24	82.5 ± 0.59	15.0 ± 0.17
UV45-3	73.1 ± 0.64	77.6 ± 0.76	83.0 ± 1.17	13.7 ± 0.68
UV45-5	72.8 ± 0.01	77.9 ± 0.12	83.1 ± 0.13	13.8 ± 0.15
UV45-7	72.6 ± 0.42	77.4 ± 0.53	82.6 ± 0.73	13.7 ± 0.68
UV45-9	72.1 ± 0.11	77.4 ± 0.06	82.7 ± 0.05	13.5 ± 1.48

หมายเหตุ ¹ CN1 = แป้งข้าวชัณนาท 1, UV = การดัดแปรด้วยรังสียูวี

45 = ความชื้นแป้ง (%) ก่อนการดัดแปร 3, 5, 7 และ 9 = เวลา (ชม) ดัดแปร

² ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลิตีไนซ์ของแป้งปกติ คือ 72.2⁰ซ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% เป็นระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม ซึ่งมีอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลิตีไนซ์ (To) 73.1, 72.8, 72.6 และ 72.1⁰ซ ตามลำดับ

อุณหภูมิที่จุดสูงสุดของการเกิดเจลลิตีไนซ์ของแป้งปกติ คือ 77.3⁰ซ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% เป็นระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม ซึ่งมีอุณหภูมิที่จุดสูงสุดของการเกิดเจลลิตีไนซ์ (Tp) 77.6, 77.9, 77.4 และ 77.4⁰ซ ตามลำดับ

อุณหภูมิสิ้นสุดของการเกิดเจลลิตีไนซ์ของแป้งปกติ คือ 82.5⁰ซ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% เป็นระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม ซึ่งมีอุณหภูมิสิ้นสุดของการเกิดเจลลิตีไนซ์ (Tc) 83.0, 83.1, 82.6 และ 82.7⁰ซ ตามลำดับ

พลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลาทีนซ์ของแป้งปกติ มีค่า 15.0 จูล/กโมล
แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลาทีนซ์ (ΔH) ของแป้งดัดแปร
สตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% เป็นระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม ซึ่งมีค่า 13.7, 13.8, 13.7
และ 13.5 จูล/ก ตามลำดับ

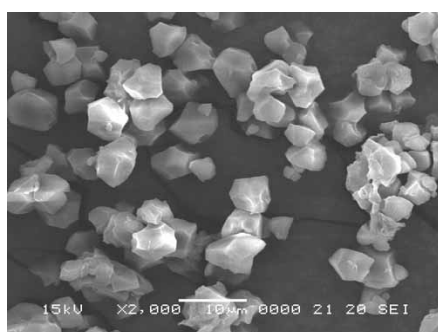
การวิเคราะห์สมบัติการเกิดเจลาทีนซ์ของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ผล
จากข้อมูลข้างต้นปรากฏว่า อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิที่จุดสูงสุด อุณหภูมิสิ้นสุด และพลังงาน
เอนทัลปีของการเกิดเจลาทีนซ์ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับแป้งปกติ อาจเป็นเพราะการ
เปลี่ยนแปลงในระดับโครงสร้างโมเลกุลสตาร์ชเกิดขึ้นน้อยมากเกินกว่าความละเอียดของเครื่องมือ
จะสามารถวัดได้ สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่
ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3-9 ชม ที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของความเป็นผลึก และสอดคล้อง
กับผลการทดลองของ Vatanasuchart *et al.* (2005) ที่นำสตาร์ชมันสำปะหลังย่อยด้วยกรดแลกติก
1% ไปดัดแปรด้วยรังสียูวี นาน 7, 9 และ 15 ชม วิเคราะห์สมบัติการเกิดเจลาทีนซ์ด้วยเครื่องดี
เอสซี ปรากฏว่า อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาทีนซ์ ของสตาร์ชดัดแปรนาน 7 และ 9 ชม และ
อุณหภูมิที่จุดสูงสุดของการเกิดเจลาทีนซ์ ของสตาร์ชดัดแปรนาน 7 ชม ไม่แตกต่างกับสตาร์ชปกติ
รวมถึงค่าอุณหภูมิสิ้นสุด และพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลาทีนซ์ ของสตาร์ชมันสำปะหลังดัด
แปรนาน 7-15 ชม ไม่แตกต่างจากสตาร์ชปกติเช่นกัน แต่สตาร์ชดัดแปรนาน 15 ชม มีอุณหภูมิ
เริ่มต้น และอุณหภูมิที่จุดสูงสุดของการเกิดเจลาทีนซ์ สูงกว่าสตาร์ชปกติประมาณ 1°C

จากผลการทดลองแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีมีอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิที่
จุดสูงสุด และอุณหภูมิสิ้นสุดของการเกิดเจลาทีนซ์ไม่แตกต่างกับแป้งปกติ สอดคล้องกับงานวิจัย
ที่ทดลองกับสตาร์ชข้าวโพด (Fiedorowicz *et al.*, 1999) ปรับความชื้น 70% ฉายรังสียูวีความยาว
คลื่นมากกว่า 250 นาโนเมตร ในสภาวะที่มีออกซิเจน 5 และ 15 ชม ซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลง
อุณหภูมิเจลาทีนซ์ของสตาร์ชข้าวโพดดัดแปรเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ค่าเอนทัลปีของการ
ดัดแปรสตาร์ชในแป้งข้าวนี้ (ตารางที่ 13) ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จึงไม่สอดคล้องกับผลการ
ทดลองในสตาร์ชข้าวโพดที่มีเอนทัลปีของการเกิดเจลาทีนซ์ ของสตาร์ชดัดแปร 5 ชม มีค่าน้อยลง
และเมื่อดัดแปรนาน 15 ชม มีค่าเอนทัลปีเพิ่มขึ้นจนเท่ากับเอนทัลปีของสตาร์ชข้าวโพดปกติ
(Fiedorowicz *et al.*, 1999)

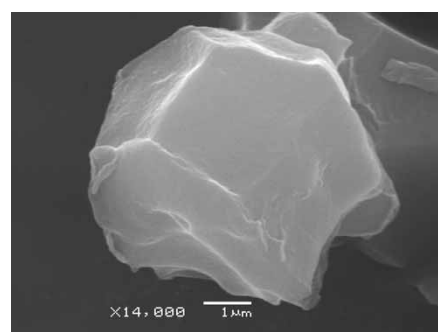
2.2 ผลของการดัดแปรสสารในแป้งข้าวเจ้าด้วยรังสียูวีต่อสมบัติทางฟิสิกส์

2.2.1 ขนาด และรูปร่างของเม็ดสสาร

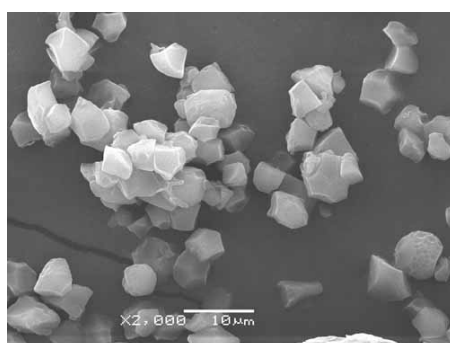
จากภาพที่ 22 แสดงการเปรียบเทียบขนาด รูปร่าง และลักษณะของเม็ดสสารจากแป้งปกติ และแป้งดัดแปรสสารด้วยรังสียูวี จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 2,000 และ 14,000 เท่า สังเกตเห็นว่า เม็ดสสารจากแป้งดัดแปรสสารด้วยรังสียูวีที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 9 ชม มีขนาด 3.3-7.8 ไมโครเมตร ใกล้เคียงกับขนาดเม็ดสสารแป้งปกติ (3.6-7.1 ไมโครเมตร) และมีลักษณะรูปร่างเป็นเม็ดหลายเหลี่ยมเหมือนกัน เมื่อใช้กำลังขยายกล้องสูง 14000 เท่า เพื่อดูพื้นผิว และลักษณะรูปร่างของเม็ดสสารอย่างละเอียด พบว่า เม็ดสสารจากแป้งดัดแปรสสารด้วยรังสียูวี มีลักษณะหลายเหลี่ยม และมีพื้นผิวเรียบ ไม่พบรอยแตก ร้าว รูพรุน หรือขนาดที่ผิดปกติแต่อย่างใด จึงมีลักษณะ รูปร่าง และขนาดเหมือนสสารจากแป้งปกติที่ไม่ผ่านการดัดแปร ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะการดัดแปรสสารในแป้งด้วยรังสียูวีในการทดลองนี้ ใช้รังสียูวีในช่วงคลื่น 310 ถึง 330 นาโนเมตร ไม่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นในระหว่างกระบวนการดัดแปร จึงไม่เกิดการเจลาไทไนซ์ และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเกิดภายในโมเลกุลของสสารเท่านั้น โดยไม่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะของเม็ดสสาร



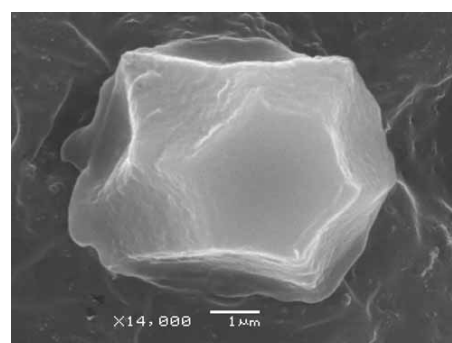
ก



ข



ค



ง

ภาพที่ 22 เม็ดสตาร์ชแป้งข้าวชัณนาท 1 (ก และ ข) และแป้งดัดแปรสตาร์ช UV45-7 (ค และ ง) ที่กำลังขยาย 2,000 และ 14,000 เท่า จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.2.2 สี

จากผลการวัดสีของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่ระดับความชื้น 25 และ 45% ระยะเวลาดัดแปร 3 ถึง 9 ชม โดยวิเคราะห์ผลออกมาเป็นค่า L^* (ความสว่าง) a^* (ความเป็นสีแดง (+) หรือสีเขียว (-)) และค่า b^* (สีเหลือง (+) หรือสีน้ำเงิน (-)) ผลปรากฏว่า แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีมีค่า L^* และค่า b^* มากกว่าแป้งปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่า a^* ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 ค่าสี L* a* b* ของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี

ตัวอย่าง ¹	L* ²	a* ^{2 ns}	b* ²
CN1	96.4 ± 0.0 c	0.0 ± 0.0	2.8 ± 0.0 c
UV25-3	97.7 ± 0.0 ab	-0.1 ± 0.0	3.4 ± 0.0 b
UV25-5	97.6 ± 0.2 ab	-0.1 ± 0.0	3.4 ± 0.1 b
UV25-7	97.6 ± 0.0 ab	-0.1 ± 0.0	3.5 ± 0.1 b
UV25-9	97.7 ± 0.0 a	-0.1 ± 0.0	3.5 ± 0.0 b
UV45-3	97.5 ± 0.1 b	0.0 ± 0.0	3.7 ± 0.1 a
UV45-5	97.5 ± 0.1 b	0.0 ± 0.0	3.6 ± 0.0 a
UV45-7	97.6 ± 0.0 ab	0.0 ± 0.0	3.7 ± 0.0 a
UV45-9	97.7 ± 0.0 ab	0.0 ± 0.0	3.6 ± 0.0 a

หมายเหตุ ¹ CN1 = แป้งข้าวชัยนาท 1, UV = การดัดแปรด้วยรังสียูวี

25 และ 45 = ความชื้นแป้ง (%) ก่อนการดัดแปร 3, 5, 7 และ 9 = เวลา (ชม) ดัดแปร

² ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

L* แสดงถึงความสว่างของแป้งตัวอย่าง ค่า L* ของแป้งปกติมีค่า 96.4 น้อยกว่าแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม ซึ่งมีค่า L* เท่ากับ 97.7, 97.6, 97.6 และ 97.7 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเฉพาะแป้งดัดแปรสตาร์ชที่ระดับความชื้น 25% ปรากฏว่า แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 3-9 ชม มีค่า L* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ค่า L* ของแป้งปกติ มีค่าน้อยกว่าแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม ซึ่งมีค่า L* เท่ากับ 97.5, 97.5, 97.6 และ 97.7 ตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณาเฉพาะแป้งดัดแปรสตาร์ชที่ระดับความชื้น 45% ปรากฏว่า แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3-9 ชม มีค่า L* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

a* บอกรความเป็นสีแดง (+) หรือสีเขียว (-) ค่า a* ของแป้งปกติ เท่ากับ 0.0 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีในทุกสภาวะการทดลอง โดยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 3-9 ชม มีค่า a* เท่ากันหมด เท่ากับ -0.1

และแปรงคัดแปรงสตาวิชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3-9 ชม มีค่า a^* เท่ากันหมดเช่นกัน เท่ากับ 0.0

b^* บอกความเป็น สีเหลือง (+) หรือสีน้ำเงิน (-) ค่า b^* ของแปรงปกติเท่ากับ 2.8 น้อยกว่าค่า b^* ของแปรงคัดแปรงสตาวิชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% ระยะเวลา 3-9 ชม ที่มีค่าระหว่าง 3.4-3.5 และต่ำกว่าค่า b^* ของแปรงคัดแปรงสตาวิชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 3-9 ชม ที่มีค่าระหว่าง 3.6-3.7 โดยแปรงคัดแปรงสตาวิชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% มี b^* สูงกว่าแปรงคัดแปรงสตาวิชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 25% และสูงกว่า b^* ของแปรงปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองวิเคราะห์ค่าสีข้างต้น ทำให้ทราบว่า แปรงคัดแปรงสตาวิชด้วยรังสียูวีที่ระดับความชื้น 25 และ 45% ระยะเวลา 3-9 ชม มีค่า L^* มากกว่าแปรงปกติ มีค่า a^* ไม่แตกต่างกับแปรงปกติ และมีค่า b^* มากกว่าแปรงปกติ หมายความว่า แปรงคัดแปรงสตาวิชด้วยรังสียูวี มีค่าความสว่าง และความเป็นสีเหลืองมากกว่าแปรงปกตินั่นเอง

เมื่อสรุปผลการวิเคราะห์ทางเคมีฟิสิกส์ และฟิสิกส์ของแปรงคัดแปรงสตาวิชด้วยรังสียูวีเพื่อคัดเลือกสภาวะการคัดแปรงที่เหมาะสมในการทดแทนแปรงข้าวปกติบางส่วนเพื่อผลิตถ้วยเตี้ยวด และถ้วยเตี้ยวพาสเจอร์ไรซ์ ผลปรากฏว่า ควรเลือกแปรงคัดแปรงสตาวิชที่ปรับความชื้นเป็น 45% ฉายรังสียูวีนาน 7 ชม (UV45-7) เนื่องจากมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนสูงกว่าแปรงปกติ และแปรงคัดแปรงที่ปรับความชื้นเป็น 25% นอกจากนี้ ยังมีกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 80-90⁰ซ น้อยกว่าการคัดแปรงที่สภาวะอื่น และน้อยกว่าแปรงปกติ แต่ไม่แตกต่างกับแปรงคัดแปรงสตาวิชที่ปรับความชื้นเป็น 45% ฉายรังสียูวีนาน 9 ชม (UV45-9) อย่างไรก็ตาม แปรงคัดแปรงสตาวิชที่ปรับความชื้นเป็น 45% ฉายรังสียูวีนาน 7 ชม มีค่าการละลายน้อยกว่าแปรงคัดแปรงสตาวิชที่ปรับความชื้นเป็น 45% ฉายรังสียูวีนาน 9 ชม แสดงว่าองค์ประกอบในแปรงคัดแปรงสตาวิชมีการเกาะเกี่ยวกันมากกว่า ส่วนความเป็นผลึกสัมพัทธ์ และอุณหภูมิและเอนทัลปีของการเกิดเจลลาทีไนซ์ ไม่แตกต่างกัน จึงไม่นำมาเป็นค่าชี้วัดในการคัดเลือกสภาวะการคัดแปรง

3. การตรวจสอบสมบัติทางเคมี

จากข้อมูลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีฟิสิกส์ และทางฟิสิกส์ของแปรงคัดแปรงสตาวิชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และด้วยรังสียูวี ที่สรุปไว้ท้ายเรื่องการคัดแปรงแต่ละวิธีในหัวข้อข้างต้น สรุป

ได้ว่า ควรคัดเลือกแป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 5 ชม และแป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 7 ชม เป็นตัวแทนของแต่ละวิธีดัดแปรมาทดสอบสมบัติทางเคมี เปรียบเทียบกับแป้งข้าวชัชนาท 1 ปกติ ก่อนนำไปแทนที่แป้งข้าวปกติบางส่วน เพื่อผลิตก๋วยเตี๋ยวในการทดลองถัดไป

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และแอมิโลสของแป้งปกติ เปรียบเทียบกับแป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และด้วยรังสียูวี แสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวชัชนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 5 ชม และแป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 7 ชม

ตัวอย่าง	ความชื้น (%) ¹	โปรตีน (%) ^{1, ns}	ไขมัน (%) ¹	เถ้า (%) ^{1, ns}	แอมิโลส (%) ^{1, ns}
CNT	8.32 ± 0.02 b	7.29 ± 0.06	0.20 ± 0.00 b	0.23 ± 0.00	39.00 ± 1.15
HMT120-5	11.14 ± 0.75 a	7.31 ± 0.08	0.21 ± 0.00 b	0.23 ± 0.00	36.79 ± 0.82
UV45-7	9.81 ± 0.30 a	7.44 ± 0.03	0.48 ± 0.01 a	0.23 ± 0.00	37.60 ± 2.47

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

วิเคราะห์ที่ %น้ำหนักแห้ง ของโปรตีน ไขมัน เถ้า และแอมิโลส

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

3.1 ความชื้น

แป้งปกติ มีความชื้น 8.34% ต่ำกว่าความชื้นของแป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 5 ชม และแป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 7 ชม ที่มีค่าความชื้น 11.14% และ 9.81% ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ความชื้นยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดว่าแป้งข้าวเจ้าต้องมีความชื้นไม่เกิน 13.0% (มอก. 638-2529) ปริมาณความชื้นของแป้งปกติ ที่วิเคราะห์ได้นี้ ใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นของแป้งข้าวจากการทดลองของนันทญา (2530) (10.66-11.57%) พิณทิพย์ (2547) (10.15-

11.81%) เสนอ (2522) (11.26-12.66%) สมฤดี (2540) (12.8-13.0%) และอรพรรณ (2547) (11.26-12.66%) ปริมาณความชื้นของแป้งที่แตกต่างกันนี้ เกิดจากขั้นตอนการอบแห้งแป้ง และกระบวนการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

ความชื้น บ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษา หรือความปลอดภัยในการเก็บรักษาข้าว หรือแป้ง ข้าวให้มีคุณภาพดี (อรอนงค์, 2547) ถ้าแป้งมีความชื้นสูง อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ (Glass transition temperature, T_g) จะลดต่ำลง คุณภาพของแป้งมีโอกาสเปลี่ยนแปลงได้ง่ายขึ้น (Kaletunc, 2003) ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

3.2 โปรตีน

ปริมาณโปรตีนในแป้งปกติมีค่า 7.29 % ไม่แตกต่างกับปริมาณโปรตีนของแป้งดัดแปรสูตรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 5 ชม และแป้งดัดแปรสูตรด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 7 ชม ซึ่งมีปริมาณโปรตีน 7.31% และ 7.44% ตามลำดับ โปรตีนในแป้งปกติ และแป้งดัดแปรสูตรมีปริมาณใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Surojanametakul *et al.* (2002) วิจัยแป้งข้าวแอมิโลสสูง (30.96%) สำหรับผลิตก๊วยเตี๋ยเส้นเล็ก มีปริมาณโปรตีน 7.41% แต่มีปริมาณมากกว่าปริมาณโปรตีนในข้าวสารที่รายงานในหนังสือของ Juliano (1993) ว่าข้าวสารมีปริมาณโปรตีนโดย ประมาณ 6.3-7.1 % อย่างไรก็ตาม ปริมาณโปรตีนในข้าวสารจะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการขัดขาวด้วย เพราะการขัดขาวจะขัดส่วนของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด นิวเคลียส ชั้นเอนโดโซน รวมทั้งคัพภะหลุดออกไป เพื่อให้เมล็ดข้าวสารมีสีขาวขึ้น โดยส่วนประกอบเหล่านี้ มีปริมาณสารอาหาร รวมถึงโปรตีนมากกว่าส่วนเนื้อในเมล็ด (อรอนงค์, 2547) ดังที่พบในงานวิจัยของ Reungmaneeapaitoon (2006) ที่วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในแป้งข้าวกล้องแอมิโลสปานกลางพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 90 และพิษณุโลก 2 มีปริมาณโปรตีนในช่วง 8.08-8.88%

โปรตีนมีผลต่อการเกิดเจลลิตีในซอสของเม็ดสตาร์ช โดยยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ทำให้โมเลกุลของแอมิโลสไม่ซึมผ่านออกไป มีผลต่อความอ่อน หรือแข็งของเจลเมื่อเย็นลง ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก (อรอนงค์, 2547; Hamaker, 1994; Shih, 2004) นอกจากนี้ โปรตีนจะทำให้สีของเส้นก๊วยเตี๋ยคล้ำลง และขัดขวางการเชื่อมต่อโครงสร้างร่างแหของโมเลกุลของสตาร์ช ส่งผลให้ความเหนียวของเส้นก๊วยเตี๋ยลดลง (งามชื่น, 2541)

3.3 ไขมัน

ปริมาณไขมันในแป้งปกติมี 0.20 % ไม่แตกต่างกับแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อน ร่วมกับความร้อนที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 5 ชม ที่มีไขมัน 0.21% แต่มีปริมาณไขมันต่ำกว่าแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความร้อน 45% ระยะเวลา 7 ชม ซึ่งมีปริมาณไขมัน 0.48% อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณไขมันในแป้งปกติ ต่ำกว่าปริมาณไขมันในข้าวสารที่ Juliano (1993) รายงานไว้ คือ ข้าวสารมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 0.3-0.5% อาจเป็นเพราะการไถ่น้ำ ทำให้ไขมันบางส่วนจะถูกน้ำชะล้างระหว่างการไถ สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ของอรพรรณ (2547) ที่วิเคราะห์ปริมาณไขมันในแป้งข้าวทางการค้า ข้าวเหลือง 11 และ กข 7 ไถ่น้ำ มีปริมาณ 0.10-0.19% น้อยกว่าแป้งไม่แห้ง ที่มีปริมาณไขมัน 0.14-0.31% นอกจากนี้ไขมันสามารถเกิดปฏิกิริยาเติมออกซิเจน เกิดกรดไขมันอิสระ และสารกลุ่มคาร์บอนิลที่ทำให้เกิดกลิ่นสาบ กรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับแอมิโนส กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของกรดไขมันกับแอมิโนส ซึ่งส่งผลต่อการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกแข็งมากขึ้น และความเหนียวลดลง (งามชื่น, 2541) อย่างไรก็ตาม สารประกอบเชิงซ้อนของกรดไขมันกับแอมิโนส สามารถทำให้ค่าจากการวิเคราะห์หาปริมาณแอมิโนสโดยวิธีการเกิดสีกับไอโอไดนลดไปจากค่าที่ควรจะเป็น (Eliasson and Gudmundsson, 1996)

3.4 เถ้า

ปริมาณเถ้า แสดงถึง ปริมาณของสารอนินทรีย์ต่างๆ ในแป้ง ปริมาณเถ้าในแป้งข้าวชัยนาท 1 ไม่แตกต่างกับปริมาณเถ้าของแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความร้อนที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 5 ชม และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความร้อน 45% ระยะเวลา 7 ชม ซึ่งมีปริมาณเถ้าเท่ากัน คือ 0.23% ปริมาณเถ้าที่วิเคราะห์ได้ มีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณเถ้าในแป้งข้าวแอมิโนสสูงพันธุ์ปทุมธานี 60 (0.18%) (พิณทิพย์, 2547) เหลือง 11 (0.25%) และ กข 7 (0.25%) (อรพรรณ, 2547) และอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด (มอก. 638-2529) คือ มีปริมาณเถ้าในแป้งข้าวเจ้าไม่เกิน 0.50% แต่ปริมาณเถ้าของแป้งปกติ และแป้งดัดแปรสตาร์ชดังกล่าวมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณเถ้าในข้าวสาร ที่ Juliano (1993) รายงานไว้ว่าอยู่ในช่วง 0.3-0.8%

3.5 แอมิโลส

แป้งข้าวปกติ แป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 5 ชม และแป้งดัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 7 ชม มีปริมาณแอมิโลสไม่แตกต่างกัน คือ 39.00, 36.79 และ 37.60% ตามลำดับ จัดอยู่ในกลุ่มข้าวเจ้าที่มีปริมาณแอมิโลสสูงตามการจัดกลุ่มของ Juliano คือ มีปริมาณแอมิโลสมากกว่า 25% (อรอนงค์, 2547) การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสนั้น สามารถวิเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น วิธีของ Juliano โดยการเกิดสีกับไอโอดีน ซึ่งเป็นวิธีดั้งเดิม ง่าย แต่ค่าที่วิเคราะห์ได้มากกว่าปริมาณแอมิโลสที่แท้จริง เพราะแอมิโลเพกทินบางส่วนสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนได้เช่นเดียวกับแอมิโลส หรือวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น เช่น การใช้คอนคานาวัลินเอ หรือคอนเอ (Concanavalin A หรือ Con A) มีหลักการคือ กระจายสตาซ์ในดีเอ็มเอสโอ (DMSO) แล้วใช้อทานอลละลายไขมันออก เดิมคอนเอให้ไปจับกับปลายนอนรีดิซิงของแอมิโลเพกทินตกตะกอนแยกออกไป แล้วจึงวิเคราะห์เฉพาะแอมิโลสที่เหลืออยู่ (Megazyme, 2549) แต่วิธีนี้อาจทำให้ค่าการวิเคราะห์แตกต่างจากความเป็นจริงได้ หากมีสารประกอบขนาดกลาง (intermediate materials) เป็นองค์ประกอบของสตาซ์ (Hizukuri, 1996) รุ่งทิวา และคณะ (2548) วิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสของข้าวหลายสายพันธุ์ที่มีปริมาณแอมิโลสดำจนถึงแอมิโลสสูง โดยใช้วิธีวิเคราะห์ 3 วิธี คือ การเกิดสีกับไอโอดีน การตกตะกอนแอมิโลเพกทินด้วยคอนเอ และโครมาโทกราฟี ปริมาณแอมิโลสของข้าวชัยนาท 1 ที่วิเคราะห์ด้วย 3 วิธีดังกล่าวมีค่าที่แตกต่างกัน คือ 30.50, 20.49 และ 25.59% ตามลำดับ โดยสรุปว่าโครงสร้างของแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน มีผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสที่แท้จริงในสตาซ์ข้าว อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ด้วย

ปริมาณแอมิโลสบ่งชี้ถึงคุณภาพข้าว ความนุ่ม ร่วน และการพองตัวของเมล็ดข้าว นอกจากนี้ ยังมีความสัมพันธ์กับลักษณะการเกิดเจล และคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยว (Fitzgerald, 2004; Yeh, 2004) โดยแอมิโลสทำให้เกิดการสานต่อกันเป็นร่างแห (fibrillar structure) จึงเกิดลักษณะของเจล การผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าว สามารถผลิตจากข้าวแอมิโลสปานกลาง จนถึงแอมิโลสสูง (Yeh, 2004) แต่หากผลิตจากแป้งข้าวแอมิโลสสูงกว่า 20% ผู้ทดสอบชิมจะให้การยอมรับมากกว่าก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวแอมิโลสดำกว่า 20% (Tatsumi *et al.*, 2001) ในประเทศไทยนิยมรับประทานก๋วยเตี๋ยวที่มีลักษณะเป็นเจลแน่นแข็ง จึงผลิตจากข้าวแอมิโลสสูง (30%) หากใช้ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลางค่อนข้างต่ำ จะไม่เหมาะสมต่อการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว เพราะเกิดเจลาเยก และเส้นเหนียวเกาะติดกัน (Yeh, 2004)

4. การตรวจสอบน้ำแข็ง และเส้นก๊วยเตี๋ยเพื่อคัดเลือกสูตรสำหรับการพาสเจอไรซ์

4.1 วัดความหนืดของน้ำแข็งที่ใช้ผลิตเส้นก๊วยเตี๋ย

ในการผลิตก๊วยเตี๋ย ต้องแช่น้ำแข็งก่อนเพื่อช่วยให้เม็ดสตาร์ชดูดซึมน้ำได้ระดับหนึ่ง ก่อนนำไปนึ่ง หากน้ำแข็งมีความหนืดสูงเกินไปจะมีลักษณะเป็นก้อน ไม่สามารถเกลี่ยให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอได้ อาจส่งผลกระทบต่อความหนาของแผ่นก๊วยเตี๋ย ในการทดลองนี้ใช้เวลาในการแช่น้ำแข็งนาน 3 ชม และใช้น้ำหนักน้ำแข็ง 55 ก ต่อถาดเพื่อนึ่งเป็นแผ่นก๊วยเตี๋ย

4.1.1 ความหนืดของน้ำแข็งที่ถูกทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

ความหนืด และลักษณะการกระจายตัวของน้ำแข็งปกติ และน้ำแข็งที่ถูกทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่แช่ไว้ 3 ชม ก่อนนึ่งเป็นแผ่นก๊วยเตี๋ย และวัดความสม่ำเสมอของความหนาเส้นก๊วยเตี๋ยอบแห้ง แสดงผลในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ความหนืด และลักษณะน้ำแป้ง และความหนาของเส้นก๋วยเตี๋ยว ของแป้งข้าวชัณนาท 1 และการทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5, 10 และ 20%

ตัวอย่าง	ความหนืด (เซนติปัวร์) ¹	ลักษณะน้ำแป้ง การกระจายตัว ของน้ำแป้ง	ความหนาของเส้น ก๋วยเตี๋ยว (ชม) ^{ns}
CNT	94.8 ± 5.9 d	หนืดเล็กน้อย น้ำแป้งกระจายตัวได้ง่าย	0.075 ± 0.012
5% HMT120-5	275.0 ± 1.4 c	หนืดปานกลาง น้ำแป้งกระจายตัวได้ง่าย	0.085 ± 0.116
10% HMT120-5	347.5 ± 9.2 b	หนืดค่อนข้างมาก น้ำแป้งกระจายตัวได้ยากเล็กน้อย	0.087 ± 0.013
20% HMT120-5	438.5 ± 10.6 a	หนืดมาก น้ำแป้งกระจายตัวได้ยาก	0.085 ± 0.008

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 16 น้ำแป้งปกติมีความหนืด 94.8 เซนติปัวร์ การผสมแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น (HMT120-5) ทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วนในปริมาณ 5-20% ทำให้น้ำแป้งมีความหนืดสูงกว่าน้ำแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชในปริมาณสูงขึ้นคือ 5, 10 และ 20% ทำให้น้ำแป้งมีความหนืดเพิ่มมากขึ้นด้วยเป็น 275.0, 347.5 และ 438.5 เซนติปัวร์ ตามลำดับ โดยน้ำแป้งที่ทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีความหนืดเรียงตามลำดับคือ $5\% < 10\% < 20\%$ การทดแทนแป้งปกติด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชปริมาณ 20% ทำให้น้ำแป้งมีความหนืดมากกว่าความหนืดของน้ำแป้งปกติถึง 4.6 เท่า หากต่อการเปลี่ยนน้ำแป้งให้สม่ำเสมอ ส่วนการทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชในปริมาณ 5 และ 10% สามารถเปลี่ยนน้ำแป้งให้สม่ำเสมอได้ง่ายกว่า อย่างไรก็ตาม ก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งปกติและแป้งที่ทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5, 10 และ 20% มีความหนาของเส้นก๋วยเตี๋ยวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เท่ากับ 0.075, 0.085, 0.087 และ 0.085 ชม ตามลำดับ

4.1.2 ความหนืดของน้ำแป้งที่ถูกทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี

ความหนืด และลักษณะการกระจายตัวของน้ำแป้งปกติ และน้ำแป้งที่ถูกทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่แช่ไว้ 3 ชม ก่อนนำมาใช้เป็นแผ่นก้วยเดียว และความสม่ำเสมอของความหนาเส้นก้วยเดียวแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ความหนืด และลักษณะน้ำแป้ง และความหนาของเส้นก้วยเดียว จากแป้งข้าวชัณนาท 1 และการทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5, 10 และ 20%

ตัวอย่าง	ความหนืด (เซนติปัวร์)	ลักษณะน้ำแป้ง การกระจายตัวของน้ำแป้ง	ความหนาของเส้น ก้วยเดียว (ชม) ^{ns}
CN1	94.8 ± 5.9 b	หนืดเล็กน้อย น้ำแป้งกระจายตัวได้ง่าย	0.075 ± 0.012
5% UV45-7	223.0 ± 22.6 a	หนืดปานกลาง น้ำแป้งกระจายตัวได้ง่าย	0.084 ± 0.010
10% UV45-7	223.0 ± 17.0 a	หนืดปานกลาง น้ำแป้งกระจายตัวได้ง่าย	0.078 ± 0.008
20% UV45-7	256.5 ± 19.1 a	หนืดปานกลาง น้ำแป้งกระจายตัวได้ง่าย	0.084 ± 0.015

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 17 ความหนืดของน้ำแป้งปกติมีค่า 94.8 เซนติปัวร์ ต่ำกว่าน้ำแป้งที่มีการแทนที่แป้งปกติด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี (UV45-7) ปริมาณ 5, 10 และ 20 % อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณการแทนที่แป้งปกติด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี จาก 5% เป็น 10 และ 20% ทำให้น้ำแป้งมีความหนืด 223.0, 223.0 และ 256.5 เซนติปัวร์ ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) การทดแทนแป้งปกติด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีปริมาณ 5, 10 และ 20% ทำให้น้ำแป้งหนืดขึ้นจากเดิมเล็กน้อย แต่ยังคงเหนียวแป้ง และเกลี่ยน้ำแป้งให้สม่ำเสมอได้ง่าย เส้นก้วยเดียวยังคงมีความหนาไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับ

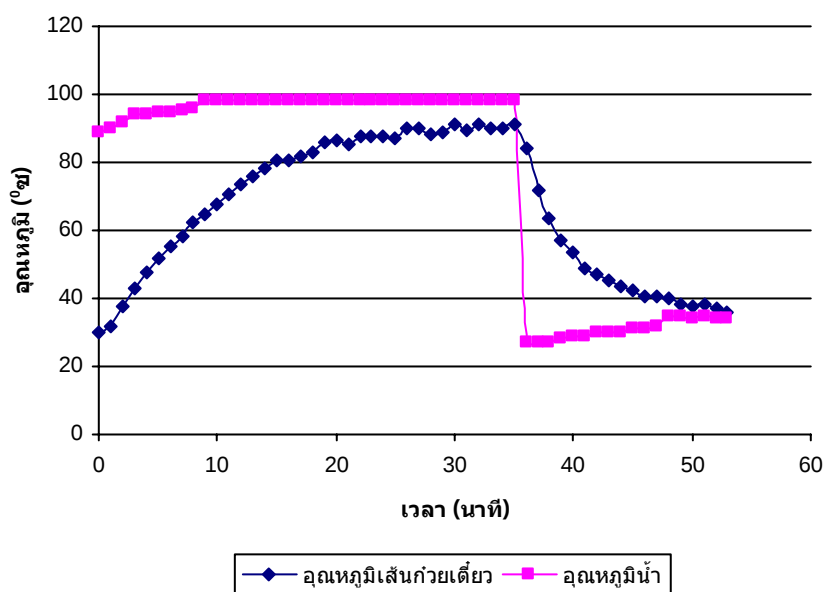
ถ้วยเดียวจากแป้งปกติ (เส้นถ้วยเดียวหนา 0.075 ซม) โดยมีความหนา 0.084, 0.078 และ 0.084 ซม ตามลำดับ

5. การผลิตถ้วยเดียวเส้นเล็กพร้อมบริโกลในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวปิดสนิท

ลวกถ้วยเดียวเส้นเล็กอบแห้งตามวิธีการทดลองในข้อ 5.1 ซึ่งมีความเป็นกรดเบสเท่ากับเดิมเครื่องอื่นๆ ได้แก่ ข้าวโพดอ่อน แครอต หมูสับหมัก ลูกชิ้นหมูที่ลวกแล้ว จากนั้นคลุกส่วนผสมทั้งหมดกับน้ำปรุงรสซึ่งมีความเป็นกรดเบสเท่ากับ แล้วบรรจุลงบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวปิดสนิทเพื่อนำไปพาสเจอไรซ์

5.1 การหาเวลารวมทั้งหมดในการพาสเจอไรซ์เส้นถ้วยเดียว

Bacillus cereus เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่พบได้ทั่วไป สามารถสร้างสปอร์ที่ผลิตสารพิษทำให้เกิดอาการท้องร่วงในอาหารประเภทข้าวผัด อาหารจากธรรมชาติ และเนื้อสัตว์ ที่สำคัญคือ สปอร์สามารถทนต่อความร้อนที่ใช้ในการพาสเจอไรซ์ได้สูง และมีช่วงของการทนความร้อนที่กว้างมาก (USFDA, 2000) ค่า D value ของสปอร์สายพันธุ์ที่ทนร้อนได้ต่ำ (psychrotrophic strains) ณ อุณหภูมิ 90⁰ซ อยู่ในช่วง 4.6-14 นาที ส่วนสปอร์จากสายพันธุ์ที่ทนร้อนปานกลาง (mesophilic strains) มีค่า D value ณ อุณหภูมิ 90⁰ซ ในช่วง 4.8-200 นาที (Christiansson, 2006) การทดลองนี้จึงเลือกค่า D value ต่ำที่สุด เท่ากับ 4.6 มาเป็นมาตรฐานสำหรับการพาสเจอไรซ์เส้นถ้วยเดียวปรุงรสเพื่อรักษาเนื้อสัมผัสของเส้นถ้วยเดียวให้คล้ายเส้นสดมากที่สุด โดยพาสเจอไรซ์ถ้วยเดียวปรุงรสที่อุณหภูมิ 90⁰ซ เป็นระยะเวลา 1D value หรือประมาณ 5 นาที แสดงอุณหภูมิของถ้วยเดียวปรุงรสในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทชนิดอ่อนตัว และอุณหภูมิของน้ำในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ใช้พาสเจอไรซ์ถ้วยเดียวดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 อุณหภูมิของก๋วยเตี๋ยวปรุงรสในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทชนิดอ่อนตัว และอุณหภูมิของน้ำภายนอกที่ใช้พาสเจอร์ไรส์ก๋วยเตี๋ยว

จากภาพที่ 23 แสดงอุณหภูมิของก๋วยเตี๋ยวปรุงรสในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทชนิดอ่อนตัวระหว่างพาสเจอร์ไรส์ สามารถนำมาคำนวณหาค่า F value ซึ่งใช้วัดประสิทธิภาพในการให้ความร้อนเพื่อการทำให้ปราศจากเชื้อดังสมการด้านล่าง

$$F = 10^{\{(T-T_{ref})/Z\}} \times \text{time interval}$$

โดย T หมายถึง อุณหภูมิที่กลางระหว่างช่วงอุณหภูมิหนึ่ง

T_{ref} หมายถึง อุณหภูมิอ้างอิง

Z หมายถึง อุณหภูมิที่ทำให้ thermal death time ลดลง 1 log cycle หรือ 10 เท่า ซึ่งในที่นี้ค่า Z ของสปอร์ *Bacillus cereus* เท่ากับ 10

Time interval หมายถึง ช่วงห่างของระยะเวลา

ค่า F (F-value) เป็นผลรวมของค่า F ที่คำนวณได้ในช่วงเวลากการพาสเจอร์ไรส์ทั้งหมดจากการคำนวณด้วยสมการด้านบน ได้ค่า F ในการพาสเจอร์ไรส์ก๋วยเตี๋ยวปรุงรสในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทชนิดอ่อนตัว เท่ากับ 13.94 ซึ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการให้ความร้อนเพื่อการทำให้ปราศจากเชื้อ

5.2 การตรวจสอบสมบัติของเส้นก๊วยเตี๋ยสด และพาสเจอไรซ์

นำเส้นก๊วยเตี๋ยสด และก๊วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์มาวิเคราะห์เนื้อสัมผัส 2 แบบ คือ แรงตัด ให้ผลการวิเคราะห์เป็นค่าแรงตัดสูงสุด (ก) และพื้นที่ใต้กราฟที่ใช้ในการตัด (ก.วินาที) ซึ่งบ่งบอกถึงงานที่ใช้ในการเคี้ยว แบบที่สองคือ การวัดความยืดหยุ่น (elasticity หรือ tensile strength) ให้ผลการวิเคราะห์เป็นแรงดึงสูงสุดที่ทำให้เส้นก๊วยเตี๋ย 1 เส้นขาดออกจากกัน หรือแรงด้านการดึง (ก)

5.2.1 เนื้อสัมผัสของก๊วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

เนื้อสัมผัสของก๊วยเตี๋ยสด และก๊วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์ ที่ผลิตจากแป้งปกติและการทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น แสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 เนื้อสัมผัสของก๊วยเตี๋ยเส้นเล็กผลิตจากแป้งข้าวชั๊ยนาท 1 และแป้งข้าวชั๊ยนาท 1 ผสมแป้งคั๊ดแปรสตา์รซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5, 10 และ 20%

ตัวอย่าง	ก๊วยเตี๋ยสด ¹			ก๊วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์ที่ 90 ⁰ ซ 5 นาที ¹		
	แรงสูงสุด (ก)	พื้นที่ใต้กราฟ (ก .วินาที) ^{ns}	แรงด้านการดึง (ก)	แรงสูงสุด (ก)	พื้นที่ใต้กราฟ (ก .วินาที)	แรงด้านการดึง (ก)
CN1	111.7 ± 11.9b	96.4 ± 24.9	29.6 ± 4.6c	99.1 ± 9.1b	117.1 ± 15.8b	-
5%HMT120-5	147.6 ± 23.9a	136.8 ± 30.8	30.5 ± 6.5c	122.8 ± 9.8a	177.0 ± 54.7a	-
10%HMT120-5	120.4 ± 24.0b	127.5 ± 44.4	74.9 ± 5.8a	120.8 ± 7.5a	165.7 ± 14.6a	-
20%HMT120-5	101.8 ± 4.0b	95.7 ± 8.4	56.5 ± 12.8b	102.9 ± 6.7b	143.3 ± 26.3ab	-

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

- ไม่สามารถวัดได้

กัวเตียวสดจากแป้งปกติ (กัวเตียวปกติ) มีแรงสูงสุดที่ใช้ตัดเส้น 111.7 ก เมื่อทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 5 ชม ปริมาณ 5% มีแรงสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 147.6 ก มากกว่ากัวเตียวปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนเมื่อเติมแป้งคัดแปรสตาซ์ในปริมาณ 10% และ 20% มีค่าแรงสูงสุด 120.4 และ 101.8 ก ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกัวเตียวปกติ ส่วนค่าพื้นที่ใต้กราฟของกัวเตียวปกติมีค่า 96.4 ก .วินาที ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกัวเตียวที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 5-20% ที่มีค่าพื้นที่ใต้กราฟระหว่าง 95.7-136.8 ก .วินาที นอกจากนี้ เมื่อวัดค่าแรงด้านการดึงที่แสดงถึงความยืดหยุ่นของเส้นกัวเตียว ปรากฏว่ากัวเตียวปกติ ซึ่งมีแรงด้านการดึง 29.6 ก ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกัวเตียวที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ปริมาณ 5% ซึ่งมีแรงด้านการดึง 30.5 ก แต่เมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ 10% กัวเตียวมีแรงด้านการดึงมากที่สุด (74.9 ก) รองลงมาคือระดับการแทนที่ 20% ที่มีแรงด้านการดึง 56.5 ก จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเส้นกัวเตียวดังกล่าวกล่าวได้ว่า กัวเตียวสดที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 5 ชม ปริมาณ 10% มีความยืดหยุ่นมากที่สุด แต่มีแรงตัดไม่แตกต่างจากกัวเตียวปกติ ส่วนกัวเตียวที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์วิธีเดียวกัน ปริมาณ 5% มีแรงตัดมากที่สุด แต่มีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างจากกัวเตียวปกติ

หลังจากพาสเจอไรซ์กัวเตียว ที่อุณหภูมิ 90⁰ซ นาน 5 นาที กัวเตียวปกติมีแรงสูงสุดในการตัด 99.1 ก ต่ำกว่ากัวเตียวที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5% และ 10% ซึ่งมีแรงสูงสุด 122.8 และ 120.8 ก ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์เป็น 20% ทำให้เส้นกัวเตียวพาสเจอไรซ์มีแรงสูงสุดลดลงเป็น 102.9 ก ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกัวเตียวปกติ ส่วนพื้นที่ใต้กราฟของกัวเตียวปกติมีค่า 117.1 ก .วินาที น้อยกว่ากัวเตียวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ ปริมาณ 5 และ 10% ซึ่งมีพื้นที่ใต้กราฟ 177.0 และ 165.7 ก .วินาที ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มระดับการแทนที่ด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์เป็น 20% ทำให้เส้นกัวเตียวพาสเจอไรซ์มีพื้นที่ใต้กราฟ 143.3 ก .วินาที ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับกัวเตียวปกติ การวัดค่าแรงด้านการดึงของกัวเตียวพาสเจอไรซ์ไม่สามารถวัดได้ เนื่องจากเส้นกัวเตียวบางส่วนเกาะติดกัน และขาดเมื่อพยายามแกะแยกออกจากกัน ยกแก่การวัดเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสของกัวเตียวสดทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น สามารถวิเคราะห์ได้ว่า การทดแทนปริมาณ 10% ทำให้เส้นกัวเตียวสดมีความยืดหยุ่นมากที่สุด (แรงด้านการดึงมากที่สุด) และนิ่ม (แรงตัดลดลง) หากลดปริมาณการ

ทดแทนเหลือ 5% กว้างเดี่ยวสดจะมีความยืดหยุ่นน้อย เทียบเท่ากับก้างเดี่ยวปกติ แต่มีความแน่นแข็งมากที่สุด (แรงคดมากที่สุด) หลังจากพาสเจอไรซ์ ก้างเดี่ยวที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชปริมาณ 5% และ 10% มีความแน่นแข็งไม่แตกต่างกัน และยังแน่นแข็งกว่าก้างเดี่ยวปกติ จากผลการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสของก้างเดี่ยว จึงควรเลือกระดับการทดแทนแป้งคัดแปรสตาร์ชปริมาณ 5% เป็นตัวแทนของก้างเดี่ยวที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120⁰ซ ระยะเวลา 5 ชม เพื่อใช้ในการทดลองเรื่องการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ก้างเดี่ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์

5.2.2 เนื้อสัมผัสของก้างเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี

เนื้อสัมผัสของก้างเดี่ยวสด และก้างเดี่ยวพาสเจอไรซ์ ที่ผลิตจากแป้งปกติและการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี แสดงในตารางที่ 19

ก้างเดี่ยวสดปกติมีค่าแรงสูงสุด 111.7 ก ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับก้างเดี่ยวสดที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้นแป้ง 45% ระยะเวลา 7 ชม ปริมาณ 5% และ 20% ซึ่งมีแรงสูงสุด 104.9 และ 100.7 ก ตามลำดับ ส่วนก้างเดี่ยวที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ปริมาณ 10% มีแรงสูงสุด 91.6 ก น้อยกว่าก้างเดี่ยวปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) พื้นที่ใต้กราฟของก้างเดี่ยวปกติที่มีค่า 96.4 ก .วินาที ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับก้างเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5, 10 และ 20% ซึ่งมีพื้นที่ใต้กราฟ 112.1, 105.9 และ 115.4 ก .วินาที ตามลำดับ นอกจากนี้ แรงด้านการดึงของก้างเดี่ยวสดปกติมีค่า 29.6 ก น้อยกว่าก้างเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5 และ 10% ซึ่งมีค่า 43.5 และ 58.7 ก ตามลำดับ ส่วนก้างเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ปริมาณ 20% มีแรงด้านการดึง 29.7 ก ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับก้างเดี่ยวปกติ เมื่อเปรียบเทียบระดับการทดแทนแป้งคัดแปรสตาร์ช ผลปรากฏว่า ระดับการทดแทน 10% ทำให้เส้นก้างเดี่ยวสดมีแรงด้านการดึงมากที่สุด

ตารางที่ 19 เนื้อสัมผัสของก้วยเตี่ยวเส้นเล็กผลิตจากแป้งข้าวชั๊ยนาท 1 และแป้งข้าวชั๊ยนาท 1 ผสมแป้งคั๊ดแปรสดาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ปรับความชื้นแป้งเป็น 45%
คั๊ดแปรนาน 7 ชม ปริมาณ 5, 10 และ 20%

ตัวอย่าง	ก้วยเตี่ยวสด ¹			ก้วยเตี่ยวพาสเจอไรซ์ที่ 90 ⁰ ซ 5 นาที ¹		
	แรงสูงสุด (ก)	พื้นที่ไค์กราฟ (ก .วินาที) ^{ns}	แรงต้านการคั๊ง (ก)	แรงสูงสุด (ก) ^{ns}	พื้นที่ไค์กราฟ (ก .วินาที) ^{ns}	แรงต้านการคั๊ง (ก)
CN1	111.7 ± 11.9a	96.4 ± 24.9	29.6 ± 4.6c	99.1 ± 9.1	117.1 ± 15.8	-
5%UV45-7	104.9 ± 3.9a	112.1 ± 13.0	43.5 ± 4.8b	94.9 ± 5.6	127.1 ± 20.1	-
10%UV45-7	91.6 ± 8.8b	105.9 ± 18.4	58.7 ± 10.7a	102.4 ± 6.3	146.5 ± 16.5	-
20%UV45-7	100.7 ± 10.0ab	115.4 ± 24.8	29.7 ± 2.3c	103.8 ± 9.8	132.2 ± 17.3	-

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

- ไม่สามารถวัดได้

หลังจากพาสเจอไรซ์ก๊วยเตี๋ยว ที่อุณหภูมิ 90°C นาน 5 นาที ก๊วยเตี๋ยวปกติ มีแรงสูงสุด 99.1 ก. ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับก๊วยเตี๋ยวที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5, 10 และ 20% ซึ่งมีแรงสูงสุด 94.9, 102.4 และ 103.8 ก. ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ใต้กราฟของก๊วยเตี๋ยวปกติมีค่า 117.1 ก.วินาที ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับก๊วยเตี๋ยวที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5, 10 และ 20% ซึ่งมีพื้นที่ใต้กราฟ 127.1, 146.5 และ 132.2 ก.วินาที

จากการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสของก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี สามารถวิเคราะห์ได้ว่า การทดแทนปริมาณ 10% ทำให้ก๊วยเตี๋ยวสดมีแรงด้านการดึงมากที่สุด และมีแรงตัดสูงสุดน้อย หมายถึง ก๊วยเตี๋ยวมีความยืดหยุ่นมาก และนุ่ม หลังจากพาสเจอไรซ์แล้วก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5-20% มีความนุ่ม และพื้นที่ใต้กราฟ หรืองานที่ใช้ในการตัด ไม่ต่างจากก๊วยเตี๋ยวปกติ จึงเลือกระดับการทดแทนปริมาณ 5% เป็นตัวแทนของก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีเพื่อใช้ในการทดลองเรื่องการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ก๊วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์

5.3 ทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำเส้นก๊วยเตี๋ยวปกติที่ผลิตจากแป้งข้าวชัณนาท 1 ล้วน และเส้นก๊วยเตี๋ยวที่ผลิตจากการทดแทนแป้งข้าวชัณนาท 1 ด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และคัดแปรด้วยรังสียูวีที่คัดเลือกสถานะการคัดแปรแล้ว ในปริมาณการทดแทน 5, 10 และ 20% ให้ผู้ทดสอบชิมชิมก๊วยเตี๋ยวสด และก๊วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์ ที่ปรุงรสแล้ว ได้คะแนนดังผลการทดลองดังนี้

5.3.1 ก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของก๊วยเตี๋ยวปกติ และก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ทั้งในรูปก๊วยเตี๋ยวสด และพาสเจอไรซ์ ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนด้านความเข้มข้นแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 คะแนนความเข้มจากการทดสอบชิมก้วยเตี๋ยเส้นเล็กผลิตจากแป้งข้าวชั๊นนาท 1 และแป้งข้าวชั๊นนาท 1 ทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5, 10 และ 20%

ตัวอย่าง	คะแนนความเข้ม (QDA) ¹					
	ก้วยเตี๋ยสด			ก้วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์		
	ความกระด้าง	ความยืดหยุ่น	ความแน่นเนื้อ	ความกระด้าง ^{ns}	ความยืดหยุ่น ^{ns}	ความแน่นเนื้อ
CN1	8.9 ± 0.7 c	8.1 ± 1.4 b	9.0 ± 0.4 c	3.8 ± 1.1	7.6 ± 1.0	8.3 ± 0.9 c
5%HMT120-5	9.9 ± 0.4 b	11.9 ± 1.1 a	12.3 ± 1.0 a	3.5 ± 0.9	8.3 ± 1.2	10.8 ± 1.2 a
10%HMT120-5	10.4 ± 0.7 a	11.8 ± 0.9 a	11.3 ± 1.3 b	3.6 ± 1.0	8.1 ± 1.8	9.3 ± 1.0 b
20%HMT120-5	10.3 ± 0.6 a	11.1 ± 0.9 a	11.4 ± 0.6 b	3.5 ± 0.5	7.5 ± 0.5	7.4 ± 0.9 d

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 15 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

คะแนนความเข้มจากน้อยไปมาก คะแนนเต็ม 15 คะแนน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

คะแนนความเข้มจากการชิมถ้วยเดี่ยวสด และถ้วยเดี่ยวพาสเจอไรซ์ ที่ผลิตจากเส้นถ้วยเดี่ยวที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่คัดเลือกแล้ว ในปริมาณ 5-20% เปรียบเทียบกับถ้วยเดี่ยวปกติที่ผลิตจากแป้งข้าวชัณนาท 1 ล้วน แสดงผลในตารางที่ 20

ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความกระด้างของถ้วยเดี่ยวสดที่ผลิตจากแป้งปกติ 8.9 ถ้วยเดี่ยวสดที่ผลิตจากการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5% มีคะแนนความกระด้าง 9.9 กระด้างมากกว่าถ้วยเดี่ยวปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การเติมแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 10 และ 20% ผู้ชิมให้คะแนนความกระด้างไม่แตกต่างกันเท่ากับ 10.4 และ 10.3 มากกว่าถ้วยเดี่ยวที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรปริมาณ 5% และมากกว่าถ้วยเดี่ยวสดปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ถ้วยเดี่ยวสดที่ผลิตจากแป้งปกติมีคะแนนความยืดหยุ่นน้อยที่สุด เท่ากับ 8.1 ส่วนถ้วยเดี่ยวสดที่ผลิตจากการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5, 10 และ 20% ได้คะแนนความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันเท่ากับ 11.9, 11.8 และ 11.1 ตามลำดับ แต่มีคะแนนความยืดหยุ่นมากกว่าถ้วยเดี่ยวสดจากแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ถ้วยเดี่ยวสดที่ผลิตจากแป้งปกติมีคะแนนความแน่นเนื้อน้อยที่สุดเท่ากับ 9.0 ถ้วยเดี่ยวสดที่ผลิตจากการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5% มีคะแนนความแน่นเนื้อมากที่สุดเท่ากับ 12.3 ส่วนถ้วยเดี่ยวสดที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 10 และ 20% ได้คะแนนความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันคือ 11.3 และ 11.4 ตามลำดับ ได้คะแนนน้อยกว่าถ้วยเดี่ยวที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ช 5% แต่มากกว่าถ้วยเดี่ยวสดจากแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

หลังจากพาสเจอไรซ์แล้วทำให้คะแนนความกระด้างของถ้วยเดี่ยวไม่แตกต่างกัน ถ้วยเดี่ยวปกติพาสเจอไรซ์มีคะแนนความกระด้าง 3.8 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับถ้วยเดี่ยวที่ผลิตจากการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5, 10 และ 20% ซึ่งได้คะแนน 3.5, 3.6 และ 3.5 ตามลำดับ

คะแนนความยืดหยุ่นของก๊วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์ไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกับคะแนนความกระด้าง โดยก๊วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์มีคะแนนความยืดหยุ่น 7.6 คะแนน ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับก๊วยเตี๋ยที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 5, 10 และ 20% ซึ่งได้คะแนน 8.3, 8.1 และ 7.5 ตามลำดับ

คะแนนความแน่นเนื้อของก๊วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์เท่ากับ 8.3 ส่วนก๊วยเตี๋ยที่ผลิตจากการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 5% พาสเจอไรซ์ ได้คะแนนความแน่นเนื้อมากที่สุดเท่ากับ 10.8 เมื่อปริมาณการทดแทนแป้งคัดแปรสตาร์ชเพิ่มขึ้นเป็น 10% ทำให้ก๊วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์มีคะแนนความแน่นเนื้อเป็น 9.3 มากกว่าก๊วยเตี๋ยที่ทดแทนแป้งคัดแปรสตาร์ชปริมาณ 5% แต่มีความแน่นเนื้อมากกว่าก๊วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม การทดแทนแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นในปริมาณ 20% ทำให้ก๊วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์ได้คะแนนความแน่นเนื้อน้อยที่สุดเท่ากับ 7.4

จากผลการทดลองทั้งด้านความหนืด ความหนาของเส้นก๊วยเตี๋ย เนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของก๊วยเตี๋ยที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 5-20% ปรากฏว่า น้ำแป้งที่ถูกทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นมีความหนืดมากขึ้น โดยเฉพาะการแทนที่ในปริมาณ 20% ทำให้น้ำแป้งมีความหนืดสูงมาก และเหนียวแป้งให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในถาดนึ่งก๊วยเตี๋ยได้ยาก แต่เส้นก๊วยเตี๋ยยังคงมีความหนาไม่แตกต่างกันกับเส้นก๊วยเตี๋ยที่ผลิตจากแป้งปกติ เมื่อพาสเจอไรซ์ก๊วยเตี๋ยปรุงรสที่อุณหภูมิ 90°C 5 นาที ก๊วยเตี๋ยที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 5 และ 10% มีเนื้อสัมผัสในด้านแรงสูงสุดที่ใช้ในการตัดเส้นมากกว่าก๊วยเตี๋ยปกติ และก๊วยเตี๋ยที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 20% และมีพื้นที่ได้กราฟมากกว่าเนื้อสัมผัสของก๊วยเตี๋ยปกติ ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของก๊วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์ปรากฏว่า ก๊วยเตี๋ยที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5-20% หลังพาสเจอไรซ์มีความกระด้าง และความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกับก๊วยเตี๋ยปกติพาสเจอไรซ์ แต่ก๊วยเตี๋ยที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5% หลังพาสเจอไรซ์มีคะแนนความเข้มด้านความแน่นเนื้อมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกก๊วยเตี๋ยที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5% เป็นตัวแทนของก๊วยเตี๋ยที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น เพื่อใช้ในการทดลองเรื่องการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

5.3.2 กว๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวี

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของกว๊วยเตี๋ยวปกติ และกว๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตา์ชด้วยรังสียูวี ทั้งในรูปกว๊วยเตี๋ยวสด และพาสเจอไรซ์ ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนด้านความเข้มดังแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 คะแนนความเข้มจากการทดสอบชิมก้วยเตี๋ยเส้นเล็กผลิตจากแป้งข้าวชัชนาท 1 และแป้งข้าวชัชนาท 1 ทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5, 10 และ 20%

ตัวอย่าง	คะแนนความเข้ม (QDA) ¹					
	ก้วยเตี๋ยสด			ก้วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์		
	ความกระด้าง ^{ns}	ความยืดหยุ่น	ความแน่นเนื้อ ^{ns}	ความกระด้าง ^{ns}	ความยืดหยุ่น ^{ns}	ความแน่นเนื้อ ^{ns}
CN1	8.9 ± 0.7	8.1 ± 1.4 b	9.0 ± 0.4	3.8 ± 1.1	7.6 ± 1.0	8.3 ± 0.9
5%UV-45-7	9.2 ± 0.8	9.0 ± 1.1 a	9.0 ± 0.5	3.6 ± 1.0	7.3 ± 0.9	8.0 ± 1.1
10%UV-45-7	9.2 ± 0.9	9.3 ± 1.1 a	9.1 ± 0.5	3.6 ± 1.0	7.6 ± 1.1	8.2 ± 1.0
20%UV-45-7	9.5 ± 0.8	9.3 ± 1.0 a	8.9 ± 0.4	3.3 ± 0.7	7.9 ± 0.7	8.4 ± 0.7

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 15 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

คะแนนความเข้มจากน้อยไปมาก คะแนนเต็ม 15 คะแนน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

คะแนนความเข้มจากการชิมกล้วยเดี่ยวสด และกล้วยเดี่ยวพาสเจอไรซ์ ที่ผลิตจากเส้นกล้วยเดี่ยวที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีที่คัดเลือกแล้ว ในปริมาณ 5-20% เปรียบเทียบกับกล้วยเดี่ยวปกติที่ผลิตจากแป้งข้าวชัยนาท 1 ล้วน แสดงผลในตารางที่ 21

ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความเข้มด้านความกระด้างของกล้วยเดี่ยวสดที่ผลิตจากแป้งปกติ 8.9 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับความกระด้างของกล้วยเดี่ยวสดที่ผลิตจากการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5, 10 และ 20% ที่มีความกระด้าง 9.2, 9.2 และ 9.5 ตามลำดับ

กล้วยเดี่ยวสดจากแป้งปกติมีคะแนนความเข้มด้านความยืดหยุ่นน้อยที่สุดคือ 8.1 ส่วนกล้วยเดี่ยวสดที่ผลิตจากการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5, 10 และ 20% มีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันคือ 9.0, 9.3 และ 9.3 ตามลำดับ แต่ยืดหยุ่นมากกว่ากล้วยเดี่ยวสดจากแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

กล้วยเดี่ยวสดจากแป้งปกติมีคะแนนความเข้มด้านความแน่นเนื้อ 9.0 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับกล้วยเดี่ยวสดที่ผลิตจากการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5, 10 และ 20% ที่มีความแน่นเนื้อ 9.0, 9.1 และ 8.9 ตามลำดับ

หลังจากพาสเจอไรซ์แล้วกล้วยเดี่ยวปกติมีความเข้มด้านความกระด้าง 3.8 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับกล้วยเดี่ยวที่ผลิตจากการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5, 10 และ 20% ที่มีความกระด้าง 3.6, 3.6 และ 3.3 ตามลำดับ

ในทำนองเดียวกัน ความเข้มในด้านความยืดหยุ่นของกล้วยเดี่ยวปกติพาสเจอไรซ์เท่ากับ 7.64 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับกล้วยเดี่ยวที่ผลิตจากการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5, 10 และ 20% ที่มีความยืดหยุ่น 7.3, 7.6 และ 7.9 ตามลำดับ

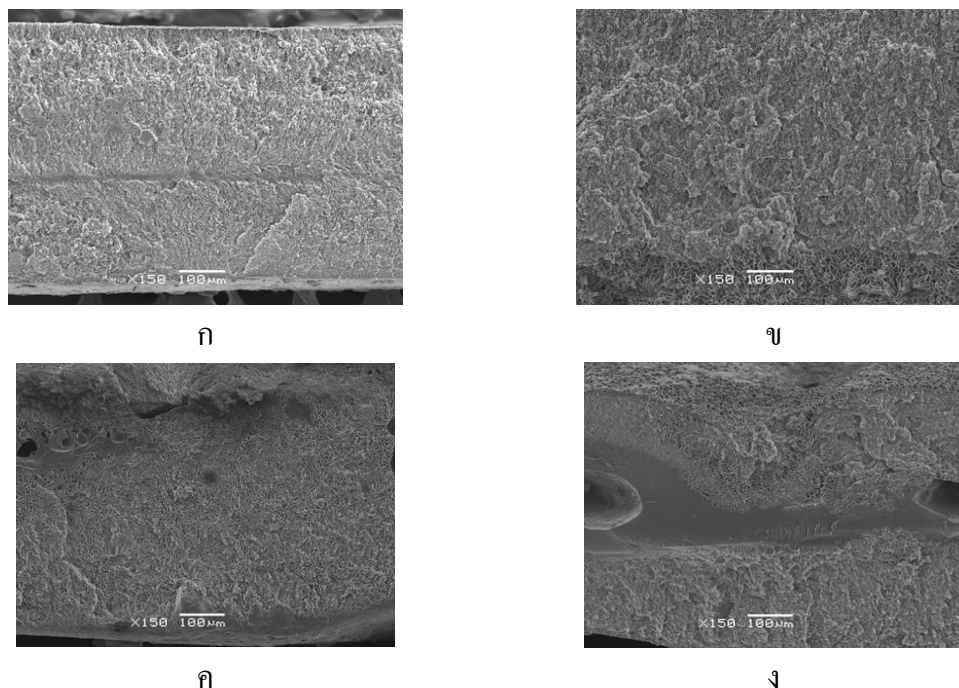
นอกจากนี้ ความเข้มในด้านความแน่นเนื้อของกล้วยเดี่ยวปกติพาสเจอไรซ์เท่ากับ 8.3 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับกล้วยเดี่ยวที่ผลิตจากการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5, 10 และ 20% ที่มีความแน่นเนื้อ 8.0, 8.2 และ 8.4 ตามลำดับ

จากผลการทดลองทั้งด้านความหนืด ความหนาของเส้นก๊วยเตี๋ยว เนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของก๊วยเตี๋ยวที่ทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5-20% ปรากฏว่า น้ำแป้งที่ถูกทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีมีความหนืดมากขึ้น แต่ยังคงสามารถเหนียวแป้งใส่ถาดนึ่งก๊วยเตี๋ยวได้ไม่ยาก เส้นก๊วยเตี๋ยวจึงมีความหนาไม่แตกต่างกันกับเส้นก๊วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งปกติ เมื่อพาสเจอไรซ์ก๊วยเตี๋ยวปรุงรสที่อุณหภูมิ 90⁰ซ 5 นาที ก๊วยเตี๋ยวที่ทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีมีเนื้อสัมผัสในด้านแรงสูงสุดที่ใช้ในการตัดเส้น และพื้นที่ได้กราฟ ไม่แตกต่างจากเนื้อสัมผัสของก๊วยเตี๋ยวปกติ และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของก๊วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์สอดคล้องกับผลการทดลองเรื่องเนื้อสัมผัส กล่าวคือ ก๊วยเตี๋ยวที่ทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีพาสเจอไรซ์ มีความกระด้าง ความยืดหยุ่น และความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกับก๊วยเตี๋ยวปกติ จึงเลือกก๊วยเตี๋ยวที่ทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีปริมาณ 5% เป็นตัวแทนของก๊วยเตี๋ยวที่ทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี เพื่อใช้ในการทดลองเรื่องการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

5.4 ตรวจสอบลักษณะเนื้อเส้นก๊วยเตี๋ยวเส้นสด

5.4.1 ก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

ตรวจสอบเนื้อก๊วยเตี๋ยวปกติ และก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น (HMT120-5) ปริมาณ 5, 10 และ 20% โดยนำเส้นก๊วยเตี๋ยวบแห้งมาแช่น้ำ 10 นาที ลวกน้ำเดือด 15 วินาที แล้วทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze drying) นำไปส่องดูเนื้อเส้นก๊วยเตี๋ยวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 กวียเดี่ยวปกติ (ก) และกวียเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น 5% (ข) 10% (ค) และ 20% (ง) ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 150 เท่า

จากภาพที่ 24 ก เป็นภาพตัดขวางเส้นกวียเดี่ยวปกติที่กำลังขยาย 150 เท่า พบว่าเส้นกวียเดี่ยวปกติมีรูพรุนทั่วทั้งเส้น แสดงถึงเส้นกวียเดี่ยวปกติสุกใกล้เคียงกันทั่วทั้งเส้น

จากภาพที่ 24 ข เป็นภาพตัดขวางเส้นกวียเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 5% ที่กำลังขยาย 150 เท่า พบรูพรุนขนาดเล็กคล้ายกับกวียเดี่ยวปกติ แต่มีบางส่วนที่ไม่เป็นรูพรุนกระจายอยู่บ้าง

จากภาพที่ 24 ค เป็นภาพตัดขวางเส้นกวียเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 10% ที่กำลังขยาย 150 เท่า จะเห็นรูพรุนที่บริเวณด้านนอกของเส้นกวียเดี่ยว ส่วนใจกลางเส้นเป็นเนื้อเรียบที่ไม่พบรูพรุน

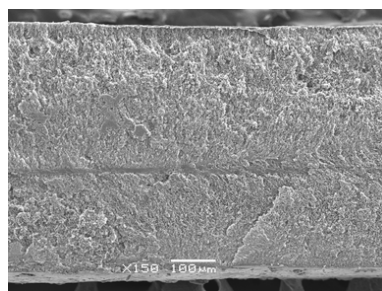
จากภาพที่ 24 ง เป็นภาพตัดขวางเส้นกวียเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 20% ที่กำลังขยาย 150 เท่า เห็นเนื้อเส้นที่เป็นรูพรุนอยู่ด้าน

นอก ส่วนใจกลางเส้นเป็นเนื้อเรียบไม่พบรูพรุนมีบริเวณกว้าง และเห็นชัดเจนกว่าที่พบในเส้น
 กว้างเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 5 และ 10%

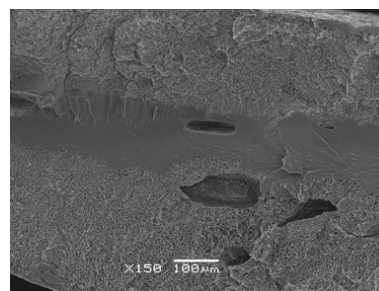
จากผลการทดลองในภาพที่ 24 ที่อธิบายในข้างต้นแสดงให้เห็นว่า รูพรุนในเส้น
 กว้างเดี่ยวเกิดจากการลวกเส้นกว้างเดี่ยว ทำให้สตาร์ชในเส้นเกิดเจลาทิไนซ์ เกิดลักษณะเป็นโครงข่าย
 (matrix) เชื่อมกัน เส้นกว้างเดี่ยวปกติพบรูพรุนทั่วทั้งเส้น ส่วนเส้นกว้างเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปร
 สตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น 5-20% พบลักษณะเนื้อเรียบส่วนใหญ่บริเวณใจกลางเส้น
 ส่วนรูพรุนพบบริเวณด้านนอกเส้น โดยกว้างเดี่ยวทดแทนแป้งคัดแปรสตาร์ชปริมาณ 20% พบ
 ลักษณะเนื้อเรียบใจกลางเส้นมากที่สุด ซึ่งน่าจะเกิดจากเนื้อเส้นบริเวณดังกล่าวยังไม่สุก หรือเกิด
 เจลาทิไนซ์น้อยกว่าบริเวณอื่น ทำให้ไม่ค่อยพบรูพรุน ลักษณะที่พบดังกล่าวนี้ สอดคล้องกับผลการ
 ทดลองเรื่องเนื้อสัมผัสของเส้นกว้างเดี่ยว ซึ่งกว้างเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อน
 ร่วมกับความชื้นมีแรงคัต (5%HMT120-5) และแรงด้านการดึง (10%HMT120-5) สูงกว่ากว้างเดี่ยว
 ปกติ และสอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของกว้างเดี่ยวสดที่ทดแทนด้วยแป้งคัด
 แปรงด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่มีความกระด้าง ความยืดหยุ่น และความแน่นเนื้อสูง
 กว่ากว้างเดี่ยวปกติ ซึ่งเกิดจากการลวกเส้นกว้างเดี่ยวที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อน
 ร่วมกับความชื้นนาน 15 วินาที ยังไม่ทำให้บริเวณใจกลางเส้นสุก หรือสุกน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ
 กว้างเดี่ยวปกติ ดังนั้น เส้นกว้างเดี่ยวที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชจึงมีเนื้อสัมผัสที่แน่น และ
 กระด้างกว่ากว้างเดี่ยวปกติ

5.4.2 กว้างเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี

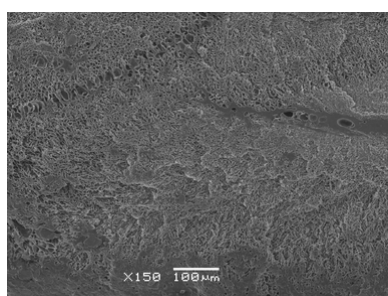
ตรวจสอบเนื้อกว้างเดี่ยวปกติ และกว้างเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วย
 รังสียูวี (UV45-7) ปริมาณ 5, 10 และ 20% โดยนำเส้นกว้างเดี่ยวอบแห้งมาแช่น้ำ 10 นาที ลวกน้ำ
 เดือด 15 วินาที แล้วทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze drying) นำไปส่องดูเนื้อเส้นกว้างเดี่ยวด้วยกล้อง
 จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 25



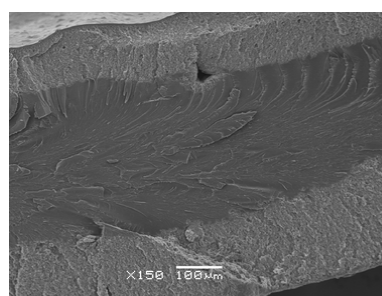
ก



ข



ค



ง

ภาพที่ 25 กว๊วยเตี้ยวปกติ (ก) และกว๊วยเตี้ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาไรซ์ด้วยรังสียูวี 5% (ข) 10% (ค) และ 20% (ง) ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 150 เท่า

จากภาพที่ 25 ก เป็นภาพตัดขวางเส้นกว๊วยเตี้ยวปกติที่กำลังขยาย 150 เท่า พบว่าเส้นกว๊วยเตี้ยวปกติมีรูพรุนทั่วทั้งเส้น มีรูพรุนขนาดเล็กกระจายทั่วทั้งด้านนอก และใจกลางเส้น แสดงถึงเส้นกว๊วยเตี้ยวปกติสุกใกล้เคียงกันทั่วทั้งเส้น

จากภาพที่ 25 ข เป็นภาพตัดขวางเส้นกว๊วยเตี้ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาไรซ์ด้วยรังสียูวีปริมาณ 5% ที่กำลังขยาย 150 เท่า พบรูพรุนขนาดเล็กคล้ายกับกว๊วยเตี้ยวปกติ แต่บริเวณใจกลางเส้นมีลักษณะเป็นเนื้อเรียบ และมีรูพรุนอยู่บ้าง

จากภาพที่ 25 ค เป็นภาพตัดขวางเส้นกว๊วยเตี้ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาไรซ์ด้วยรังสียูวีปริมาณ 10% ที่กำลังขยาย 150 เท่า จะเห็นรูพรุนที่บริเวณด้านนอกของเส้นกว๊วยเตี้ยว จนถึงบริเวณกลางเส้นบ้าง ส่วนใจกลางเส้นพบลักษณะเนื้อเรียบผสมกับบริเวณรูพรุน

จากภาพที่ 25 ง เป็นภาพตัดขวางเส้นกว๊วยเตี้ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาไรซ์ด้วยรังสียูวีปริมาณ 20% ที่กำลังขยาย 150 เท่า เห็นเนื้อเส้นที่เป็นรูพรุนอยู่ด้านนอก ส่วนใจกลาง

เส้นเป็นเนื้อเรียบไม่พบรูพรุน มีลักษณะเนื้อเรียบเป็นบริเวณกว้าง และเห็นชัดเจนกว่าที่พบในเส้น กวียเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวีปริมาณ 5 และ 10%

จากผลการทดลองในภาพที่ 25 ที่อธิบายในข้างต้นแสดงให้เห็นว่า รูพรุนใน เส้นกวียเดี่ยวเกิดจากการลวกเส้นกวียเดี่ยว ทำให้สตาซ์ในเส้นเกิดเจลลาทีไนซ์ เกิดลักษณะเป็น โครงข่าย (matrix) เชื่อมกัน เส้นกวียเดี่ยวปกติพบรูพรุนทั่วทั้งเส้น ส่วนเส้นกวียเดี่ยวทดแทนด้วย แป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี 5-20% พบลักษณะเนื้อเรียบส่วนใหญ่บริเวณใจกลางเส้น ส่วนรูพรุน พบบริเวณด้านนอกเส้น โดยกวียเดี่ยวทดแทนแป้งคัดแปรสตาซ์ปริมาณ 20% พบลักษณะเนื้อเรียบ ใจกลางเส้นมากที่สุด ซึ่งน่าจะเกิดจากเนื้อเส้นบริเวณดังกล่าวยังไม่สุก หรือเกิดเจลลาทีไนซ์น้อยกว่า บริเวณอื่น ทำให้ไม่ค่อยพบรูพรุน ลักษณะที่พบดังกล่าวนี้ สอดคล้องกับผลการทดลองเรื่องเนื้อ สัมผัสของเส้นกวียเดี่ยวคั้นรูป ซึ่งกวียเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี (5% และ 10% UV45-7) มีแรงด้านการดึงสูงกว่ากวียเดี่ยวปกติ และสอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาท สัมผัสของกวียเดี่ยวสดที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ที่มีความยืดหยุ่นสูงกว่า กวียเดี่ยวปกติ ซึ่งเกิดจากการลวกเส้นกวียเดี่ยวที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวีนาน 15 วินาที ยังไม่ทำให้บริเวณใจกลางเส้นสุก หรือสุกน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับกวียเดี่ยวปกติ ดังนั้น เส้น กวียเดี่ยวที่ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์จึงยืดหยุ่นกว่ากวียเดี่ยวปกติ

6. การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กวียเดี่ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์

จากผลการทดลองด้านเนื้อสัมผัสของกวียเดี่ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์ ที่กวียเดี่ยวทดแทนด้วย แป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 5% พาสเจอไรซ์ มีคะแนนความแข็ง และ ความชอบด้านความแน่นเนื้อมากที่สุด จึงคัดเลือกระดับการแทนที่ 5% เป็นตัวแทนของกวียเดี่ยว ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และกวียเดี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัด แปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี 5-20% พาสเจอไรซ์ ที่มีคะแนนความแข็งและความชอบในทุกด้านไม่ แตกต่างกับกวียเดี่ยวปกติ จึงคัดเลือกระดับการแทนที่ที่น้อยที่สุด คือ 5% เป็นตัวแทนของกวียเดี่ยว ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์กวียเดี่ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์

6.1 เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

กลุ่มตรวจเนื้อสัมผัสของก้วยเตี่ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทชนิดอ่อนตัว ที่เก็บรักษาไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4⁰ซ ในระยะเวลาหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน และ 1, 3, 5, 7 และ 8 สัปดาห์ ทั้งก้วยเตี่ยวปกติ ก้วยเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรรสด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และก้วยเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรรสด้วยรังสียูวี มีแนวโน้มของเส้นก้วยเตี่ยวที่ความแน่นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 เนื้อสัมผัสของก้วยเตี่ยวพาสเจอไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4⁰ซ ในช่วง 8 สัปดาห์

ระยะเวลา	CN 1 ¹		5%HMT120-5 ¹		5%UV45-7 ¹	
	แรงสูงสุด (ก)	พื้นที่ใต้กราฟ (ก .วินาที)	แรงสูงสุด (ก)	พื้นที่ใต้กราฟ (ก .วินาที)	แรงสูงสุด (ก)	พื้นที่ใต้กราฟ (ก .วินาที)
1 วัน	88.1 ± 2.6 c	95.2 ± 11.1 b	89.0 ± 9.7 c	95.1 ± 21.0 c	68.0 ± 4.1 d	66.6 ± 11.8 b
1 สัปดาห์	105.9 ± 9.9 b	114.4 ± 16.9 b	99.0 ± 5.9 bc	122.2 ± 34.7 abc	92.2 ± 7.3 c	85.2 ± 19.4 b
3 สัปดาห์	100.3 ± 4.1 bc	119.4 ± 4.4 b	95.9 ± 9.6 c	101.7 ± 21.4 bc	110.6 ± 6.7 b	150.4 ± 21.3 a
5 สัปดาห์	111.9 ± 8.4 b	116.0 ± 7.6 b	113.9 ± 13.2 a	145.8 ± 13.6 a	106.5 ± 20.2 bc	141.7 ± 58.0 a
7 สัปดาห์	127.1 ± 9.5 a	154.2 ± 15.7 a	111.8 ± 8.9 ab	133.3 ± 23.3 ab	134.0 ± 15.8 a	156.1 ± 18.5 a
8 สัปดาห์	130.1 ± 16.0 a	168.9 ± 47.6 a	119.5 ± 10.6 a	149.4 ± 29.0 a	111.4 ± 5.7 b	100.1 ± 16.6 b

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ก้วยเตี๋ยวปกติหลังจากพาสเจอไรซ์ 1 วัน มีค่าแรงสูงสุดที่ใช้ตัดเส้น 88.1 ก เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้นก้วยเตี๋ยวปกติมีค่าแรงสูงสุดมากขึ้น หากเก็บเป็นระยะเวลา 7 และ 8 สัปดาห์ ก้วยเตี๋ยวมีแรงสูงสุดมากที่สุดคือ 127.1 และ 130.1 ก ตามลำดับ และมากกว่าก้วยเตี๋ยวที่เก็บนาน 1, 3 และ 5 สัปดาห์ ซึ่งมีแรงสูงสุด 105.9, 100.3 และ 111.9 ก ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ใต้กราฟของก้วยเตี๋ยวปกติหลังจากพาสเจอไรซ์ 1 วัน มีค่า 95.2 ก .วินาที ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับก้วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1, 3 และ 5 สัปดาห์ ซึ่งมีพื้นที่ใต้กราฟ 114.4, 119.4 และ 116.0 ก .วินาที ตามลำดับ ส่วนก้วยเตี๋ยวปกติหลังพาสเจอไรซ์นาน 7 และ 8 สัปดาห์ มีพื้นที่ใต้กราฟมากกว่าระยะเวลาอื่น โดยมีค่า 154.2 และ 168.9 ก .วินาที ตามลำดับ

ก้วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น 5% หลังจากพาสเจอไรซ์ 1 วัน มีค่าแรงสูงสุดที่ใช้ตัดเส้น 89.0 ก พื้นที่ใต้กราฟ 95.1 ก .วินาที ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับก้วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 และ 3 สัปดาห์ ที่มีแรงสูงสุด 99.0 และ 95.9 ก พื้นที่ใต้กราฟ 122.2 และ 101.7 ก .วินาที ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษา ก้วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์เป็นระยะเวลานานขึ้นทำให้มีแนวโน้มค่าแรงสูงสุด และพื้นที่ใต้กราฟมากขึ้น กล่าวคือ หลังพาสเจอไรซ์ 5, 7 และ 8 สัปดาห์ ก้วยเตี๋ยวมีแรงสูงสุด รวมทั้งพื้นที่ใต้กราฟไม่แตกต่างกันคือ แรงสูงสุด 113.9, 111.8 และ 119.5 ก และพื้นที่ใต้กราฟ 145.8, 133.3 และ 149.4 ก .วินาที ตามลำดับ แต่ก้วยเตี๋ยวหลังพาสเจอไรซ์ 5 และ 8 สัปดาห์ มีแรงสูงสุดมากกว่าก้วยเตี๋ยวหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 3 สัปดาห์ อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ก้วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี 5% หลังจากพาสเจอไรซ์ 1 วัน มีค่าแรงสูงสุดที่ใช้ตัดเส้น 68.0 ก เมื่อเก็บรักษานานขึ้น ก้วยเตี๋ยวมีแรงสูงสุดเพิ่มขึ้น โดยหลังจากเก็บรักษา 1, 3, 5, 7 และ 8 สัปดาห์ มีแรงสูงสุด 92.2, 110.6, 106.5, 134.0 และ 111.4 ก ตามลำดับ มากกว่าก้วยเตี๋ยวหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยก้วยเตี๋ยวหลังพาสเจอไรซ์นาน 7 สัปดาห์ มีค่าแรงสูงสุดมากที่สุด ส่วนพื้นที่ใต้กราฟของก้วยเตี๋ยวหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน มีค่า 66.6 ก .วินาที ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับก้วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 และ 8 สัปดาห์ ที่มีพื้นที่ใต้กราฟ 85.2 และ 100.1 ก .วินาที ตามลำดับ แต่มีค่าน้อยกว่าพื้นที่ใต้กราฟของ ก้วยเตี๋ยวที่เก็บรักษานาน 3, 5 และ 7 สัปดาห์ ที่มีค่า 150.4, 141.7 และ 156.1 ก .วินาที ตามลำดับ

จากแนวโน้มที่ก๊วยเตี๋ยวมีแรงสูงสุด และพื้นที่ใต้กราฟ ของการคัดเส้นสูงขึ้น ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C ยาวนานขึ้น แสดงว่า ก๊วยเตี๋ยวมีความแน่นแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากสตาarchเกิดรีโทรเกรเดชัน

6.2 สมบัติทางประสาทสัมผัส

ให้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 15 คน ชิมก๊วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์ในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท ชนิดอ่อนตัว ที่เก็บรักษาไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4°C ช่วงระยะเวลาหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน และ 1, 3, 5, 7 และ 8 สัปดาห์ ทั้งก๊วยเตี๋ยวปกติ ก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาarchด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาarchด้วยรังสียูวี ให้คะแนนในเรื่องความกระด้าง ความยืดหยุ่น และความแน่นเนื้อของเส้นก๊วยเตี๋ยว โดยใช้สเกลความเข้มยาว 15 ซม. (0 = น้อยที่สุด, 15 = มากที่สุด) ได้ผลดังต่อไปนี้

6.2.1 ก๊วยเตี๋ยวปกติ

ผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของก๊วยเตี๋ยวปกติพาสเจอไรซ์ แล้ว เก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลา 1 วัน และ 1, 3, 5, 7 และ 8 สัปดาห์ แสดงในตารางที่

ตารางที่ 23 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของก้วยเตี๋ยวกติหลังพาสเจอไรซ์ ระยะเวลา 1 วัน ถึง 8 สัปดาห์

ระยะเวลา	ความเข้ม ^{1,2}		
	ความกระด้าง	ความยืดหยุ่น ^{ns}	ความแน่นเนื้อ
1 วัน	5.8 ± 4.0 c	9.2 ± 2.1	7.7 ± 1.4 c
1 สัปดาห์	6.6 ± 3.4 bc	9.7 ± 1.9	9.3 ± 1.2 b
3 สัปดาห์	7.6 ± 2.7 abc	8.8 ± 2.2	10.0 ± 0.6 ab
5 สัปดาห์	8.1 ± 4.6 ab	10.0 ± 1.5	9.9 ± 1.6 ab
7 สัปดาห์	8.8 ± 1.7 a	10.1 ± 1.3	10.0 ± 1.2 ab
8 สัปดาห์	8.9 ± 1.8 a	8.7 ± 2.4	10.6 ± 1.0 a

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 15 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

² คะแนนความเข้มจากน้อยไปมาก คะแนนเต็ม 15 คะแนน

ก้วยเตี๋ยวกติหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความเข้มของ
ความกระด้าง 5.8 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับก้วยเตี๋ยวกติหลังพาสเจอไรซ์ 1 และ 3 สัปดาห์ ที่มี
ความกระด้าง 6.56 และ 7.64 ตามลำดับ ส่วนก้วยเตี๋ยวกติหลังพาสเจอไรซ์ 5, 7 และ 9 สัปดาห์ มีความ
กระด้าง 8.1, 8.8 และ 8.9 ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีความกระด้างมากกว่า
ก้วยเตี๋ยวกติหลังพาสเจอไรซ์นาน 1 วัน อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ก้วยเตี๋ยวกติหลังพาสเจอไรซ์ในช่วง 8 สัปดาห์ มีคะแนนความเข้มของความ
ยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยก้วยเตี๋ยวกติหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน และ 1, 3, 5, 7
และ 8 สัปดาห์ มีความยืดหยุ่น 9.2 และ 9.7, 8.8, 10.0, 10.1 และ 8.7 ตามลำดับ

ก้วยเตี๋ยวกติหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน มีคะแนนความเข้มของความแน่นเนื้อน้อย
ที่สุดคือ 7.7 แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับก้วยเตี๋ยวกติหลังพาสเจอไรซ์ 1-8 สัปดาห์ ก้วยเตี๋ยวก
ติหลังพาสเจอไรซ์ 1 สัปดาห์ มีคะแนนความแน่นเนื้อ 9.3 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับ

คะแนนความแน่นเนื้อของก๊วยเตี๋ยวปกติหลังพาสเจอไรซ์ 3, 5 และ 7 สัปดาห์ ซึ่งมีความแน่นเนื้อ 10.0, 9.9 และ 10.0 ตามลำดับ แต่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับก๊วยเตี๋ยวปกติหลังพาสเจอไรซ์ 8 สัปดาห์ ซึ่งมีความแน่นเนื้อ 10.6 อย่างไรก็ตาม คะแนนความเข้มของความแน่นเนื้อของก๊วยเตี๋ยวปกติหลังพาสเจอไรซ์ 3-8 สัปดาห์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากคะแนนทดสอบชิมก๊วยเตี๋ยวปกติหลังพาสเจอไรซ์ ในช่วง 8 สัปดาห์ สามารถสรุปได้ว่า คะแนนความเข้มในด้านความกระด้าง และความแน่นเนื้อของก๊วยเตี๋ยวเพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บเป็นระยะเวลานานขึ้น ส่วนความเข้มในด้านความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกัน

6.2.2 ก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

ผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5% พาสเจอไรซ์ แล้วเก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลา 1 วัน และ 1, 3, 5, 7 และ 8 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 24

ตารางที่ 24 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของก้วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ช ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นพาสเจอไรซ์ ระยะเวลา 1 วัน ถึง 8 สัปดาห์

ระยะเวลา	ความชื้น ^{1,2}		
	ความกระด้าง	ความยืดหยุ่น ^{ns}	ความแน่นเนื้อ
1 วัน	4.7 ± 2.5 c	9.8 ± 3.0	8.1 ± 0.8 c
1 สัปดาห์	4.9 ± 3.2 c	8.8 ± 2.4	8.4 ± 1.9 bc
3 สัปดาห์	7.2 ± 2.3 b	9.2 ± 1.8	8.8 ± 1.0 bc
5 สัปดาห์	7.5 ± 3.2 b	8.8 ± 1.2	9.3 ± 2.1 b
7 สัปดาห์	8.1 ± 3.5 b	8.8 ± 1.0	9.5 ± 2.0 b
8 สัปดาห์	11.3 ± 1.7 a	9.2 ± 1.0	11.2 ± 1.6 a

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 15 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

² คะแนนความชื้นจากน้อยไปมาก คะแนนเต็ม 15 คะแนน

ก้วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน และ 1 สัปดาห์ มีคะแนนความชื้นของความกระด้าง 4.7 และ 4.9 ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ก้วยเตี๋ยหลังพาสเจอไรซ์ 3, 5 และ 7 สัปดาห์ มีคะแนนความชื้นของความกระด้าง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 7.2, 7.5 และ 8.1 ตามลำดับ แต่มีความกระด้างสูงกว่าก้วยเตี๋ยหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน และ 1 สัปดาห์ อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนก้วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์ที่เก็บรักษาไว้ 8 สัปดาห์ มีคะแนนความชื้นของความกระด้างมากที่สุด คือ 11.3

ก้วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นพาสเจอไรซ์ เก็บรักษาในช่วงระยะเวลา 8 สัปดาห์ มีคะแนนความชื้นของความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยก้วยเตี๋ยปกติหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน และ 1, 3, 5, 7 และ 8 สัปดาห์ มีความยืดหยุ่น 9.8 และ 8.8, 9.2, 8.8, 8.8 และ 9.2 ตามลำดับ

ก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสดำด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน มีคะแนนความเข้มของความแน่นเนื้อ 8.1 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับก๊วยเตี๋ยวหลังพาสเจอไรซ์ 1 และ 3 สัปดาห์ ที่ได้คะแนน 8.4 และ 8.8 ตามลำดับ ส่วนก๊วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์ที่เก็บรักษา 5 และ 7 สัปดาห์ ได้คะแนน 9.3 และ 9.5 ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับก๊วยเตี๋ยวหลังพาสเจอไรซ์ 1 และ 3 สัปดาห์ แต่มีคะแนนความเข้มของความแน่นเนื้อมากกว่า ก๊วยเตี๋ยวหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ส่วนก๊วยเตี๋ยวหลังพาสเจอไรซ์ 8 สัปดาห์ มีคะแนนความเข้มของความแน่นเนื้อมากที่สุด คือ 11.2

จากคะแนนทดสอบชิมก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสดำด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นหลังพาสเจอไรซ์ ในช่วง 8 สัปดาห์ สามารถสรุปได้ว่า คะแนนความเข้มในด้านความกระด้าง และความแน่นเนื้อของก๊วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์ มีค่ามากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น โดยก๊วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์ เก็บรักษาไว้ 8 สัปดาห์ มีความเข้มของความกระด้าง และความแน่นเนื้อมากที่สุด ส่วนคะแนนความเข้มในด้านความยืดหยุ่นของก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสดำด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นพาสเจอไรซ์ที่เก็บรักษาไว้ในช่วง 8 สัปดาห์ ไม่แตกต่างกัน

6.2.3 ก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสดำด้วยรังสียูวี

ผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสดำด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5% พาสเจอไรซ์ แล้วเก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลา 1 วัน และ 1, 3, 5, 7 และ 8 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 25

ตารางที่ 25 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีหลังพาสเจอไรซ์ ระยะเวลา 1 วัน ถึง 8 สัปดาห์

ระยะเวลา	ความเข้ม ^{1,2}		
	ความกระด้าง	ความยืดหยุ่น	ความแน่นเนื้อ
1 วัน	4.2 ± 2.7 c	10.2 ± 2.4 a	8.7 ± 1.2 c
1 สัปดาห์	4.9 ± 2.9 c	10.0 ± 1.9 ab	9.1 ± 1.4 c
3 สัปดาห์	7.2 ± 3.6 b	9.8 ± 1.3 ab	9.4 ± 2.1 bc
5 สัปดาห์	7.2 ± 2.4 b	9.5 ± 2.1 abc	9.5 ± 1.0 bc
7 สัปดาห์	8.4 ± 1.8 ab	8.8 ± 1.8 bc	10.3 ± 0.2 ab
8 สัปดาห์	9.1 ± 3.5 a	8.5 ± 1.5 c	10.7 ± 2.7 a

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 15 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

² คะแนนความเข้มจากน้อยไปมาก คะแนนเต็ม 15 คะแนน

ก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีหลังพาสเจอไรซ์เก็บรักษาไว้ 1 วัน มีคะแนนความเข้มในด้านความกระด้าง 4.2 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับก้วยเตี๋ยหลังพาสเจอไรซ์ 1 สัปดาห์ ซึ่งมีคะแนนความเข้มในด้านความกระด้าง 4.9 ส่วนก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีหลังพาสเจอไรซ์ 3, 5 และ 7 สัปดาห์ มีคะแนนความเข้มในด้านความกระด้างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) คือ 7.2, 7.2 และ 8.4 ตามลำดับ แต่มีคะแนนความเข้มในด้านความกระด้างมากกว่าก้วยเตี๋ยหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน และ 1 สัปดาห์ อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ ก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีหลังพาสเจอไรซ์ 8 สัปดาห์ มีคะแนนความเข้มในด้านความกระด้าง 9.1 ซึ่งมากกว่าคะแนนของก้วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์เก็บรักษาไว้ 1 วัน ถึง 5 สัปดาห์ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับคะแนนความเข้มในด้านความกระด้างของก้วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์เก็บรักษาไว้ 7 สัปดาห์

ก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีหลังพาสเจอไรซ์เก็บรักษาไว้ 1 วัน มีคะแนนความเข้มในด้านความยืดหยุ่น 10.2 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีหลังพาสเจอไรซ์ 1, 3 และ 5 สัปดาห์ ที่มีคะแนนความ

เข็มในด้านความยืดหยุ่น 10.0, 9.8 และ 9.5 ตามลำดับ ส่วนก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีหลังพาสเจอไรซ์ 7 และ 8 สัปดาห์ มีคะแนนความเข็มในด้านความยืดหยุ่นไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 8.77 และ 8.51 ตามลำดับ แต่มีคะแนนน้อยกว่าก๊วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์ที่เก็บรักษาไว้ 1 วัน อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีหลังพาสเจอไรซ์เก็บรักษาไว้ 1 วัน มีคะแนนความเข็มในด้านความแน่นเนื้อ 8.7 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับก๊วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์ที่เก็บรักษาไว้ 1, 3 และ 5 สัปดาห์ ที่ได้คะแนน 9.1, 9.4 และ 9.5 ตามลำดับ ส่วนก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีหลังพาสเจอไรซ์ 7 และ 8 สัปดาห์ มีคะแนนความเข็มในด้านความแน่นเนื้อไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 10.3 และ 10.7 ตามลำดับ แต่มีคะแนนความเข็มในด้านความแน่นเนื้อมากกว่าก๊วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์เก็บรักษาไว้ 1 วัน อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

จากคะแนนทดสอบชิมก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีหลังพาสเจอไรซ์ ในช่วง 8 สัปดาห์ สามารถสรุปได้ว่า การเก็บรักษาก๊วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์เป็นระยะเวลานานขึ้น ทำให้ก๊วยเตี๋ยวมีความกระด้าง และความแน่นเนื้อมากขึ้น แต่มีความยืดหยุ่นน้อยลง

จากผลการทดสอบชิมก๊วยเตี๋ยวปกติ (ตารางที่ 23) ก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น (ตารางที่ 24) และก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี (ตารางที่ 25) พาสเจอไรซ์ แล้วเก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 4°C นาน 8 สัปดาห์ ได้ผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ก๊วยเตี๋ยวมีความกระด้าง และความแน่นเนื้อมากขึ้น ตามระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้น เนื่องจากโมเลกุลสตาร์ชในเส้นก๊วยเตี๋ยวเกิดรีโทรเกรเดชันในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาก๊วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์ในตู้เย็น ถึงแม้ว่าจะมีการอุ่นก๊วยเตี๋ยวด้วยไมโครเวฟก่อนให้ผู้ทดสอบชิมชิม แต่ก็ยังทำให้ผู้ทดสอบชิมรู้สึกได้ถึงความกระด้าง และความแน่นเนื้อที่มากขึ้น ผลการทดสอบชิมนี้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (ตารางที่ 22) โดยเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลานาน มีแรงสูงสุดที่ใช้ในการตัดมากกว่าก๊วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลาน้อยกว่า

6.3 ความเป็นกรด-เบส

การแบ่งชนิดอาหารตามระดับความเป็นกรดเบสสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ อาหารที่มีความเป็นกรดสูง มีความเป็นกรด-เบสต่ำกว่า 3.7 อาหารที่เป็นกรด มีความเป็นกรด-เบส 3.7-4.6 อาหารที่มีความเป็นกรดในระดับปานกลาง มีความเป็นกรด-เบส 4.6-5.3 และอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ มีความเป็นกรด-เบส สูงกว่า 5.3 (วรารุณ, 2538) ความเป็นกรด-เบสของอาหารนี้ เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์ ความเป็นกรด-เบสของก้วยเตี่ยวพาสเจอไรซ์เก็บรักษา ในช่วง 8 สัปดาห์ แสดงดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 ความเป็นกรด-เบสของก้วยเตี่ยวพาสเจอไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C ในช่วง 8 สัปดาห์

ระยะเวลา	ความเป็นกรด-เบส (pH) ¹		
	CN1	5%HMT120-5	5%UV45-7
1 วัน	4.31 ± 0.04 d	4.26 ± 0.06 d	4.32 ± 0.01 d
1 สัปดาห์	4.60 ± 0.01 a	4.38 ± 0.03 c	4.48 ± 0.01 b
3 สัปดาห์	4.42 ± 0.01 c	4.48 ± 0.01 b	4.61 ± 0.01 a
5 สัปดาห์	4.51 ± 0.01 b	4.41 ± 0.01 bc	4.41 ± 0.01 c
7 สัปดาห์	4.44 ± 0.04 bc	4.51 ± 0.02 a	4.59 ± 0.01 a
8 สัปดาห์	4.43 ± 0.05 c	4.39 ± 0.06 bc	4.50 ± 0.02 b

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ก้วยเตี่ยวปกติหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน มีความเป็นกรด-เบส 4.31 ส่วนก้วยเตี่ยวปกติหลังพาสเจอไรซ์ 1 สัปดาห์ มีความเป็นกรด-เบสสูงที่สุดคือ 4.60 แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับก้วยเตี่ยวปกติหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน ก้วยเตี่ยวปกติหลังพาสเจอไรซ์ 3 สัปดาห์ มีความเป็นกรด-เบส 4.42 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับก้วยเตี่ยวปกติหลังพาสเจอไรซ์ 7 และ 8 สัปดาห์ ซึ่งมีความเป็นกรด-เบส 4.44 และ 4.43 ตามลำดับ แต่สูงกว่าความเป็นกรด-เบสของก้วยเตี่ยวปกติหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ก้วยเตี่ยวปกติหลังพาสเจอไรซ์ 5 สัปดาห์ มีความเป็นกรด-เบส 4.51 ไม่แตกต่างทางสถิติกับก้วยเตี่ยวปกติหลังพาสเจอไรซ์ 7 สัปดาห์ แต่สูงกว่าความเป็นกรด-เบสของก้วยเตี่ยวปกติหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคั้ดแปรสตา์รซ์ด้วยความร้อนร่ว้กับความร้อน หลังจากพาสเจอไรซ์ 1 วัน มีความเป็นกรด-เบสต่ำที่สุดคือ 4.26 ส่วนก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคั้ดแปรสตา์รซ์ด้วยความร้อนร่ว้กับความร้อน หลังจากพาสเจอไรซ์ 1, 5 และ 8 สัปดาห์ มีความเป็นกรด-เบสไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 4.38, 4.41 และ 4.39 ตามลำดับ แต่มีค่าสูงกว่าก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคั้ดแปรสตา์รซ์ด้วยความร้อนร่ว้กับความร้อน หลังจากพาสเจอไรซ์ 1 วัน อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคั้ดแปรสตา์รซ์ด้วยความร้อนร่ว้กับความร้อน หลังจากพาสเจอไรซ์ 3 สัปดาห์ มีความเป็นกรด-เบส 4.48 สูงกว่าก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคั้ดแปรสตา์รซ์ด้วยความร้อนร่ว้กับความร้อน หลังจากพาสเจอไรซ์ 1 วัน อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) และก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคั้ดแปรสตา์รซ์ด้วยความร้อนร่ว้กับความร้อน หลังจากพาสเจอไรซ์ 7 สัปดาห์ มีค่าความเป็นกรด-เบสสูงที่สุด เท่ากับ 4.51

ก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคั้ดแปรสตา์รซ์ด้วยรังสียูวี หลังจากพาสเจอไรซ์ 1 วัน มีความเป็นกรด-เบสต่ำที่สุด เท่ากับ 4.32 ก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคั้ดแปรสตา์รซ์ด้วยรังสียูวี หลังจากพาสเจอไรซ์ 1 และ 8 สัปดาห์ มีความเป็นกรด-เบสไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 4.48 และ 4.50 ตามลำดับ และมีค่าสูงกว่าความเป็นกรด-เบสของก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคั้ดแปรสตา์รซ์ด้วยรังสียูวี หลังจากพาสเจอไรซ์ 1 วัน อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคั้ดแปรสตา์รซ์ด้วยรังสียูวี หลังจากพาสเจอไรซ์ 3 และ 7 สัปดาห์ มีความเป็นกรด-เบสสูงกว่าสภาวะอื่น คือ 4.61 และ 4.59 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าความเป็นกรด-เบสของก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคั้ดแปรสตา์รซ์ด้วยรังสียูวี หลังจากพาสเจอไรซ์ 1 วัน อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ส่วนก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคั้ดแปรสตา์รซ์ด้วยรังสียูวี หลังจากพาสเจอไรซ์ 5 สัปดาห์ มีความเป็นกรด-เบส 4.41 ซึ่งมีค่าสูงกว่าความเป็นกรด-เบสของก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคั้ดแปรสตา์รซ์ด้วยรังสียูวี หลังจากพาสเจอไรซ์ 1 วัน อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ก้วยเตี๋ยทอดหลังพาสเจอไรซ์ในช่วงเวลา 8 สัปดาห์ มีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 4.31-4.60 ก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคั้ดแปรสตา์รซ์ด้วยความร้อนร่ว้กับความร้อน หลังจากพาสเจอไรซ์ในช่วง 8 สัปดาห์ มีค่าความเป็นกรด-เบส 4.26-4.51 ก้วยเตี๋ยทอดแทนด้วยแป้งคั้ดแปรสตา์รซ์ด้วยรังสียูวี หลังจากพาสเจอไรซ์ในช่วง 8 สัปดาห์ มีค่าความเป็นกรด-เบส 4.32-4.61 ซึ่งจัดว่าก้วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์นี้เป็นอาหารประเภทอาหารที่มีความเป็นกรด คือมีความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 3.7-4.6

6.4 วอเตอร์แอคทิวิตี (water activity, a_w)

ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้บริโภค ค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของก้วยเตี๋ยวกติ ก้วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้ง คัดแปรรสด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และก้วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรรสด้วยรังสียูวี พาสเจอไรซ์เก็บรักษาในช่วง 8 สัปดาห์ แสดงผลในตารางที่ 27

ตารางที่ 27 วอเตอร์แอคทิวิตีของก้วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C ในช่วง 8 สัปดาห์

ระยะเวลา	วอเตอร์แอคทิวิตี (A_w) ¹		
	CN1	5%HMT120-5	5%UV45-7
1 วัน	0.94 ± 0.00 a	0.93 ± 0.00 cd	0.93 ± 0.01 bc
1 สัปดาห์	0.94 ± 0.00 a	0.92 ± 0.00 d	0.92 ± 0.01 c
3 สัปดาห์	0.94 ± 0.00 a	0.94 ± 0.00 a	0.94 ± 0.01 ab
5 สัปดาห์	0.94 ± 0.01 a	0.94 ± 0.01 ab	0.93 ± 0.00 bc
7 สัปดาห์	0.94 ± 0.00 a	0.93 ± 0.00 bc	0.94 ± 0.00 a
8 สัปดาห์	0.91 ± 0.01 b	0.94 ± 0.00 ab	0.93 ± 0.00 abc

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ก้วยเตี๋ยวกติหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี 0.94 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับก้วยเตี๋ยวกติหลังพาสเจอไรซ์ 1, 3, 5 และ 7 สัปดาห์ ที่มีวอเตอร์แอคทิวิตี 0.94, 0.94, 0.94 และ 0.94 ตามลำดับ แต่ก้วยเตี๋ยวกติหลังพาสเจอไรซ์ 8 สัปดาห์ มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี 0.91 ต่ำกว่าก้วยเตี๋ยวกติหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน ถึง 7 สัปดาห์ อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ก้วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรรสด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น หลังจากพาสเจอไรซ์ 1 วัน มีวอเตอร์แอคทิวิตี 0.93 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับก้วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรรสด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น หลังจากพาสเจอไรซ์ 1 และ 7 สัปดาห์ มีวอเตอร์แอคทิวิตี 0.92 และ 0.93 ตามลำดับ ส่วนก้วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรรสด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น หลังจากพาสเจอไรซ์ 3, 5 และ 8 สัปดาห์ มีวอเตอร์แอคทิวิตีไม่แตกต่างกัน

ทางสถิติ ($p>0.05$) เท่ากับ 0.94, 0.94 และ 0.94 ตามลำดับ แต่มีค่าสูงกว่าก๊วยเต๋ียวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น หลังจากพาสเจอไรซ์ 1 วันอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ก๊วยเต๋ียวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี หลังจากพาสเจอไรซ์ 1 วัน มีวอเตอร์แอกทิวิตี 0.93 ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับก๊วยเต๋ียวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี หลังจากพาสเจอไรซ์ 1, 3, 5 และ 8 สัปดาห์ ซึ่งมีค่า 0.92, 0.94, 0.93 และ 0.93 ตามลำดับ ส่วนก๊วยเต๋ียวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี หลังจากพาสเจอไรซ์ 7 สัปดาห์ มีวอเตอร์แอกทิวิตี 0.94 สูงกว่าก๊วยเต๋ียวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี หลังจากพาสเจอไรซ์ 1 วันอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

จากผลการทดลองข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าก๊วยเต๋ียวปกติหลังพาสเจอไรซ์ในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี 0.91-0.94 ก๊วยเต๋ียวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น หลังจากพาสเจอไรซ์ในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี 0.92-0.94 ก๊วยเต๋ียวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี หลังจากพาสเจอไรซ์ในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี 0.92-0.94

6.5 ความชื้น

ความชื้นของก๊วยเต๋ียวปกติ ก๊วยเต๋ียวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และก๊วยเต๋ียวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวีพาสเจอไรซ์ เก็บรักษาในช่วง 8 สัปดาห์ แสดงดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ความชื้นของก้วยเตี่ยวพาสเจอไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4⁰ซ ในช่วง 8 สัปดาห์

ระยะเวลา	ความชื้น (moisture content, %) ¹		
	CN1	5%HMT120-5	5%UV45-7
1 วัน	62.20 ± 0.61 ab	66.18 ± 3.89 a	62.83 ± 0.65 b
1 สัปดาห์	63.11 ± 0.97 a	63.5 ± 0.62 ab	63.14 ± 0.50 b
3 สัปดาห์	57.58 ± 0.74 b	59.27 ± 2.47 b	60.42 ± 4.33 c
5 สัปดาห์	62.08 ± 1.82 ab	63.07 ± 1.20 ab	66.38 ± 1.71 a
7 สัปดาห์	64.88 ± 3.41 a	64.81 ± 0.18 a	66.17 ± 0.01 a
8 สัปดาห์	62.26 ± 2.53 ab	58.52 ± 1.76 b	60.43 ± 0.59 c

หมายเหตุ ¹ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ จาก 2 ตัวอย่าง ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ก้วยเตี่ยวปกติหลังพาสเจอไรซ์ เก็บรักษานาน 1 วัน มีความชื้น 62.20 % ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับก้วยเตี่ยวปกติหลังพาสเจอไรซ์ 1, 3, 5, 7 และ 8 สัปดาห์ ที่มีค่าความชื้น 63.11, 57.58, 62.08, 64.88 และ 62.26 % ตามลำดับ

ก้วยเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นพาสเจอไรซ์ แล้วเก็บรักษานาน 1 วัน มีค่าความชื้น 66.18 % ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับก้วยเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นหลังพาสเจอไรซ์ 1, 5 และ 7 สัปดาห์ ที่มีค่าความชื้น 63.50, 63.07 และ 64.81 % ตามลำดับ ส่วนก้วยเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นหลังพาสเจอไรซ์ 3 และ 8 สัปดาห์ มีค่าความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เท่ากับ 59.27 และ 58.52 % ตามลำดับ แต่มีค่าต่ำกว่าความชื้นของก้วยเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นหลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ก้วยเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี พาสเจอไรซ์ เก็บรักษานาน 1 วัน มีความชื้น 62.83 % ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับก้วยเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี หลังพาสเจอไรซ์ 1 สัปดาห์ ซึ่งมีความชื้น 63.14 % ก้วยเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี หลังพาสเจอไรซ์ 3 และ 8 สัปดาห์ มีความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เท่ากับ

60.42 และ 60.43 % ตามลำดับ แต่ต่ำกว่าความชื้นของก้วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วย รังสียูวี หลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนก้วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้ง คัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี หลังพาสเจอไรซ์ 5 และ 7 สัปดาห์ มีความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เท่ากับ 66.38 และ 66.17 % ตามลำดับ แต่มีค่าสูงกว่าความชื้นของก้วยเตี๋ยทดแทนด้วย แป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี หลังพาสเจอไรซ์ 1 วัน อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองหาความชื้นของก้วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์ สามารถสรุปได้ว่า ก้วยเตี๋ย ปกติหลังพาสเจอไรซ์ ในช่วงระยะเวลา 8 สัปดาห์ มีความชื้นระหว่าง 57.58-64.88% ก้วยเตี๋ย ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นหลังพาสเจอไรซ์ ในช่วงระยะเวลา 8 สัปดาห์ มีความชื้นระหว่าง 58.52-66.18% และก้วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี หลังพาสเจอไรซ์ ในช่วงระยะเวลา 8 สัปดาห์ มีความชื้นระหว่าง 60.42-66.38%

6.6 ความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์

การวิเคราะห์ความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์ ในก้วยเตี๋ยปรุงรสพาสเจอไรซ์ ได้สุ่ม ตัวอย่างจำนวน 300 ก ตรวจวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ตามมาตรฐานอาหารปรุงสุกแล้วแช่เย็น ต้องอุ่นก่อนบริโภค ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ก่อนและหลังจาก พาสเจอไรซ์แล้ว 1 วัน และ 1, 3, 5, 7 และ 8 สัปดาห์ ได้ผลดังตารางที่ 29, 30 และ 31

6.6.1 ก้วยเตี๋ยปกติ

ก้วยเตี๋ยปกติพาสเจอไรซ์ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C ในช่วงระยะเวลา 8 สัปดาห์ มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ดังแสดงในตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์กัวยเตี่ยวปกติพาสเจอไรซ์ ในช่วงการเก็บรักษา 8 สัปดาห์

ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์	เกณฑ์มาตรฐาน	จุลินทรีย์ก่อนพาสเจอไรซ์	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์หลังพาสเจอไรซ์					
			1 วัน	1 สัปดาห์	3 สัปดาห์	5 สัปดาห์	7 สัปดาห์	8 สัปดาห์
จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/ก)	1×10^6	4.8×10^3	<10	2.4×10^5	$<2.5 \times 10^2$	<10	<10	<10
โคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/ก)	<500	3.0	<3	-	-	-	-	<3
อี. โคไล (เอ็มพีเอ็น/ก)	<3	<3	<3	-	-	-	-	<3
สตาฟีโลคอคคัส ออเรียส (โคโลนี/ก)	<100	<10	<10	-	-	-	-	<10
บาซิลลัส ซีเรียส (โคโลนี/ก)	<100	<10	<10	-	-	-	-	<10
กลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (โคโลนี/ก)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-	-	-	ไม่พบ
วibriโอ พาราบีโมไลติคัส (โคโลนี/ก)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-	-	-	ไม่พบ
ซัลโมเนลลา (โคโลนี/ก)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-	-	-	ไม่พบ

ก๊วยเตี่ยวปกติทั้งก่อน และหลังพาสเจอไรซ์มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยก่อนพาสเจอไรซ์ก๊วยเตี่ยวปกติปรุงรสมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.8×10^3 โคโลนี/ก หลังพาสเจอไรซ์แล้วมีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง <10 ถึง 2.4×10^5 โคโลนี/ก โคลิฟอร์ม <3 เอ็มพีเอ็น/ก อี. โคไล <3 เอ็มพีเอ็น/ก สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส <10 โคโลนี/ก บาซิลลัส ซีเรียส <10 โคโลนี/ก ไม่พบคลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ ไม่พบ vibrio พาราบีโมไลติคัส และไม่พบซัลโมเนลลา ซึ่งทั้งหมดนี้อยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานกำหนด

6.6.2 ก๊วยเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตารซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

ก๊วยเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตารซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5% พาสเจอไรซ์ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C ในช่วงระยะเวลา 8 สัปดาห์ มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ดังแสดงในตารางที่ 30

ก๊วยเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตารซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ทั้งก่อน และหลังพาสเจอไรซ์มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยก่อนพาสเจอไรซ์ก๊วยเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตารซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปรุงรสมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.5×10^4 โคโลนี/ก หลังพาสเจอไรซ์แล้วมีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง <10 ถึง $<2.5 \times 10^2$ โคโลนี/ก โคลิฟอร์ม <3 เอ็มพีเอ็น/ก อี. โคไล <3 เอ็มพีเอ็น/ก สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส <10 โคโลนี/ก บาซิลลัส ซีเรียส <10 โคโลนี/ก ไม่พบคลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ ไม่พบ vibrio พาราบีโมไลติคัส และไม่พบซัลโมเนลลา ซึ่งทั้งหมดนี้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 30 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์กัวยเต๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรรูด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นพาสเจอไรซ์ ในช่วงการเก็บรักษา 8 สัปดาห์

ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์	เกณฑ์มาตรฐาน	จุลินทรีย์ก่อนพาสเจอไรซ์	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์หลังพาสเจอไรซ์					
			1 วัน	1 สัปดาห์	3 สัปดาห์	5 สัปดาห์	7 สัปดาห์	8 สัปดาห์
จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/ก)	1×10^6	1.5×10^4	<10	$<2.5 \times 10^2$	<10	$<2.5 \times 10^2$	<10	<10
โคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/ก)	<500	3.6	<3	-	-	-	-	<3
อี. โคไล (เอ็มพีเอ็น/ก)	<3	<3	<3	-	-	-	-	<3
สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส (โคโลนี/ก)	<100	<10	<10	-	-	-	-	<10
บาซิลลัส ซีเรียส (โคโลนี/ก)	<100	<10	<10	-	-	-	-	<10
คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (โคโลนี/ก)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-	-	-	ไม่พบ
วibriโอ พาราบีโมไลติคัส (โคโลนี/ก)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-	-	-	ไม่พบ
ซัลโมเนลลา (โคโลนี/ก)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-	-	-	ไม่พบ

6.6.3 กว๊ายเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัคแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี

กว๊ายเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัคแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5% หลังจากพาสเจอไรซ์แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C ในช่วงระยะเวลา 8 สัปดาห์ มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ดังแสดงในตารางที่ 31

กว๊ายเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัคแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ทั้งก่อน และหลังพาสเจอไรซ์มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยก่อนพาสเจอไรซ์กว๊ายเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัคแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ปุรงรรมมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 3.2×10^3 โคโลนี/ก หลังพาสเจอไรซ์แล้วมีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง <10 ถึง $<2.5 \times 10^2$ โคโลนี/ก โคลิฟอร์ม <3 เอ็มพีเอ็น/ก อี. โคไล <3 เอ็มพีเอ็น/ก สตาฟีโลคอกคัส ออเรียส <10 โคโลนี/ก บาซิลลัส ซีเรียส <10 โคโลนี/ก ไม่พบคลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ ไม่พบ vibrio พาราบีโมไลติคัส และไม่พบซัลโมเนลลา ซึ่งทั้งหมดนี้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 31 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์กัวยเตี่ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรรสด้วยรังสียูวีพาสเจอไรซ์ ในช่วงการเก็บรักษา 8 สัปดาห์

ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์	เกณฑ์มาตรฐาน	จุลินทรีย์ก่อนพาสเจอไรซ์	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์หลังพาสเจอไรซ์					
			1 วัน	1 สัปดาห์	3 สัปดาห์	5 สัปดาห์	7 สัปดาห์	8 สัปดาห์
จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/ก)	1×10^6	3.2×10^3	<10	<10	<10	$<2.5 \times 10^2$	<10	<10
โคลิฟอร์ม (เอ็มพีเอ็น/ก)	<500	9.2	<3	-	-	-	-	<3
อี. โคไล (เอ็มพีเอ็น/ก)	<3	<3	<3	-	-	-	-	<3
สตาฟีโลคอคคัส ออเรียส (โคโลนี/ก)	<100	<10	<10	-	-	-	-	<10
บาซิลลัส ซีเรียส (โคโลนี/ก)	<100	<10	<10	-	-	-	-	<10
กลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (โคโลนี/ก)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-	-	-	ไม่พบ
วินรีโอ พาราบีโมไลติคัส (โคโลนี/ก)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-	-	-	ไม่พบ
ซัลโมเนลลา (โคโลนี/ก)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-	-	-	ไม่พบ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ผลการตัดแปรสตรัทซ์ในแป้งข้าวเจ้าชัณนาท 1 ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

การตัดแปรสตรัทซ์ในแป้งข้าวเจ้าชัณนาท 1 ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นในการทดลองนี้ ใช้อุณหภูมิในการตัดแปร 110 และ 120⁰ซ ระยะเวลา 1, 3 และ 5 ชม แล้วตรวจสอบสมบัติของแป้งข้าวเจ้าชัณนาท 1 ตัดแปรสตรัทซ์เทียบกับแป้งข้าวเจ้าชัณนาท 1 ปกติ เพื่อคัดเลือกแป้งตัดแปรสตรัทซ์ที่เหมาะสมในการแทนที่แป้งปกติเพื่อผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก สมบัติที่ใช้ตรวจสอบแป้งตัดแปรสตรัทซ์ ได้แก่ สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด กำลังการพองตัวและการละลาย ความเป็นผลิตภัณฑ์ การเกิดเจลลิตไนซ์ ขนาดและรูปร่างเม็ดสตรัทซ์ และสี

การตรวจสอบสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว ปรากฏว่า อุณหภูมิ และเวลาในการตัดแปรสตรัทซ์ในแป้งข้าวเจ้าด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืด การตัดแปรที่อุณหภูมิสูง 120⁰ซ ทำให้แป้งตัดแปรสตรัทซ์เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะความหนืดมากกว่าการตัดแปรที่อุณหภูมิต่ำกว่า (110⁰ซ) ระยะเวลาที่ใช้ตัดแปรที่นานขึ้น ส่งผลต่อค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด และความหนืดสุดท้าย ของการตัดแปรนาน 5 ชม > 3ชม > 1 ชม แป้งตัดแปรสตรัทซ์ด้วยวิธีนี้มีค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด 83.3-91.6⁰ซ สูงกว่าแป้งข้าวชัณนาท 1 ปกติ (80.8⁰ซ) อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนความหนืดสูงสุด (136.5-286.4 อาร์วียู) ความหนืดลดลง (7.7-38.8 อาร์วียู) และเซตแบค (19.2-158.6 อาร์วียู) มีค่าน้อยกว่าแป้งข้าวปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 317.2, 81.8 และ 179.0 อาร์วียู ตามลำดับ

การตรวจสอบกำลังการพองตัว และการละลาย ปรากฏว่า ที่อุณหภูมิ 90⁰ซ แป้งตัดแปรสตรัทซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นทุกสภาวะการทดลองมีกำลังการพองตัวระหว่าง 8.9-9.9 ก/ก น้อยกว่ากำลังการพองตัวของแป้งปกติ (13.1 ก/ก) และมีเปอร์เซ็นต์การละลายระหว่าง 4.5-5.6% ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งปกติ (4.2%)

เมื่อพิจารณาสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงความหนืด กำลังการพองตัว และการละลายควบคู่กัน ปรากฏว่า การใช้อุณหภูมิ 120°C เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการดัดแปรที่ 110°C จึงได้คัดเลือกสภาวะการดัดแปรที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1, 3 และ 5 ชม มาตรวจสอบความเป็นผลึกสัมพัทธ์ และอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีไนซ์ ผลปรากฏว่า แป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°C นาน 5 ชม มีความเป็นผลึกสัมพัทธ์ต่ำที่สุดคือ 21.84% ซึ่งต่ำกว่าแป้งปกติ (24.39%) และมีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีไนซ์ $84.1-90.6^{\circ}\text{C}$ สูงกว่าแป้งปกติ ($72.2-82.5^{\circ}\text{C}$) อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนพลังงานเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตีไนซ์ 10.7 จูล/ก น้อยกว่าแป้งปกติ (15.0 จูล/ก) อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงถึงการดัดแปรแป้งด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นไปเปลี่ยนลักษณะโครงสร้างผลึกของสตาร์ช และ/หรือเปลี่ยนโครงสร้างองค์ประกอบอื่นๆ เช่น โปรตีน ไขมัน เป็นต้น ทำให้ตรวจวัดค่าความเป็นผลึกสัมพัทธ์ และพลังงานเอนทัลปีได้น้อยลง แต่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลให้แป้งดัดแปรสตาร์ชมีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีไนซ์สูงขึ้น แสดงถึงความทนต่อความร้อนมากขึ้น

เมล็ดสตาร์ชของแป้งข้าวชัยนาท 1 ปกติมีรูปร่างหลายเหลี่ยม ขนาด 3.6-7.1 ไมโครเมตร หลังจากดัดแปร พบว่า แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120°C นาน 5 ชม ยังคงมีรูปร่างเมล็ดสตาร์ชไม่แตกต่างจากเมล็ดสตาร์ชของแป้งปกติ เพียงแต่มีความเป็นเหลี่ยม น้อยลง ขนาดใหญ่ขึ้น คือ 4.1-8.5 ไมโครเมตร และมีรอยที่ผิวเมล็ดสตาร์ช ซึ่งคาดว่ามิสาเหตุจากสภาวะการดัดแปรไปทำลายผิวเมล็ดสตาร์ชบางส่วน

แป้งปกติ และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น มีค่าความสว่าง (L^*) ไม่แตกต่างกัน แต่ระยะเวลาการดัดแปรที่นานขึ้นทำให้แป้งดัดแปรสตาร์ชมีค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มากขึ้น โดยแป้งดัดแปรสตาร์ชที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 5 ชม มีค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองอยู่ในช่วง 1.2 และ 6.6 ตามลำดับ ในขณะที่แป้งปกติมีค่าน้อยกว่า คือ 0.0 และ 2.8 ตามลำดับ สีของแป้งหลังการดัดแปรเปลี่ยนไป อาจเป็นเพราะสภาวะการดัดแปรที่ใช้อุณหภูมิสูง สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ระหว่างน้ำตาลรีดิวซิงจากสตาร์ชที่โดนความร้อนสูง กับหมู่เอมิโนจากโปรตีนในแป้ง

จากผลการเปลี่ยนแปลงความหนืด ความเป็นผลึกสัมพัทธ์ อุณหภูมิและเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตีไนซ์ ที่ปรากฏว่าสภาวะการดัดแปรแป้งข้าวเจ้าชัยนาท 1 ที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 5 ชม ทำให้สมบัติของแป้งดัดแปรสตาร์ชเปลี่ยนแปลงมากที่สุด จึงคัดเลือกสภาวะนี้เป็นตัวแทนของ

แป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นเพื่อนำไปทดแทนแป้งข้าวเจ้าชัณนาท 1 ปกติในการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก

2. ผลการคัดแปรสตาซ์ในแป้งข้าวเจ้าชัณนาท 1 ด้วยรังสียูวี

การคัดแปรสตาซ์ในแป้งข้าวเจ้าชัณนาท 1 ด้วยรังสียูวีในการทดลองนี้ ใช้สภาวะในการคัดแปรคือ ระดับความชื้นของแป้ง 25 และ 45% ฉายรังสียูวีระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม แล้วตรวจสอบสมบัติของแป้งข้าวเจ้าชัณนาท 1 คัดแปรสตาซ์เทียบกับแป้งข้าวเจ้าชัณนาท 1 ปกติ เพื่อคัดเลือกแป้งคัดแปรสตาซ์ที่เหมาะสมในการแทนที่แป้งปกติเพื่อผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก สมบัติที่ใช้ตรวจสอบแป้งคัดแปรสตาซ์ ได้แก่ สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด กำลังการพองตัวและการละลาย ความเป็นผลึกสัมพัทธ์ การเกิดเจลลาทีไนซ์ ขนาดและรูปร่างเม็ดสตาซ์ และสี

การตรวจสอบสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว ปรากฏว่า แป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวีมีค่าความหนืดสูงสุด (267.5-291.9 อาร์วียู) ความหนืดลดลง (31.2-38.3 อาร์วียู) ความหนืดสุดท้าย (299.5-340.0 อาร์วียู) และเซตแบค (56.4-85.0 อาร์วียู) น้อยกว่าแป้งปกติอย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีความหนืด 317.2, 81.8, 414.3 และ 179.0 อาร์วียู ตามลำดับ และมีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (82.9-85.3⁰ซ) สูงกว่าแป้งปกติ (80.8⁰ซ) อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดของแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ที่ปรับความชื้นแป้งก่อนคัดแปรเป็น 25 และ 45% ผลปรากฏว่า แป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ที่ปรับความชื้นแป้งก่อนคัดแปรเป็น 45% มีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดสูงสุดมากกว่าแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ที่ปรับความชื้นแป้งก่อนคัดแปรเป็น 25% โดยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ที่ปรับความชื้นแป้งก่อนคัดแปรเป็น 45% ฉายรังสียูวี 9 ชม มีค่าความหนืดสูงสุดน้อยที่สุดเท่ากับ 267.5 อาร์วียู

การวิเคราะห์กำลังการพองตัว และการละลาย ปรากฏว่า ที่อุณหภูมิ 90⁰ซ แป้งคัดแปรสตาซ์ที่ปรับความชื้น 45% ฉายรังสียูวี 7 และ 9 ชม มีกำลังการพองตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) มีค่าระหว่าง 12.4-12.6 ก/ก และมีกำลังการพองตัวน้อยกว่าแป้งปกติ (13.1 ก/ก) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลการละลายปรากฏว่า แป้งคัดแปรสตาซ์ที่ปรับความชื้น 45% ฉายรังสียูวี 7 ชม มีค่าการละลาย 4.2% ซึ่งน้อยกว่าการละลายของแป้งคัดแปรสตาซ์ที่ปรับความชื้น 45% ฉายรังสียูวี 9 ชม (5.1%) อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงความหนืด กำลังการพองตัว และการละลายควบคู่กัน ปรากฏว่า การใช้สภาวะการตัดแปรโดยปรับความชื้นแ่งเป็น 45% เกิดการเปลี่ยนแปลงชัดเจนกว่าสภาวะการตัดแปรที่ปรับความชื้นแ่งเป็น 25% จึงได้คัดเลือกสภาวะการตัดแปรที่ปรับความชื้นแ่งเป็น 45% นายรังสิยวิบีเป็นระยะเวลา 3, 5, 7 และ 9 ชม มาตรวจสอบความเป็นผลึกสัมพัทธ์ และอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีไนซ์ ผลปรากฏว่า แ่งปกติ และแ่งตัดแปรสตาร์ชด้วยรังสิยวิบีมีความเป็นผลึกสัมพัทธ์ (23.0-24.39%) อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลิตีไนซ์ (72.1-73.1⁰ซ) และเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตีไนซ์ (13.5-15.0 จูล/ก) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงถึงการตัดแปรแ่งข้าวชัชนาท 1 ด้วยรังสิยวิบีไม่เปลี่ยนโครงสร้างผลึกของสตาร์ช และไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิการเกิดเจลลิตีไนซ์ นอกจากนี้ การตัดแปรสตาร์ชในแ่งด้วยรังสิยวิบี ที่ระดับความชื้นแ่ง 45% นาน 9 ชม ไม่เปลี่ยนรูปร่างลักษณะของเม็ดสตาร์ช ซึ่งยังคงมีขนาดใกล้เคียง (3.3-7.8 ไมโครเมตร) กับเม็ดสตาร์ชของแ่งปกติ (3.6-7.1 ไมโครเมตร)

แ่งตัดแปรสตาร์ชด้วยรังสิยวิบีมีค่าความสว่าง (L^*) 97.5-97.7 มากกว่าแ่งปกติ (96.4) มีค่าความเป็นสีแดง หรือสีเขียว (a^*) ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับแ่งปกติ และมีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มากกว่าแ่งปกติ โดยค่าความเป็นสีเหลืองของแ่งตัดแปรสตาร์ช ที่ปรับความชื้นแ่งเป็น 45% (3.6-3.7) > 25% (3.4-3.5) > แ่งปกติ (2.8) แสดงว่าหลังการตัดแปรด้วยรังสิยวิบี แ่งจะมีความสว่าง และมีสีเหลืองขึ้น

แ่งตัดแปรสตาร์ชด้วยรังสิยวิบีที่ปรับความชื้นแ่งเป็น 45% เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดมากกว่าการปรับความชื้นแ่งเป็น 25% และกำลังการพองตัวของแ่งตัดแปรสตาร์ชด้วยรังสิยวิบีที่ปรับความชื้นแ่งเป็น 45% นายรังสิยวินาน 7 ชม มีกำลังการพองตัวน้อย และการละลายน้อยกว่าแ่งตัดแปรสตาร์ชด้วยรังสิยวิบีที่ปรับความชื้นแ่งเป็น 45% นายรังสิยวินาน 9 ชม จึงคัดเลือกแ่งตัดแปรสตาร์ชด้วยรังสิยวิบีที่ปรับความชื้นแ่งเป็น 45% นายรังสิยวินาน 7 ชม เป็นตัวแทนของแ่งตัดแปรสตาร์ชด้วยรังสิยวิบีเพื่อนำไปทดแทนแ่งข้าวเจ้าชัชนาท 1 ในการผลิตก๊วยเตี๋ยวเส้นเล็กต่อไป

3. ผลการตรวจสอบสมบัติทางเคมี

จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีฟิสิกส์ และฟิสิกส์ของแ่งตัดแปรสตาร์ช ที่ได้คัดเลือกแ่งตัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120⁰ซ นาน 5 ชม และแ่งตัดแปรสตาร์ชด้วยรังสิยวิบี ที่ระดับความชื้น 45% นาน 7 ชม เป็นตัวแทนของแ่งตัดแปรสตาร์ชแต่ละวิธี เพื่อนำมา

วิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมี ผลปรากฏว่า ทั้งแป้งปกติ แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120⁰ซ นาน 5 ชม และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% นาน 7 ชม มีปริมาณโปรตีน เกล็ด และแอมิโลส ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 7.29-7.44, 0.23 และ 36.79-39.0% ตามลำดับ ส่วนปริมาณไขมันของแป้งปกติ และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120⁰ซ นาน 5 ชม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เท่ากับ 0.20 และ 0.21% ตามลำดับ แต่แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% นาน 7 ชม มีปริมาณไขมันสูงที่สุด เท่ากับ 0.48%

4. ผลการตรวจสอบน้ำแป้ง และเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อคัดเลือกสูตรสำหรับการพาสเจอไรซ์

การทดแทนแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ที่อุณหภูมิ 120⁰ซ นาน 5 ชม ปริมาณ 5-20% ทำให้น้ำแป้งมีความหนืดมากขึ้น โดยความหนืดน้ำแป้งจากการทดแทนในปริมาณ 20% (438.5 เซนติปัวร์) > 10% (347.5 เซนติปัวร์) > 5% (275.0 เซนติปัวร์) จากเดิมแป้งปกติมีความหนืดเพียง 94.8 เซนติปัวร์ แม้ว่าความหนืดของน้ำแป้งที่ทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นจะเพิ่มขึ้นมาก และยากต่อการเทน้ำแป้ง แต่เส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 5-20% ยังคงมีความหนาไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับเส้นก๋วยเตี๋ยวชัณนาท 1 อบแห้ง โดยมีความหนาเส้น 0.075-0.087 ซม

การทดแทนแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี ที่ระดับความชื้น 45% ระยะเวลา 7 ชม ปริมาณ 5-20% น้ำแป้งมีความหนืดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 233.0-256.5 เซนติปัวร์ แต่มีความหนืดสูงกว่าน้ำแป้งปกติ (94.8 เซนติปัวร์) อย่างแตกต่างทางสถิติ ($p\leq 0.05$) น้ำแป้งที่ทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีปริมาณ 5-20% ยังคงเทน้ำแป้งให้กระจายตัวได้ง่ายไม่ต่างกับน้ำแป้งปกติ และเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีปริมาณ 5-20% ยังคงมีความหนาไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับเส้นก๋วยเตี๋ยวชัณนาท 1 อบแห้ง โดยมีความหนาของเส้น 0.75-0.84 ซม

5. ผลการผลิตก้วยเตี๋ยเส้นเล็กพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวปิดสนิท

5.1 ผลของเวลารวมทั้งหมดในการพาสเจอไรซ์เส้นก้วยเตี๋ย

การพาสเจอไรซ์ก้วยเตี๋ยปรุงรสในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวปิดสนิท ใช้อุณหภูมิพาสเจอไรซ์ 90°C นาน 1D value ของ *Bacillus cereus* หรือ 5 นาที คำนวณผลรวมค่า F value ได้ 13.94 จากนั้น จึงตรวจสอบเนื้อสัมผัส และทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นก้วยเตี๋ยทั้งก่อนและหลังพาสเจอไรซ์

5.2 การตรวจสอบสมบัติของก้วยเตี๋ย

5.2.1 ก้วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

หลังจากการพาสเจอไรซ์ ก้วยเตี๋ยที่ทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 5 และ 10% มีแรงสูงสุดมากกว่าก้วยเตี๋ยชนิดอื่น เท่ากับ 122.8 และ 120.8 ก ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ก้วยเตี๋ยปกติ และก้วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นหลังพาสเจอไรซ์ มีคะแนนความเข้มข้นความกระด้าง และความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คืออยู่ในช่วง 3.5-3.8 และ 7.5-8.3 ตามลำดับ แต่ก้วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชปริมาณ 5% มีคะแนนความเข้มข้นความแน่นเนื้อมากที่สุด เท่ากับ 10.8

เนื่องจากก้วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชปริมาณ 5% หลังพาสเจอไรซ์ มีคะแนนความเข้มข้นความแน่นเนื้อมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าแรงสูงสุดจากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ที่มีค่ามากกว่าก้วยเตี๋ยปกติเช่นเดียวกัน จึงเลือกก้วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชปริมาณ 5% เป็นตัวแทนของก้วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น เพื่อทดลองเรื่องการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ก้วยเตี๋ยปรุงรสพาสเจอไรซ์ต่อไป

5.2.2 กว๊ายเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคั๊ดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี

หลังจากการพาสเจอไรซ์ ทั้งกว๊ายเตี๋ยปกติ และกว๊ายเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคั๊ดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวีปริมาณ 5, 10 และ 20% มีแรงสูงสุดที่ใช้ในการตัด (94.9-103.8 ก) และมีคะแนนความแข็งด้านความกระด้าง (3.3-3.8) ความยืดหยุ่น (7.3-7.9) และความแน่นเนื้อ (8.0-8.4) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ดังนั้น เมื่อพิจารณาทั้งผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส และผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของกว๊ายเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคั๊ดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวีปริมาณ 5-20% หลังจากพาสเจอไรซ์ ที่ปรากฏผลไม่แตกต่างกับกว๊ายเตี๋ยปกติ จึงได้เลือกกว๊ายเตี๋ยที่แทนที่ด้วยแป้งคั๊ดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวีปริมาณน้อยที่สุด คือ 5% เป็นตัวแทนของกว๊ายเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคั๊ดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระหว่างการรักษาผลิตภัณฑ์กว๊ายเตี๋ยปรุงรสหลังพาสเจอไรซ์ในเรื่องต่อไป

5.3 ผลการตรวจสอบลักษณะเนื้อกว๊ายเตี๋ยคั้นรูป

นำกว๊ายเตี๋ยอบแห้งคั้นรูปด้วยการแช่น้ำ 10 นาที ลวก 15 วินาที แล้วทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze drying) เพื่อดูเนื้อเส้นกว๊ายเตี๋ย ผลปรากฏว่า กว๊ายเตี๋ยชัชนาท 1 ปกติมีโพรงทั้งด้านนอก และกลางเส้น แต่กว๊ายเตี๋ยเส้นเล็กที่ทดแทนด้วยแป้งคั๊ดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และทดแทนด้วยแป้งคั๊ดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี จะพบส่วนเนื้อเจลที่เป็นโพรงอยู่ด้านนอก ส่วนบริเวณกึ่งกลางเส้นกว๊ายเตี๋ยมีบางส่วนที่เป็นเนื้อเรียบ แสดงถึงการเกิดเจลลาตินซ์ที่ไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะกว๊ายเตี๋ยที่ทดแทนด้วยแป้งคั๊ดแปรสตาซ์ปริมาณมากที่สุดคือ 20% มีบริเวณเนื้อเรียบกว้างที่สุด

6. ผลการเปลี่ยนแปลงระหว่างการรักษาผลิตภัณฑ์กว๊ายเตี๋ยปรุงรส

การทดลองนี้เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของกว๊ายเตี๋ยปรุงรสพาสเจอไรซ์ระหว่างการเก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 4⁰ซ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ กว๊ายเตี๋ยที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ กว๊ายเตี๋ยจากแป้งข้าวเจ้าชัชนาท 1 ปกติ และกว๊ายเตี๋ยที่เป็นตัวแทนของกว๊ายเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคั๊ดแปรสตาซ์แต่ละวิธี คือ กว๊ายเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคั๊ดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 5% และกว๊ายเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคั๊ดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวีปริมาณ 5% โดยสุ่ม

วิเคราะห์ก๊วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์แต่ละชนิดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 วัน และ 1, 3, 5, 7 และ 8 สัปดาห์ มาวิเคราะห์เนื้อสัมผัส สมบัติทางประสาทสัมผัส ความเป็นกรด-เบส วอเตอร์แอกทิวิตี ความชื้น และความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์

6.1 เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ก๊วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวชัณนาท 1 ปกติ ก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 5% และก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีปริมาณ 5% มีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้นตามระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้น

ก๊วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวชัณนาท 1 ปกติที่เก็บรักษานาน 7 และ 8 สัปดาห์ มีแรงสูงสุด 127.1 และ 130.1 ก ตามลำดับ มากกว่าก๊วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวชัณนาท 1 ปกติที่เก็บรักษาไว้น้อยกว่า 7 สัปดาห์

ก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 5% ที่เก็บรักษานาน 5-8 สัปดาห์ มีเนื้อสัมผัสที่แน่นแข็งกว่าก๊วยเตี๋ยวชนิดเดียวกันที่เก็บรักษานานน้อยกว่า 5 สัปดาห์ โดยก๊วยเตี๋ยวที่เก็บรักษานาน 5-8 สัปดาห์ มีแรงสูงสุด (111.8-119.5 ก) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ก๊วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวีปริมาณ 5% ที่เก็บรักษานาน 7 สัปดาห์ มีเนื้อสัมผัสที่แน่นแข็งที่สุดเมื่อเทียบกับก๊วยเตี๋ยวชนิดเดียวกันที่เก็บรักษาในช่วงเวลา 8 สัปดาห์ โดยก๊วยเตี๋ยวที่เก็บรักษานาน 7 สัปดาห์ มีแรงสูงสุด 134.0 ก

6.2 สมบัติทางประสาทสัมผัส

คะแนนความเข้มข้นด้านความกระด้างของก๊วยเตี๋ยวพาสเจอไรซ์ เก็บรักษาในช่วงระยะเวลา 8 สัปดาห์ มีคะแนนมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้น

คะแนนความเข้มข้นในด้านความกระด้าง และความแน่นเนื้อของก๊วยเตี๋ยวชัณนาท 1 ปกติ พาสเจอไรซ์ ที่เก็บรักษาเวลา 3-8 สัปดาห์ มีคะแนนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 7.6-

8.9 และ 9.9-10.6 ตามลำดับ และคะแนนความเข้มด้านความยืดหยุ่นของก๊วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์ที่เก็บรักษาไว้ในช่วง 8 สัปดาห์ มีคะแนนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 8.7-10.1

ก๊วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคัดแปรรสด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นปริมาณ 5% หลังพาสเจอไรซ์ที่เก็บรักษาไว้ 8 สัปดาห์ มีคะแนนความเข้มด้านความกระด้าง และความแน่นเนื้อมากที่สุด เท่ากับ 11.3 และ 11.2 ตามลำดับ ส่วนคะแนนความเข้มด้านความยืดหยุ่นของก๊วยเตี๋ยหลังพาสเจอไรซ์ที่เก็บรักษาในช่วง 8 สัปดาห์ มีคะแนน (8.8-9.8) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ก๊วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคัดแปรรสด้วยรังสียูวีปริมาณ 5% พาสเจอไรซ์เก็บรักษาในช่วง 8 สัปดาห์ มีคะแนนความเข้มด้านความกระด้าง และความแน่นเนื้อมากขึ้น และความเข้มด้านความยืดหยุ่นน้อยลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ความเข้มด้านความยืดหยุ่นของก๊วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์เก็บรักษาไว้นาน 1 วัน ถึง 5 สัปดาห์ มีคะแนนความเข้มด้านความยืดหยุ่น (9.5-10.2) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เมื่อเก็บไว้นานถึง 8 สัปดาห์ ก๊วยเตี๋ยได้คะแนนความเข้มด้านความยืดหยุ่นน้อยลง คือ 8.5

6.3 ความเป็นกรด-เบส วอเตอร์แอกทิวิตี และความชื้น

ก๊วยเตี๋ยปกติ ก๊วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคัดแปรรสด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น 5% และก๊วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคัดแปรรสด้วยรังสียูวี 5% หลังพาสเจอไรซ์ในช่วงระยะเวลาเก็บรักษา 8 สัปดาห์ มีความเป็นกรด-เบส 4.31-4.60, 4.26-4.51 และ 4.32-4.61 ตามลำดับ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี 0.91-0.94, 0.92-0.94 และ 0.92-0.94 ตามลำดับ และความชื้น 57.58-64.88, 58.52-66.18 และ 60.42-66.38% ตามลำดับ

6.4 ความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์

ทั้งก๊วยเตี๋ยปกติ ก๊วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคัดแปรรสด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น 5% และก๊วยเตี๋ยทดแทนด้วยแป้งคัดแปรรสด้วยรังสียูวี 5% หลังพาสเจอไรซ์ในช่วงระยะเวลาเก็บรักษา 8 สัปดาห์ มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แสดงถึงความปลอดภัยต่อการบริโภคก๊วยเตี๋ยพาสเจอไรซ์ในช่วงระยะเวลาดังกล่าว

ข้อเสนอแนะ

1. การตรวจสอบสมบัติของแป้งข้าวชัณนาท 1 คัดแปรสตาร์ชในงานวิจัยนี้ สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังการคัดแปรได้ระดับหนึ่ง หากมีการทำงานวิจัยต่อเนื่องเพื่อวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลสตาร์ชในแป้งคัดแปร และองค์ประกอบอื่นๆ เช่น โปรตีน และไขมัน จะทำให้สามารถอธิบายผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแป้งคัดแปรสตาร์ชได้ชัดเจนขึ้น
2. งานวิจัยนี้ใช้อุณหภูมิการพาสเจอไรซ์ก๋วยเตี๋ยวปรุงรส 90°ซ 5 นาที เส้นก๋วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์มีคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และปลอดภัยต่อการบริโภคในระยะเวลา 8 สัปดาห์ หากต้องการให้เส้นก๋วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์มีเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น อาจใช้อุณหภูมิการพาสเจอไรซ์ที่ต่ำกว่า 90°ซ โดยสามารถอ้างอิงการคำนวณสถานะที่ใช้พาสเจอไรซ์จากค่า F value จากงานวิจัยนี้ หรืออาจใช้อุณหภูมิการพาสเจอไรซ์เท่าเดิม แต่ลดเวลาลงได้
3. ก๋วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์ในการทดลองนี้เส้นก๋วยเต๋วยมีเนื้อสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ แต่เครื่องอื่นๆ เช่น หมูสับ และลูกชิ้น มีเนื้อสัมผัสที่กระด้างจึงควรพัฒนาต่อไป
4. เนื่องจากก๋วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์ในการทดลองนี้มีค่าความเป็นกรด-เบสต่ำ ประกอบกับการพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิสูง จึงสามารถเก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 4°ซ ได้อย่างน้อย 2 เดือน และยังคงมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอาหารปรุงสุกที่ต้องอุ่นก่อนบริโภค จึงน่าจะมีการวิจัยต่อเนื่องเรื่องการรักษา ก๋วยเตี๋ยวปรุงรสพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิห้องเพื่อความสะดวกต่อการเก็บรักษา และการบริโภคต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กระทรวงพาณิชย์. 2548. การค้าระหว่างประเทศ. การส่งออก. แหล่งที่มา:

<http://www.ops2.moc.go.th/meeting/bb.xls>, ตุลาคม 2548.

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2549. อาหารปรุงสุกแล้วแช่เย็นหรือแช่แข็งต้องอุ่นก่อนบริโภค.

เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาสำหรับอาหารทั่วไปที่มีใช้อาหารควบคุมเฉพาะ

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. แหล่งที่มา:

<http://www.dmsc.moph.go.th/webroot/BQSF/File/varity/cheme/confict23.htm>, 22

มกราคม 2549.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี. 2541. ข้าวที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปกล้วยเตี๋ยและการตรวจสอบคุณภาพ,

น. 14-32. ใน เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรม เรื่อง การพัฒนา

และยกระดับอุตสาหกรรมกล้วยเตี๋ยและขนมจีนโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด ณ

โรงแรมมารวยการ์เด็น ถ.พหลโยธิน กรุงเทพฯ วันที่ 26-28 มีนาคม 2541. สถาบัน

สิ่งแวดล้อมไทย และโครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมไทย.

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. ธรรมชาติและพืชหัว. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เนตรนภิส วัฒนสุชาติ. 2546. คลื่นรังสีวิทยามีประโยชน์ต่อเทคโนโลยีอาหารอย่างไร. อาหาร

33(1): 15-22.

นัทธยา จะเรียบพันธุ์. 2530. การเสริมโปรตีนในเส้นกล้วยเตี๋ยด้วยแป้งลั่วเหลืองสกัดไขมัน.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิมพ์พิชญ์ รัชฎาภากรณ. 2547. การตัดแปรแป้งข้าวโดยการใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิมพ์เพ็ญ ธีรพร. 2533. ผลของการใช้แป้งมันสำปะหลังผสมแป้งข้าวเจ้าต่อคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยว.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พลก ไพพงษ์. 2549. การตัดแปรแป้งข้าวเหนียวด้วยรังสีไมโครเวฟ เพื่อใช้ในก๋วยเตี๋ยวผัดไทยแช่

เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____ และ อรอนงค์ นัชวิกุล. 2548. การตัดแปรแป้งข้าวเหนียวทางฟิสิกส์ด้วยความร้อน

ร่วมกับความชื้น, น. 395-401. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ยุทธนา พิมพ์ศิริผล. 2545. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมัน

เทศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า.

มอก. 638-2529.

เส้นทางสุขภาพ. 2550. ก๋วยเตี๋ยวสุขภาพ. เมนูสุขภาพ. แหล่งที่มา:

<http://www.yourhealthyguide.com>, 20 พฤษภาคม 2550.

วิภา สุโรจนะเมธากุล. 2541. คุณสมบัติของข้าวและการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการผลิต

ก๋วยเตี๋ยวและเส้นหมี่, น.33-51. ใน เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรม

เรื่อง การพัฒนาและยกระดับอุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวและขนมจีนโดยใช้เทคโนโลยี

สะอาด ณ โรงแรมมารวยการ์เด็น ถ.พหลโยธิน กรุงเทพฯ วันที่ 26-28 มีนาคม

2541. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย และโครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีสะอาดใน

อุตสาหกรรมไทย.

วราวุฒิ คุรุส่วง. 2538. จุลชีววิทยาในกระบวนการแปรรูปอาหาร. ครั้งที่ 1. โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ.

วิไล รังสาดทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. ครั้งที่ 2. บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.

เสนอ ร่วมจิต. 2522. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของข้าวเจ้าพันธุ์ต่างๆที่มีผลต่อลักษณะของเส้นก๋วยเตี๋ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมฤดี วิบูลพัฒนะวงศ์. 2540. การผลิตเครื่องดื่มนมเลียนแบบนมจากปลายข้าวเจ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรพรรณ กัลปนายุทธ. 2547. การปรับปรุงคุณภาพก๋วยเตี๋ยวพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทผ่านกระบวนการพาสเจอไรเซชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

AACC. 2000. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists 10th**. Method 61-02. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.

Adebowale, K.O and O.S. Lawal. 2003. Microstructure, physicochemical properties and retrogradation behavior of Mucuna Bean (*Mucuna pruriens*) starch on heat moisture treatments. **Food Hydrocolloids** 17: 265-272.

_____, T.A. Afolabi and B.I. Olu-Owolabi. 2005a. Hydrothermal treatments of Finger Millet (*Eleusine coracana*) starch. **Food Hydrocolloids** 19(6): 974-983.

- _____, B.I. Olu-Owolabi, E.K. Olawumi and O.S. Lawal. 2005b. Functional properties of native, physically and chemically modified breadfruit (*Artocarpus artilis*) starch. **Industrial Crops and Products** 21: 343-351.
- Anderson, A.K. and H.S. Guraya. 2006. Effects of microwave heat-moisture treatment on properties of waxy and non-waxy rice starches. **Food Chemistry** 97: 318-323.
- _____, _____, C. James and L. Salvaggio. 2002. Digestibility and pasting properties of rice starch heat-moisture treated at the melting temperature. **Starch/Stärke** 54: 401-409.
- Bertolini, A.C., C. Mestres and P. Colonna. 2000. Rheological properties of acidified and UV-irradiated starches. **Starch/Stärke** 52: 340-344.
- _____, _____, _____ and J. Raffi. 2001. Free radicle formation in UV- and Gamma-Irradiated cassava starch. **Carbohydrate Polymers** 44: 269-271.
- Collado, L.S., L.B. Mabesa, C.G. Oates and H. Corke. 2001. Bihon-type noodles from heat-moisture treated sweet potato starch. **J. Food Sci.** 66(4): 604-609.
- Chewangkul L., O. Naivikul, W. Garnjanagoonchorn, C.G. Oates, K. Siroth and T. Suwonsichon. 2001. Microstructure changes in instant noodles during production via triple staining and confocal laser scanning microscopy and scanning electron microscopy. **Kasetsart J. (Nat. Sci.)** 35: 311-317.
- Christiansson, A. 2006. CRAN-Company Risk Assessment Network: A Tool for Improving Food Safety. **Nordic Innovation Centre Newsletter** Issue no. 2. Available Source: http://www.sik.se/cran/Nyhetsblad/CRAN_nyhetsblad_2.pdf, February 11, 2007.
- Dahl, M.K. 1999. Bacillus, pp. 113-661. In R.K. Robinson, ed. **Encyclopedia of Food Microbiology**. Academic press, New York.

- Delville, J., C. Joly, P. Dole, and C. Bliard. 2002. Solid state photocrosslinked starch based films: a new family of homogeneous modified starches. **Carbohydrate Polymers** 49: 71-81.
- _____, _____, _____, and _____. 2003. Influence of photocrosslinking on the retrogradation of wheat starch based films. **Carbohydrate Polymers** 53: 373-381.
- Eliasson, A.C. and M. Gudmundsson. 1996. Starch: physicochemical and function aspects, pp. 431-503. *In* A.C. Eliasson, ed. **Carbohydrates in Food**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Everyday mysteries. 2005. **Why does Ultraviolet Light Cause Color to Fade?**. Available source: <http://www.loc.gov/rr/scitech/mysteries/colors.html>, September, 2005.
- Fiedorowicz, M., P. Tomasik, S. You and S.-T., Lim. 1999. Molecular distribution and pasting properties of UV-irradiated corn starches. **Starch/Stärke** 51(4): 126-131.
- Fitzgerald M. 2004. Starch, pp. 109-141. *In* E.T. Champagne, ed. **Rice: Chemistry and Technology**. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, U.S.A.
- Gunaratne, A. and R. Hoover. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. **Carbohydrate Polymers** 49: 425-437.
- Hamaker, B.R. 1994. The influence of rice protein on rice quality, pp. 177-193. *In* W.E. Maeshall and J.I. Wadsworth, ed. **Rice science and technology**. Marcel Dekker, Inc., New York, U.S.A..
- _____ and V.K. Griffin. 1993. Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting. **Cereal Chem** 70 (4): 377-380.

- Hibi, Y. 1994. Effect of lipids on the viscoelastic properties of rice starch gel. **Starch/Starke** 46 (2): 44-47.
- Hoover, R. and H. Manuel. 1997. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of legume starches. **Food Research International** 29 (8): 731-750.
- Ito, Y., H. Akihiro and T. Kenichi. 1996. **Method for Manufacturing Packed Wet-Type Instant Noodles**. U.S. Patent 5,534,273. Irie, K., A.K. Horigane, S. Naito, H. Motoi and M. Yoshida. 2004. Moisture distribution and texture of various types of cooked spaghetti. **Cereal Chem.** 81(3): 350-355.
- Jacobs, H. and J.A. Delcour. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46 (8): 2895-2905. *Cited* A. Kawabata, N. Takase, E. Miyoshi, S. Sawayama, T. Kimura and K. Kudo. 1994. Microscopic observation and X-ray diffractometry of heat/moisture-treated starch granules. **Starch** 46:463-469.
- _____ and _____. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46 (8): 2895-2905. *Cited* F. Schierbaum and B. Kettlitz. 1994. Studies on rye starch properties an modification. Part III. Viscograph pasting characteristics of rye starches. **Starch** 46: 2-8.
- _____ and _____. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46 (8): 2895-2905. *Cited* J.W. Donovan, K. Lorenz and K. Kulp. 1983. Differential scanning calorimetry of heat-moisture treated wheat and potato starches. **Cereal Chem** 60: 381-387.

_____ and _____. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46 (8): 2895-2905. *Cited* K. Kulp and K. Lorenz. 1981. Heat-moisture treatment of starches. I. Physicochemical properties. **Cereal Chem** 58: 46-48.

_____ and _____. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46 (8): 2895-2905. *Cited* K. Lorenz and K. Kulp. 1981. Heat-moisture treatment of starches. II. Functional properties and baking potential. **Cereal Chem** 58: 49-52.

_____ and _____. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46 (8): 2895-2905. *Cited* K. Lorenz and K. Kulp. 1982. Cereal and root starch modification by heat-moisture treatment. I. Physico-chemical properties. **Starch** 34: 50-54.

_____ and _____. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46 (8): 2895-2905. *Cited* R.C. Eerlingen, H. Jacobs, K. Block and J.A. Delcour. 1997. Effects of hydrothermal treatment on the rheological properties of potato starch. **Carbohydr. Res** 297: 347-356.

_____ and _____. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46 (8): 2895-2905. *Cited* R.C. Eerlingen, H. Jacobs, H. Van Win and J.A. Delcour. 1996. Effect of hydrothermal treatment on the gelatinisation properties of potato starch as measured by differential scanning calorimetry. **J. Therm. Anal.** 47: 1229-1246.

_____ and _____. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46 (8): 2895-2905. *Cited* R. Hoover, G. Swamidas and T. Vasanathan. 1993. Studies on the

physicochemical properties of native, defatted, and heatmoisture treated pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) starch. **Carbohydr. Res.** 246: 185-203.

_____ and _____. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46 (8): 2895-2905. *Cited* R. Hoover and T. Vasanthan. 1994. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, legume, and tuber starches. **Carbohydr. Res.** 252: 33-53.

_____ and _____. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46 (8): 2895-2905. *Cited* R. Hoover and T. Vasanthan. 1994. The flow properties of native, heatmoisture treated, and annealed starches from wheat, oat, potato and lentil. **J. Food Biochem.** 18: 67-82.

_____ and _____. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46 (8): 2895-2905. *Cited* R. Hoover, T. Vasanthan, N.Y. Senayake and A.M. Martin. 1994. The effects of defatting and heat-moisture treatment on the retrogradation of starch gels from wheat, oat, potato and lentil. **Carbohydr. Res.** 261: 13-24.

_____ and _____. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46 (8): 2895-2905. *Cited* S. Radosta, B. Kettlitz, F. Schierbaum and C. Gernat. 1992. Studies on rye starch properties and modification. Part II. Swelling and solubility behaviour of rye starch granules. **Starch** 44: 8-14.

_____ and _____. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46 (8):

- 2895-2905. Cited T.E. Abraham. 1993. Stabilization of paste viscosity of cassava starch by heat-moisture treatment. **Starch** 45: 131-135.
- _____ and _____. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46 (8): 2895-2905. Cited T. Fukui and Z. Nikuni. 1996. Heat-moisture treatment of cereal starch observed by X-ray diffraction. **Agric. Biol. Chem.** 33: 460-462.
- _____ and _____. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 46 (8): 2895-2905. Cited T. Kuge and A.S. Kitamura. 1985. Annealing of starch granules – warm water treatment and heat-moisture treatment. **J. Jpn. Soc. Starch Sci** 32: 65-83.
- Kaletunc, G. 2003. Construction of state diagrams for cereal processing, pp. 151-171. In G. Kaletunc and K.J. Breslauer, eds. **Characterization of Cereals and Flours: Properties, Analysis, and Applications**. Marcel Dekker, Inc., New York, U.S.A..
- Kweon, M., L. Haynes, L. Slade and H. Levine. 2000. The effect of heat and moisture treatments on enzyme digestibility of *AeWx*, *Aewx* and *aeWx* corn starches. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry** 59: 571-586.
- Lai, H.M. 2001. Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. **Food Chemistry** 72: 455-463.
- Lampel, K.A., R.C. Sandlin and S. Formal. 1999. Shigella, pp. 2015-2062. In R.K. Robinson, ed. **Encyclopedia of Food Microbiology**. Academic press, New York.
- Lawal, O.S. 2005. Studies on the hydrothermal modifications of new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) starch. **International Journal of Biological Macromolecules** 37: 268-277.

- Lee, J.S., R.N. Kumar, H.D. Rozman and B.M.N. Azemi. 2005. Pasting, swelling and solubility properties of UV initiated starch-graft-poly(AA). **Food Chemistry** 91: 203-211.
- Lim, S.T., E.H. Chang and H.J. Chung. 2001. Thermal transition characteristics of heat-moisture treated corn and potato starches. **Carbohydrate Polymers** 46: 107-115.
- Liu, H., H. Corke and L. Ramsden. 2000. The effect of autoclaving on the acetylation of *ae*, *wx*, and normal maize starches. **Starch/Stärke** 52: 353-360.
- Miyoshi, E. 2002. Effects of heat-moisture treatment and lipids on gelatinization and retrogradation of maize and potato starches. **Cereal Chem.** 79(1): 72-77.
- Paraman I., N.S. Hettiarachchy, C. Schaefer and M.I. Beck. 2006. Physicochemical properties of rice endosperm proteins extracted by chemical and enzymatic methods. **Cereal Chem.** 88 (6): 663-667.
- Perera, C., R. Hoover and A.M. Martin. 1997. The effect of hydroxypropylation on the structure and physicochemical properties of native, defatted and heat-moisture treated potato starches. **Food Research International** 30 (3/4): 235-247.
- Reungmaneeapaitoon, S. 2006. Dry noodle from wheat-brown rice composition flour, pp. 260. *In* **32nd Congress on Science and Technology of Thailand (STT.32)**. The science society of Thailand under the Patronage of His Majesty the King in association with faculty of science, Chulalongkorn university, Bangkok.
- Schoch, T.J. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. pp. 106-108. *In* Whistler, R.I.(Ed.). **Method in Carbohydrate Chemistry Vol. IV**. Academic Press, New York.
- Shi, X. and N. BeMiller. 2002. Effects of food gums on viscosities of starch suspensions during pasting. **Carbohydrate Polymer** 50: 7-18.

- Shih F.F. 2004. Rice Proteins, pp. 109-141. *In* E.T. Champagne, ed. **Rice: Chemistry and Technology**. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, U.S.A.
- Surojanametakul, V., P. Tungtakul, W. Varanyanond and R. Supasri. 2002. Effects of partial replacement of rice flour with various starches on the physicochemical and sensory properties of “Sen Lek” noodle. **Kasetsart J.** 36: 55-62.
- Takahashi, T., M. Miura, N. Ohisa, K. Mori and S. Kobayashi. 2005. Heat treatments of milled rice and properties of the flours. **Cereal Chem.** 82 : 228-232.
- Takaya, T., C. Sano and K. Nishinari. 2000. Thermal studies on the gelatinisation and retrogradation of heat-moisture treated starch. **Carbohydrate Polymers** 41: 97-100.
- Tako, M. and S. Hizukuri. 2000. Retrogradation mechanism of rice starch. **Cereal Chem** 77 (4): 473-477.
- Tatsumi, E., M. Cheng, L. Li, Z. Lu and Z. Li. 2001. **Processing of High-Quality Rice Noodles in China**. JIRCAS Research Highlights 2001. Available Source: <http://www.jircas.affrc.go.jp/english/publication/highlights/2001/pdf/2001-14.pdf>, May , 2006.
- USFDA. 2000. **Overarching Principles Kinetics and Pathogens of Concern for All Technologies**. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies. Available Source: <http://www.cfsan.fda.gov/~comm/ift-over.html>, March 7, 2006.
- Vatanasuchart, N. 2004. **Modification of Cassava Starch with Lactic Acid Hydrolysis and UV Irradiation to Enhance Baking Expansion**. Ph.D. Thesis, Kasetsart University.

- _____, O. Naivikul, S. Charoenrein and K. Sriroth. 2003. Influence of different UV irradiations on properties of cassava starch and biscuit expansion. *In The 2nd Conference on Starch Technology*. p 71-78.
- _____, _____, _____ and _____. 2005. Molecular properties of cassava starch modified with different UV irradiations to enhance baking expansion. **Carbohydrate Polymers** 61: 80-87.
- Vermeylen, R., B. Goderis and J.A. Delcour. 2006. An X-ray study of hydrothermally treated potato starch. **Carbohydrate Polymers** 64: 364-375.
- Yeh, A. 2004. Preparation and Applications of Rice Flour, pp. 109-141. *In* E.T. Champagne, ed. **Rice: Chemistry and Technology**. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, U.S.A.
- Yoenyongbuddhagal, S. and A. Noomhorm. 2002. Effect of physicochemical properties of high-amylose Thai rice flours on vermicelli quality. **Cereal Chem** 79 (4): 481-485.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าชัณนาท 1

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าชัณหา 1

ก1 ปริมาณแอมิโลส ดัดแปลงวิธีการของ Juliano (1971)

1.1 สารเคมี

- 1.1.1 เอทิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 95
- 1.1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์แมล
- 1.1.3 กรดแอซิดิก 1 นอร์แมล
- 1.1.4 สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยใช้ไอโอดีน 0.2 ก และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2.0 ก ละลายในน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
- 1.1.5 แอมิโลสบริสุทธิ์จากสตาร์ชข้าวโพด บริษัท ชิกมา ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.2 วิธีวิเคราะห์

1.2.1 เตรียมสารละลายโดยใช้ตัวอย่างแป้งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) 0.1 ก (น้ำหนักแห้ง) ใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ต้มในน้ำเดือด 10 นาที เพื่อให้เกิดเจลาทีไนซ์ เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากันดี

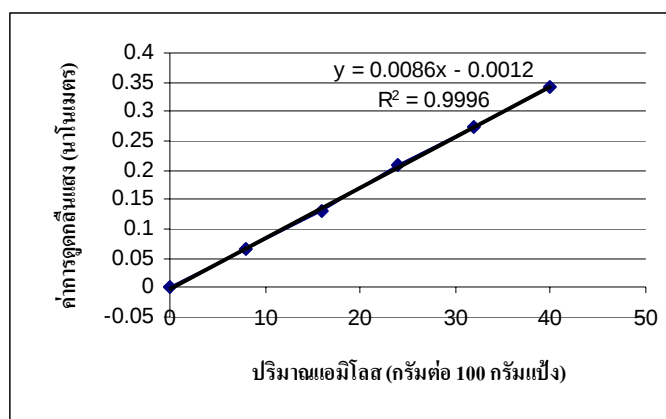
1.2.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร เติมกรดแอซิดิกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ครบปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ทำเช่นเดียวกันอีก แต่ไม่ใส่สารตัวอย่างเพื่อใช้เป็นแบล็ค วัดความเข้มสีของสารละลายด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร โดยปรับค่าสารละลายแบล็คเท่ากับศูนย์

1.2.3 เตรียมกราฟมาตรฐานเช่นเดียวกับการเตรียมสารละลายตัวอย่าง โดยชั่ง
 แอมิโลสบริสุทธิ์จากสตาร์ชข้าวโพดให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 0.040 ก ปิเปิดสารละลาย
 มาตรฐานแอมิโลสที่เตรียมไว้ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดปริมาตรขนาด 100
 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร เติมกรดแอซิดิกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1
 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่า
 ให้สารละลายเข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร และเขียน
 กราฟระหว่างปริมาณแอมิโลส (ก/แป้งข้าว 100 ก หรือแอมิโลสบริสุทธิ์คิดเป็นร้อยละ 8, 16, 24,
 32 และ 40 ก/แป้งข้าว 100 ก) กับค่าการดูดกลืนแสง การเปลี่ยนค่าการดูดกลืนแสงเป็นปริมาณ
 แอมิโลส โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ปริมาณตัวอย่าง 0.1000 ก ของแต่ละตัวอย่าง เทียบกับกราฟ
 มาตรฐาน แล้วอ่านค่าเป็นร้อยละของแอมิโลสต่อแป้งข้าว 100 ก

ตารางผนวกที่ ก1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแอมิโลส

ปริมาณสารละลายมาตรฐาน แอมิโลส (มล.)	น้ำหนักแอมิโลส ก ต่อตัวอย่าง 100 ก	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร
0	0	0
1	8	0.098
2	16	0.191
3	24	0.288
4	32	0.388
5	40	0.482

ค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร



ปริมาณแอมิโลส (ก / 100ก แป้ง)

ภาพผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานแอมิโลส

สมการเส้นตรง $y = 0.0086x - 0.0012$

$$R^2 = 0.9996$$

เมื่อ $y =$ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร

$x =$ ปริมาณแอมิโลส (ก ต่อ 100 ก แป้งข้าว)

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์สมบัติของแป้งข้าว

การวิเคราะห์สมบัติของแป้งข้าว

ข1 ตรวจสอบขนาด และรูปร่างของเม็ดสตาร์ช

1.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

1.1.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOL, JSM-5600LV, England)

1.1.2 แท่ง aluminium stub ที่ติดกาวสองหน้าชนิดบาง

1.1.3 เครื่องเคลือบทอง (Ion-coater IB-2)

1.2 วิธีการวิเคราะห์

1.2.1 นำตัวอย่างมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ $45-50^{\circ}\text{C}$ และเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ ก่อนนำมาวิเคราะห์ มาวางกระจายบนเทปกาวสองหน้าติดอยู่บนแท่ง aluminium stub

1.2.2 นำแท่ง aluminium stub ที่ติดตัวอย่างแล้ว เข้าเครื่องเคลือบทอง เพื่อช่วยนำประจุอิเล็กตรอน

1.2.3 วางแท่ง aluminium stub ที่ผ่านการเคลือบทองแล้ว ใส่ในช่องสำหรับใส่แท่ง aluminium stub ภายในตัวกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

1.2.4 ตรวจสอบลักษณะรูปร่างของตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน โดยควบคุมสภาวะการทดลองที่ค่าอัตราเร่งของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 15 กิโลโวลต์

1.2.5 คัดเลือกบริเวณที่ต้องการบันทึกภาพ ปรับโฟกัสให้ชัดแล้วบันทึกภาพลงแผ่นซีดี

1.3 สถานที่วิเคราะห์

หน่วยงานกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ฝ่ายเครื่องมือวิทยาศาสตร์กลาง สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข2 กำลังการพองตัว และการละลาย

ดัดแปลงวิธีการของ Schoch (1964)

ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.5 g ใส่ลงในหลอดเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนักแล้ว เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร กวนผสมให้เข้ากัน นำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 60, 70, 80 และ 90⁰ซ เป็นเวลา 30 นาที นำหลอดเหวี่ยงเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 2,200 รอบต่อนาที นาน 15 นาที แยกส่วนใส่ออกจากหลอดเหวี่ยงใส่ลงในเพลท ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่ 100⁰ซ ชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณส่วนที่ละลายน้ำได้ เพื่อคำนวณหาความสามารถในการละลาย เป็นค่าเปอร์เซ็นต์การละลาย ส่วนหลอดเหวี่ยงที่มีตะกอนอยู่ นำมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาน้ำหนักสตาร์ชที่พองตัวตามสูตร

$$\text{การละลาย (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของส่วนที่ละลายได้หลังอบ (ก)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้ง (ก) น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

$$\text{กำลังการพองตัว (ก / ก)} = \frac{\text{น้ำหนักของสตาร์ชที่พองตัว (ก) x 100}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้ง (ก) น้ำหนักแห้ง} \times (100 - \text{การละลาย})}$$

ข3 ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างผลึก

2.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

2.1.1 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ (X-ray diffractometer, JEOL, JDX-3530, Japan)

2.1.2 แผ่นสไลด์แก้วมีหลุมตรงกลางสำหรับใส่ตัวอย่าง

2.2 วิธีการวิเคราะห์

2.2.1 ตักตัวอย่างบดละเอียดลงในหลุมของแผ่นสไลด์แก้ว และใช้ cover slit ช่วยกด และเกลี่ยตัวอย่างให้มีผิวหน้าเรียบเสมอกับแผ่นสไลด์แก้ว ปาดตัวอย่างที่อยู่นอกหลุมของแผ่นสไลด์แก้วออก

2.2.2 เสียบแผ่นสไลด์ในอุปกรณ์ใส่แผ่นสไลด์ตัวอย่างของเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ ปิดฝาเครื่องให้สนิท

2.2.3 วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกของอนุภาคแป้งตัวอย่างด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ โดยใช้สภาวะดังนี้

Monochromatic Cu-K α radiation	1.542 Å
X-ray generator power	40 mA และ 35 kV
Scanning 2 theta	3° ถึง 30°
Step angle	0.02°
Count time	1 sec
Divergence slit	1°
Receiving slit	0.2 mm
Scattering slit	1°
Measurement temperature	Ambient temperature

2.3 วิธีการคำนวณ

$$\text{ค่าร้อยละความเป็นผลึก} = \frac{\text{พื้นที่ได้ฟลัก} \times 100}{\text{พื้นที่ทั้งหมดของสเปกตรัม}}$$

หมายเหตุ พื้นที่ได้ฟลักคำนวณได้จากโปรแกรมคำนวณของเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์

2.4 สถานที่วิเคราะห์

ห้องปฏิบัติการเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ และเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ

ข4 สมบัติการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (ดัดแปลงวิธีการของ Lu *et al.*, 1996)

3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องดีฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ หรือเครื่องดีเอสซี

(Differential scanning calorimeter, DSC, Pyris1 Perkin-Elmer, USA)

3.1.2 ภาชนะสเตนเลส (stainless steel pan) สำหรับใส่ตัวอย่าง

3.1.3 อุปกรณ์ตัดตัวอย่าง

3.2 วิธีการวิเคราะห์

3.2.1 ชั่งตัวอย่างแบ่งปริมาณ 7.0 มิลลิกรัม หรือ 0.0070 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง ใส่ในภาชนะสเตนเลส

3.2.2 หยคน้ำ DI (Deionise water) ในอัตราส่วนแบ่งน้ำ คือ 30:70 ลงในภาชนะสเตนเลส

3.2.3 ปิดผนึกภาชนะสเตนเลสที่ใส่ตัวอย่างทั้งแบ่ง และน้ำเรียบร้อยแล้ว ด้วยเครื่องปิดผนึก จากนั้นเก็บภาชนะสเตนเลสนี้ไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C ซ้ำมคืน เพื่อให้เกิดภาวะสมดุล

3.2.4 นำภาชนะสเตนเลสที่บรรจุแบ่งตัวอย่างออกจากตู้บ่ม และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนานกว่า 1 ชม จึงนำมาวิเคราะห์การเกิดเจลลาทีโนเซชันด้วย DSC โดยใช้ภาชนะสเตนเลสเปล่าเป็นตัวอ้างอิง และกำหนดอุณหภูมิให้ความร้อนที่ 30 ถึง 150 °C โดยมีอัตราการเพิ่มและลดของอุณหภูมิเป็น 10 °C ต่อนาที

3.2.5 วิเคราะห์หาอุณหภูมิที่จุดเริ่มต้น (onset temperature, T_o) อุณหภูมิที่จุดสูงสุด (peak temperature, T_p) อุณหภูมิที่จุดสุดท้าย (conclusion temperature, T_c) ช่วงกว้างของอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ($T_c - T_o$) และพลังงานเอนทัลปี (enthalpy, ΔH) ที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีโนเซชัน โดยใช้โปรแกรมการคำนวณจากเครื่องคอมพิวเตอร์

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์สมบัติของก๊วยเตี๋ยว⁺

การวิเคราะห์สมบัติของก๊วยเตี๋ยว⁺

ค1 แรงสูงสุด และพื้นที่ใต้กราฟ (ดัดแปลงจาก AACC, 2000)

1.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

1.1.1 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser) รุ่น TA-XT2

1.1.2 หัววัด Light Knight Blade, A/LKB-F พร้อมแท่นวางตัวอย่าง

1.2 วิธีการวิเคราะห์

1.2.1 วางเส้นก๊วยเตี๋ยที่ถูกตัดให้ยาว 5 ซม. ลงบนแท่นวางตัวอย่าง

1.2.2 ให้หัววัดตัดลงบนตัวอย่างด้วยแรงกดที่ 10 นิวตัน เป็นระยะทาง 60% ของความหนาของตัวอย่าง ใช้สภาวะในการวิเคราะห์ดังนี้

Mode	:	Measure Force in Compression
Option	:	Return to Start
Pre – Test Speed	:	0.5 mm/s
Test Speed	:	0.2 mm/s
Post – Test Speed	:	10.0 mm/s
% Strain	:	60 %
Trigger Type	:	Auto (10 g)
Data Acquisition Rate	:	400 pps

1.2.3 อ่านค่าที่ได้จากกราฟ ดังนี้

1.2.3.1 แรงสูงสุด (maximum cutting force) เป็นค่าสูงสุดที่วัดได้จากการตัดตัวอย่างของหัววัดด้วยอัตราเร็ว 0.2 มม./วินาที มีหน่วยเป็นก

1.2.3.2 งานที่ใช้ในการตัด (total work to cut) เป็นค่าที่คำนวณจากแรงกดและเวลาในการตัดตัวอย่าง ซึ่งเป็นพื้นที่ใต้กราฟ มีหน่วยเป็น ก .วินาที

ค2 แรงต้านการดึง

2.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

2.1.1 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser) รุ่น TA-XT2

2.1.2 หัววัด Spaghetti tensile grips, A/SPR

2.2 วิธีการวิเคราะห์

2.2.1 พันเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ลวกสุกแล้วเข้ากับแขนของหัววัดทั้งแขนบน และล่าง

2.2.2 ให้หัววัดดึงตัวอย่างด้วยแรงคงที่ เป็นระยะทาง 100 มม. ใช้สภาวะในการ

วิเคราะห์ดังนี้

Mode	:	Measure Force in Tension
Option	:	Return to Start
Pre – Test Speed	:	3.0 mm/s
Test Speed	:	3.0 mm/s
Post – Test Speed	:	5.0 mm/s
Distance	:	100 mm
Trigger Type	:	Auto (5 g)
Data Acquisition Rate	:	200 pps

2.2.3 อ่านค่าที่ได้จากกราฟ ดังนี้

แรงสูงสุด (mean peak force) เป็นค่าสูงสุดที่วัดได้จากการดึงตัวอย่างของหัววัดด้วยอัตราเร็ว 3.0 มม./วินาที มีหน่วยเป็นก เป็นแรงต้านการดึงเส้นก๋วยเตี๋ยว ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงความยืดหยุ่น (elasticity หรือ tensile strength) ของก๋วยเตี๋ยว

ค3 การหาเวลารวมทั้งหมดในการพาเสจไรซ์ก้วยเดี่ยว

3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

3.1.1 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

3.1.2 ชุดเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

3.2 ผลการวิเคราะห์

ตารางผนวกที่ ค1 อุณหภูมิก้วยเดี่ยว อุณหภูมิกึ่งกลาง อุณหภูมิหน้า และค่า F ในการพาเสจไรซ์

เวลา	อุณหภูมิก้วยเดี่ยว (⁰ ซ)	อุณหภูมิกึ่งกลาง (T) (⁰ ซ)	อุณหภูมิหน้า (⁰ ซ)	ค่า F	ผลรวมค่า F
0	30.2	0.0	89.0	0.000	0.000
1	31.9	31.0	90.0	0.000	0.000
2	37.6	34.7	92.0	0.000	0.000
3	43.0	40.3	94.0	0.000	0.000
4	47.8	45.4	94.0	0.000	0.000
5	51.9	49.8	95.0	0.000	0.000
6	55.5	53.7	95.0	0.000	0.000
7	58.4	57.0	95.5	0.000	0.001
8	62.2	60.3	96.0	0.001	0.002
9	64.7	63.4	98.0	0.002	0.004
10	67.7	66.2	98.0	0.004	0.008
11	70.8	69.2	98.0	0.008	0.017
12	73.3	72.0	98.0	0.016	0.033
13	76.0	74.7	98.0	0.029	0.062
14	78.0	77.0	98.0	0.050	0.112
15	80.7	79.3	98.0	0.086	0.198

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิถ้วยเต๊ว (⁰ ซ)	อุณหภูมิถังกลาง (T) (⁰ ซ)	อุณหภูมิน้ำ (⁰ ซ)	ค่า F	ผลรวมค่า F
16	80.6	80.7	98.0	0.116	0.314
17	81.6	81.1	98.0	0.128	0.442
18	82.8	82.2	98.0	0.165	0.607
19	85.6	84.2	98.0	0.262	0.870
20	86.3	85.9	98.0	0.391	1.261
21	85.1	85.7	98.0	0.370	1.631
22	87.4	86.3	98.0	0.424	2.056
23	87.6	87.5	98.0	0.561	2.616
24	87.6	87.6	98.0	0.570	3.187
25	86.8	87.2	98.0	0.523	3.710
26	89.8	88.3	98.0	0.676	4.386
27	90.0	89.9	98.0	0.980	5.366
28	88.0	89.0	98.0	0.799	6.165
29	89.0	88.5	98.0	0.712	6.877
30	91.0	90.0	98.0	1.000	7.877
31	89.1	90.1	98.0	1.012	8.889
32	91.2	90.2	98.0	1.038	9.927
33	90.1	90.6	98.0	1.155	11.082
34	90.0	90.0	98.0	1.009	12.090
35	91.3	90.7	98.0	1.168	13.259
36	84.3	87.8	27.0	0.606	13.865
37	71.8	78.1	27.0	0.064	13.929
38	63.4	67.6	27.0	0.006	13.934
39	57.2	60.3	28.0	0.001	13.935
40	53.6	55.4	29.0	0.000	13.936

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

เวลา	อุณหภูมิถ้วยเต๊ว (⁰ ซ)	อุณหภูมิถังกลาง (T) (⁰ ซ)	อุณหภูมิน้ำ (⁰ ซ)	ค่า F	ผลรวมค่า F
41	48.7	51.1	29.0	0.000	13.936
42	47.1	47.9	30.0	0.000	13.936
43	45.6	46.3	30.0	0.000	13.936
44	43.3	44.4	30.0	0.000	13.936
45	42.5	42.9	31.0	0.000	13.936
46	40.7	41.6	31.0	0.000	13.936
47	40.3	40.5	32.0	0.000	13.936
48	40.0	40.2	35.0	0.000	13.936
49	38.0	39.0	35.0	0.000	13.936
50	37.7	37.8	34.0	0.000	13.936
51	38.1	37.9	35.0	0.000	13.936
52	37.3	37.7	34.0	0.000	13.936
53	36.0	36.7	34.0	0.000	13.936

หมายเหตุ Tref = 90⁰ซ

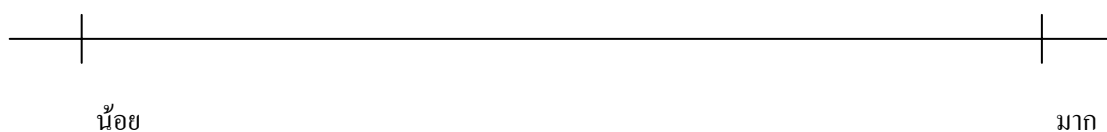
ภาคผนวก ง
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลิตภัณฑ์ถ้วยเต๋ียวพร้อมบริโภคนาฬิกาจับเวลา

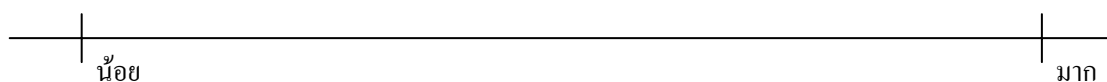
ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

คำชี้แจง กรุณาพิมพ์ตัวอย่างที่เสนอให้ และประเมินปัจจัยคุณภาพต่างๆ โดยทำเครื่องหมาย (I) ลงบนเส้นตามที่ท่านคิดว่าเหมาะสมที่สุดในการเป็นตัวแทนลักษณะนั้นๆ ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

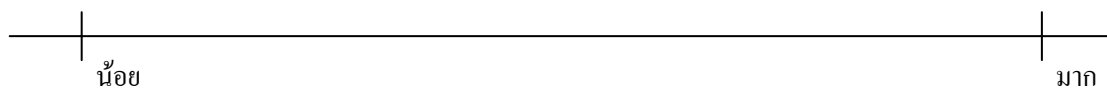
ความแตกต่าง



ความยืดหยุ่น



ความแน่นเนื้อ



ขอบคุณค่ะ

ภาคผนวก จ
การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางผนวกที่ จ1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงความหนืดจากเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว ของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชยันนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
ความหนืดสูงสุด					
Sample	6	53338.799	8889.800	484.482	0.000*
Error	7	128.444	18.349		
Total	13	53467.242			
ความหนืดต่ำสุด					
Sample	6	27862.196	4643.699	337.558	0.000*
Error	7	96.297	13.757		
Total	13	27958.493			
ความหนืดลดลง					
Sample	6	8170.693	1361.782	758.089	0.000*
Error	7	12.574	1.796		
Total	13	8183.268			
ความหนืดสุดท้าย					
Sample	6	146146.723	24357.787	336.866	0.000*
Error	7	506.150	72.307		
Total	13	146652.873			
เซตแบบ					
Sample	6	48587.676	8097.946	132.962	0.000*
Error	7	426.330	60.904		
Total	13	49014.005			
อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด					
Sample	6	200.035	33.339	129.060	0.000*
Error	7	1.808	0.258		
Total	13	201.843			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ จ2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัว และการละลายของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
กำลังการพองตัวที่ 80 ⁰ ซ					
Sample	6	9.526	1.588	8.419	0.006*
Error	7	1.320	0.189		
Total	13	10.846			
กำลังการพองตัวที่ 90 ⁰ ซ					
Sample	6	14.131	2.355	20.868	0.000*
Error	7	0.790	0.113		
Total	13	14.921			
การละลายที่ 80 ⁰ ซ					
Sample	6	0.356	0.059	1.384	0.338 ^{ns}
Error	7	0.300	0.043		
Total	13	0.656			
การละลายที่ 90 ⁰ ซ					
Sample	6	5.595	0.933	4.205	0.041*
Error	7	1.552	0.222		
Total	13	7.147			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๖3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเป็นผลึก อุณหภูมิ และเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตีไนซ์ของแป้งข้าวชัณนาท 1 และแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้นที่อุณหภูมิ 120⁰ซ

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
ความเป็นผลึก					
Flour sample	3	9.898	3.299	21.732	0.000*
Error	8	1.215	0.152		
Total	11	11.113			
To					
Flour sample	3	184.908	61.636	21.732	0.000*
Error	4	0.127	0.032		
Total	7	185.035			
Tp					
Flour sample	3	135.086	45.029	832.671	0.000*
Error	4	0.216	0.054		
Total	7	135.302			
Tc					
Flour sample	3	87.573	29.191	163.672	0.000*
Error	4	0.713	0.178		
Total	7	88.286			
Tc-To					
Flour sample	3	19.166	6.389	36.948	0.002*
Error	4	0.692	0.173		
Total	7	19.857			
ΔH					
Flour sample	3	28.131	9.377	17.028	0.010*
Error	4	2.203	0.551		
Total	7	30.333			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๑4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี L* a* b* ของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
L*					
Sample	6	36.091	6.015	1.663	0.260 ^{ns}
Error	7	25.320	3.617		
Total	13	61.411			
a*					
Sample	6	2.143	0.357	8.099	0.007*
Error	7	0.309	0.044		
Total	13	2.452			
b*					
Sample	6	20.369	3.395	44.072	0.000*
Error	7	0.539	0.077		
Total	13	20.908			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๖5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงความหนืดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว ของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
ความหนืดสูงสุด					
Sample	8	3019.700	377.463	69.762	0.000*
Error	9	48.697	5.411		
Total	17	3068.397			
ความหนืดต่ำสุด					
Sample	8	1407.037	175.880	24.079	0.000*
Error	9	65.737	7.304		
Total	17	1472.775			
ความหนืดลดลง					
Sample	8	4231.778	528.972	115.989	0.000*
Error	9	41.045	4.561		
Total	17	4272.823			
ความหนืดสุดท้าย					
Sample	8	19003.369	2375.421	41.137	0.000*
Error	9	519.700	57.744		
Total	17	19523.069			
เซตแปก					
Sample	8	21519.426	2689.928	28.705	0.000*
Error	9	843.375	93.708		
Total	17	22362.801			
อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด					
Sample	8	32.740	4.093	17.602	0.000*
Error	9	2.092	0.232		
Total	17	34.833			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๖ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
60^๐ซ					
Sample	8	0.020	0.002	2.091	0.146 ^{ns}
Error	9	0.011	0.001		
Total	17	0.031			
70^๐ซ					
Sample	8	0.046	0.006	4.68	0.017*
Error	9	0.011	0.001		
Total	17	0.057			
80^๐ซ					
Sample	8	1.667	0.208	14.686	0.000*
Error	9	0.128	0.014		
Total	17	1.795			
90^๐ซ					
Sample	8	1.800	0.225	12.168	0.001*
Error	9	0.166	0.018		
Total	17	1.967			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๗ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการละลายของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และ แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
60⁰ซ					
Sample	8	0.047	0.006	5.291	0.011*
Error	9	0.010	0.001		
Total	17	0.057			
70⁰ซ					
Sample	8	0.116	0.015	9.62	0.001*
Error	9	0.014	0.002		
Total	17	0.130			
80⁰ซ					
Sample	8	1.643	0.205	1.393	0.315 ^{ns}
Error	9	1.327	0.147		
Total	17	2.970			
90⁰ซ					
Sample	8	3.089	0.386	13.180	0.000*
Error	9	0.264	0.029		
Total	17	3.353			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๖8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก อุณหภูมิ และ
เอนทัลปีของการเกิดเจลลาทีนของแป้งข้าวชัณนาท 1 และแป้งคัดแปรสตาซ์
ด้วยรังสียูวีที่ระดับความชื้น 45%

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
ความเป็นผลึก					
Flour sample	4	3.968	0.992	3.017	0.071 ^{ns}
Error	10	3.288	0.329		
Total	14	7.256			
To					
Flour sample	4	1.222	0.305	2.51	0.170
Error	5	0.609	0.122		
Total	9	1.83			
TP					
Flour sample	4	0.47	0.118	0.631	0.662
Error	5	0.931	0.186		
Total	9	1.402			
Tc					
Flour sample	4	0.599	0.15	0.33	0.847
Error	5	2.266	0.453		
Total	9	2.865			
Tc-To					
Flour sample	4	0.522	0.13	0.982	0.493
Error	5	0.664	0.133		
Total	9	1.186			
ΔH					
Flour sample	4	2.772	0.693	1.091	0.451
Error	5	3.177	0.635		
Total	9	5.949			

หมายเหตุ ^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

ตารางผนวกที่ ๑๑ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี L* a* b* ของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยรังสียูวี

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
L*					
Sample	8	2.754	0.344	55.769	0.000*
Error	9	0.056	0.006		
Total	17	2.809			
a*					
Sample	8	0.005	0.001	1.406	0.310 ^{ns}
Error	9	0.004	0.000		
Total	17	0.008			
b*					
Sample	8	1.127	0.141	59.268	0.000*
Error	9	0.021	0.002		
Total	17	1.149			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๑๑๐ การวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวชัณนาท 1
แป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วย
รังสียูวี

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
ความชื้น					
Flour sample	2	7.975	3.988	18.387	0.021*
Error	3	0.651	0.217		
Total	5	8.626			
โปรตีน					
Flour sample	2	0.027	0.014	4.075	0.140 ^{ns}
Error	3	0.010	0.003		
Total	5	0.037			
ไขมัน					
Flour sample	2	0.102	0.051	3243.946	0.000*
Error	3	0.000	0.000		
Total	5	0.103			
เถ้า					
Flour sample	2	0.000	0.000	0.278	0.775 ^{ns}
Error	3	0.000	0.000		
Total	5	0.000			
แอมิโลส					
Flour sample	2	4.994	2.497	0.926	0.486 ^{ns}
Error	3	8.086	2.695		
Total	5	13.079			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางผนวกที่ จ11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความหนืดของน้ำแป้ง และความหนาของเส้นก๋วยเตี๋ยว จากแป้งข้าวชัณนาท 1 และการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5, 10 และ 20% และการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5, 10 และ 20%

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
ความหนืดของน้ำแป้งจากการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น					
Flour sample	3	127403.090	42467.698	727.669	0.000*
Error	4	233.445	58.361		
Total	7	127636.540			
ความหนาเส้นก๋วยเตี๋ยวจากการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น					
Sample	14	0.002	0.000	1.145	0.359 ^{ns}
Error	33	0.005	0.000		
Total	47	0.007			
ความหนืดของน้ำแป้งจากการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี					
Flour sample	3	20802.344	6934.115	12.246	0.017*
Error	4	2264.945	566.236		
Total	7	23067.289			
ความหนาเส้นก๋วยเตี๋ยวจากการทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสียูวี					
Sample	14	0.002	0.000	0.953	0.517 ^{ns}
Error	33	0.005	0.000		
Total	47	0.007			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๑12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเนื้อสัมผัสของกล้วยเดี่ยวเส้นเล็กผลิตจากแป้งข้าวชัณนาท 1 และแป้งข้าวชัณนาท 1 ทดแทนด้วยแป้งดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น ปริมาณ 5, 10 และ 20%

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
แรงสูงสุดของกล้วยเดี่ยวสด					
Sample	3	5787.319	1929.106	5.917	0.006*
Error	16	5216.161	326.010		
Total	19	11003.480			
พื้นที่ได้กราฟกล้วยเดี่ยวสด					
Sample	3	6740.426	2246.809	2.49	0.097 ^{ns}
Error	16	14438.782	902.424		
Total	19	21179.208			
แรงด้านการดึงของกล้วยเดี่ยวสด					
Sample	3	7201.468	2400.489	36.766	0.000*
Error	16	1044.667	65.292		
Total	19	8246.135			
แรงสูงสุดของกล้วยเดี่ยวพาสเจอไรซ์					
Sample	3	2197.272	732.424	10.453	0.000*
Error	16	1121.097	70.069		
Total	19	3318.370			
พื้นที่ได้กราฟกล้วยเดี่ยวพาสเจอไรซ์					
Sample	3	10477.053	3492.351	3.372	0.045*
Error	16	16570.739	1035.671		
Total	19	27047.791			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางผนวกที่ จ13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเนื้อสัมผัสของกล้วยเดี่ยวเส้นเล็กผลิตจากแป้งข้าวชัณนาท 1 และแป้งข้าวชัณนาท 1 ทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาρχด้วยรังสียูวี ปริมาณ 5, 10 และ 20%

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
แรงสูงสุดของกล้วยเดี่ยวสด					
Sample	3	1060.500	353.500	4.205	0.023*
Error	16	1344.928	84.058		
Total	19	2405.428			
พื้นที่ได้กราฟของกล้วยเดี่ยวสด					
Sample	3	1054.588	351.529	0.807	0.508 ^{ns}
Error	16	6969.128	435.570		
Total	19	8023.716			
แรงด้านการดึงของกล้วยเดี่ยวสด					
Sample	3	2871.213	957.071	23.219	0.000*
Error	16	659.513	41.220		
Total	19	3530.726			
แรงสูงสุดของกล้วยเดี่ยวพาสเจอไรซ์					
Sample	3	233.206	77.735	1.243	0.327 ^{ns}
Error	16	1000.835	62.552		
Total	19	1234.041			
พื้นที่ได้กราฟของกล้วยเดี่ยวพาสเจอไรซ์					
Sample	3	2237.641	745.880	2.371	0.109
Error	16	5032.459	314.529		
Total	19	7270.099			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๑14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเนื้อสัมผัสของกล้วยเดี่ยวพาสเจอไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4⁰ซ ในช่วง 8 สัปดาห์

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
แรงสูงสุดของ CN 1					
Sample	5	6450.417	1290.083	14.373	0.000*
Error	24	2154.251	89.760		
Total	29	8604.668			
พื้นที่ใต้กราฟของ CN 1					
Sample	5	19203.660	3840.733	7.678	0.000*
Error	24	12005.400	500.225		
Total	29	31209.070			
แรงสูงสุดของ 10%HMT120-5					
Sample	5	3557.089	711.418	7.288	0.000*
Error	24	2342.737	97.614		
Total	29	5899.826			
พื้นที่ใต้กราฟของ 10%HMT120-5					
Sample	5	12673.040	2534.607	4.14	0.007*
Error	24	14691.790	612.158		
Total	29	27364.830			
แรงสูงสุดของ 10%UV45-7					
Sample	5	12187.250	2437.449	18.23	0.000*
Error	24	3208.984	133.708		
Total	29	15396.230			
พื้นที่ใต้กราฟของ 10%UV45-7					
Sample	5	35441.050	7088.210	8.588	0.000*
Error	24	19808.280	825.345		
Total	29	55249.330			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบชิมถ้วยเดี่ยวปกติ
พาสเจอร์ไรซ์ ในช่วง 8 สัปดาห์

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
ความเข้มข้นความกระด้าง					
Sample	19	467.984	24.631	3.359	0.000*
Error	70	513.342	7.333		
Total	89	981.326			
ความเข้มข้นความขี้ดหุ่่น					
Sample	19	81.113	4.269	1.169	0.308 ^{ns}
Error	70	255.540	3.651		
Total	89	336.653			
ความเข้มข้นความแน่นเนื้อ					
Sample	19	97.192	5.115	3.337	0.000*
Error	70	107.299	1.533		
Total	89	204.491			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๑16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบชิมก้วยเตี๋ยวทดแทนด้วย
แป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น และก้วยเตี๋ยวทดแทนด้วย
แป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสีวิทยาสเจอร์ไรซ์ ในช่วง 8 สัปดาห์

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
ความเข้มข้นด้านความกระด้างของก้วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น					
Sample	19	703.145	37.301	6.662	0.000*
Error	70	388.859	5.555		
Total	89	1092.004			
ความเข้มข้นด้านความยืดหยุ่นของก้วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น					
Sample	19	76.888	4.047	1.182	0.298 ^{ns}
Error	70	239.661	3.424		
Total	89	316.549			
ความเข้มข้นด้านความแน่นเนื้อของก้วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น					
Sample	19	163.387	8.599	3.794	0.000*
Error	70	158.646	2.266		
Total	89	322.033			
ความเข้มข้นด้านความกระด้างของก้วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสีวิทยุ					
Sample	19	618.864	32.572	6.38	0.000*
Error	70	357.372	5.105		
Total	89	976.237			
ความเข้มข้นด้านความยืดหยุ่นของก้วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสีวิทยุ					
Sample	19	155.744	8.197	3.395	0.000*
Error	70	168.998	2.414		
Total	89	324.742			
ความเข้มข้นด้านความแน่นเนื้อของก้วยเตี๋ยวทดแทนด้วยแป้งคัดแปรสตาซ์ด้วยรังสีวิทยุ					
Sample	19	104.538	5.502	2.37	0.005*
Error	70	162.502	2.321		
Total	89	267.040			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๑17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเป็นกรด-เบส และวอเตอร์แอคทีวิตีของ
กล้วยเดี่ยวพาสเจอไรซ์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4⁰ซ ในช่วง 8 สัปดาห์

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
ความเป็นกรด-เบสของ CN 1					
Sample	5	0.093	0.019	19.317	0.001*
Error	6	0.006	0.001		
Total	11	0.099			
ความเป็นกรด-เบสของ 10%HMT120-5					
Sample	5	0.073	0.015	11.377	0.005*
Error	6	0.008	0.001		
Total	11	0.081			
ความเป็นกรด-เบสของ 10%UV45-7					
Sample	5	0.115	0.023	137.72	0.000*
Error	6	0.001	0.000		
Total	11	0.116			
วอเตอร์แอคทีวิตีของ CN 1					
Sample	5	0.002	0.000	5.632	0.029*
Error	6	0.000	0.000		
Total	11	0.002			
วอเตอร์แอคทีวิตีของ 10%HMT120-5					
Sample	5	0.001	0.000	11.296	0.005*
Error	6	0.000	0.000		
Total	11	0.001			
วอเตอร์แอคทีวิตีของ 10%UV45-7					
Sample	5	0.001	0.000	4.39	0.050*
Error	6	0.000	0.000		
Total	11	0.001			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๑18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ^๑ความชื้นของก้วยเดี่ยวพาสเจอร์ไรซ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4^๐ซ ในช่วง 8 สัปดาห์

Source	Degree of freedom (df)	Type III Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F-value	p-value
CN 1					
Sample	5	58.449	11.690	3.018	0.106 ^{ns}
Error	6	23.239	3.873		
Total	11	81.688			
10%HMT120-5					
Sample	5	92.890	18.578	4.262	0.053 ^{ns}
Error	6	26.153	4.359		
Total	11	119.043			
10%UV45-7					
Sample	5	68.950	13.790	19.918	0.001*
Error	6	4.154	0.692		
Total	11	73.104			

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	กรกช หล่อโลหการ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	25 พฤษภาคม พ.ศ.2524
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2545 วิทยาศาสตรบัณฑิต (ชีวเคมี) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	1. การเสนอผลงานวิจัย เรื่อง Comparision properties of native and heat moisture treatment rice flour ใน การประชุมสัมมนาวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 7 วันที่ 22-24 มิถุนายน 2548 2. การเสนอผลงานวิจัย เรื่อง Modification of rice flour by UV irradiation to improve rice noodle quality ใน Starch Update 2005: The 3 rd Conference on Starch Technology, November 4-5, 2005
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอก บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2547