บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาสภาวะการแช่ผลต่อคุณภาพของแป้งข้าวกล้องงอก

4.1.1 ผลของสภาวะในการแช่ข้าวต่อค่า pH และองค์ประกอบทางเคมี

การแช่ข้าวกล้องหอมมะลิแดงในสภาวะต่างๆ กันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ข้าวที่เพิ่มขึ้นจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 40 องศาเซลเซียสมีผลทำให้ค่า pH ของน้ำที่ใช้แช่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และค่า pH มีค่าลดลงตามระยะเวลาในการแช่ข้าวที่เพิ่มขึ้นด้วย แสดงถึงความเป็นกรดเพิ่มขึ้นจากกระบวนการแช่ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า pH ของน้ำก่อนแช่ข้าวมีค่าเท่ากับ 6.29 ตารางที่ 4.1 ซึ่งกระบวนการแช่ที่อุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลานานขึ้นและมีผลทำให้ค่า pH ลดลงไปอยู่ในช่วง 6.23-5.71 เกิดจากกระบวนการหมักของแบคทีเรีย ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติต่างๆ (Sindhu and Khetarpaul, 2005) และส่งผลต่อการย่อยสลายของ complex protein ไปเป็น simple protein และกรดอะมิโนด้วย (Ahmad *et al.*, 2008) โดยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส น้ำแช่ข้าวมีค่า pH ลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่ม lactic acid bacteria (Tsai *et al.*, 2006)

เมื่อนำข้าวกล้องหอมมะลิแดงมาเพาะงอกที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียสนาน 1, 3 และ 6 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.1) พบว่าเมื่อทำการแช่ที่อุณหภูมิ และระยะเวลาสูงขึ้น มีปริมาณวิตามินบี 1 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\geq0.05$) ซึ่งที่ค่า pH เท่ากับ 6.23 ข้าวกล้องงอกมีปริมาณวิตามินบี 1 สูงสุดเท่ากับ 0.63 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง เนื่องจากสภาวะนี้มีค่า pH ใกล้เคียงกับสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของของเอนไซม์สองชนิด คือ Thiamine phosphate synthase (EC 2.5.1.3) และเอนไซม์ Thiamine diphosphate kinase (EC 2.7.6.2) ซึ่งทำหน้าที่สังเคราะห์วิตามินบี 1 ที่สภาวะค่า pH เท่ากับ 7 (Yamada and Kawasaki, 1980) และมีปริมาณ GABA สูงขึ้น

ตารางที่ 4.1 ค่า pH ปริมาณวิตามินบี 1 และกรดอะมิโนบิวทูริก (GABA) ในข้าวกล้องหอมมะลิแดงงอกที่แช่ในสภาวะต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ค่า pH	ปริมาณวิตามินบี 1 (mg/100g db)^{ns}	ปริมาณ GABA (mg/100g db)
30	1	6.23±0.00^{a}	0.63±0.01	4.95±0.98^{d}
	3	5.95±0.00^{b}	0.62±0.02	6.20±0.10^{cd}
	6	5.81±0.01^{c}	0.60±0.18	6.26±1.02^{cd}
40	1	5.98±0.00^{b}	0.62±0.21	8.13±0.70^{c}
	3	5.78±0.00^{c}	0.61±0.41	16.48±1.27^{a}
	6	5.71±0.02^{c}	0.59±0.05	11.23±1.15^{b}
สภาวะที่ไม่ผ่านการแช่		6.29±0.00^{a}	0.64±0.30	1.34±0.05^{e}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

โดยเมล็ดธัญพืชที่ผ่านการแช่จะเกิดกิจกรรมเอนไซม์ที่ผ่านกระบวนการย่อย (hydrolysis) ทำให้มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและกรดอะมิโนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านการงอก (Haraldsson *et al*, 2005) สภาวะการแช่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง pH เท่ากับ 5.78 มีปริมาณ GABA สูงสุดเท่ากับ 16.48 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการแช่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sunte *et al.* (2007) พบว่าสภาวะการแช่ข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ในสารละลายที่มี pH เท่ากับ 5 ในอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ให้ปริมาณ GABA สูงสุดเท่ากับ 31.18 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง เนื่องจากสภาวะที่เป็นกรดเล็กน้อยไฮโดรเจนไอออน (H^{+}) จะไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ glutamate decarboxylase (GAD) ทำให้เกิดการเปลี่ยน glutamic acid ไปเป็น GABA ทำให้มีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น (Liu *et al.*, 2005; Komatsuzaki *et al.*, 2007) Iimure *et al.* (2009) พบว่าเมื่อแช่ข้าวบาร์เลย์ที่อุณหภูมิสูงขึ้นเอนไซม์ GAD จะลดลงซึ่งตรงกันข้ามกับปริมาณ GABA ที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผ่านการแช่ที่สภาวะต่างกัน พบว่า การแช่ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 3 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ดังตารางที่ 4.2 โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในกระบวนการหมักส่งผลต่อการ

เปลี่ยนแปลงของสารอาหารในเมล็ดธัญพืช เช่นเดียวกับที่พบในข้าวนิลหลังจากผ่านกระบวนการ germination, autoclaving และการหมักด้วยเชื้อ probiotic ที่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณความชื้น ไขมัน และเถ้า (Sindhu and Khetarpaul, 2005) แต่พบว่า การแช่ข้าวที่อุณหภูมิสูงขึ้น และระยะเวลานานขึ้น มีผลทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการแช่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่ข้าวอยู่ในสภาวะที่มีการเจริญเติบโตจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยจะกระตุ้นให้เอนไซม์ภายในเมล็ดข้าวทำงาน เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอก (malting) สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมี ซึ่งปริมาณเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส (α-amylase) ที่มากขึ้น ทำให้เกิดการย่อยสตาร์ชเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล (Brennan *et al.*, 2008) จากขั้นตอนการล้างน้ำออกหลังกระบวนการแช่ข้าว ทำให้ น้ำตาลบางส่วนหลุดไปกับน้ำที่ใช้แช่ จึงส่งผลต่อการลดลงของปริมาณคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยอาจเนื่องมาจากส่วนของ polysaccharide และ mucilage เกิดการขยายตัวจากโมเลกุลของน้ำที่ซึมเข้าไป และเกิดการย่อยของเอนไซม์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยในเมล็ดธัญพืชได้ Arora *et al.* (2010) พบว่าข้าวบาร์เลย์ที่ผ่านการแช่ในสารละลายที่เติม *Lactobacillus acidophilus* curd มีปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 โดย Hooda and Jood (2003) ชี้ว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงแบบปฐมภูมิ เช่น การเกิด cross link จึงเป็นการเพิ่มความเป็นผลึกให้กับตัวอย่างทำให้การย่อยด้วยกรด หรือด่างเป็นไปได้ยากขึ้น

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวกล้องงอกหอมมะลิแดงงอกที่สภาวะการแช่ที่ต่างกัน

อุณหภูมิ	เวลา	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)					
(องศาเซลเซียส)	(ชั่วโมง)	ความชื้น^{ns}	โปรตีน^{ns}	เถ้า^{ns}	เส้นใยหยาบ	ไขมัน^{ns}	คาร์โบไฮเดรต
30	1	2.20±0.10	6.52±0.86	1.30±0.04	0.68±0.19^{c}	2.59±0.85	86.67±0.70^{a}
	3	2.41±0.19	7.39±2.23	1.34±0.03	1.50±0.07^{b}	2.59±0.68	84.75±2.91^{ab}
	6	2.89±0.02	8.53±0.35	1.40±0.06	2.26±0.12^{a}	2.66±0.33	82.22±0.81^{b}
40	1	2.36±0.07	8.39±1.10	1.31±0.02	1.75±0.41^{ab}	2.48±0.39	83.71±0.59^{ab}
	3	2.49±0.01	8.42±0.79	1.32±0.03	2.07±0.28^{a}	2.64±0.15	83.04±1.25^{b}
	6	2.66±0.29	8.27±0.80	1.41±0.03	2.17±0.15^{a}	2.64±0.21	82.82±0.41^{b}
ข้าวที่ไม่ผ่านการแช่		2.05±0.17	7.48±0.00	1.46±0.19	0.59±0.23^{c}	2.05±0.23	85.67±0.83^{a}

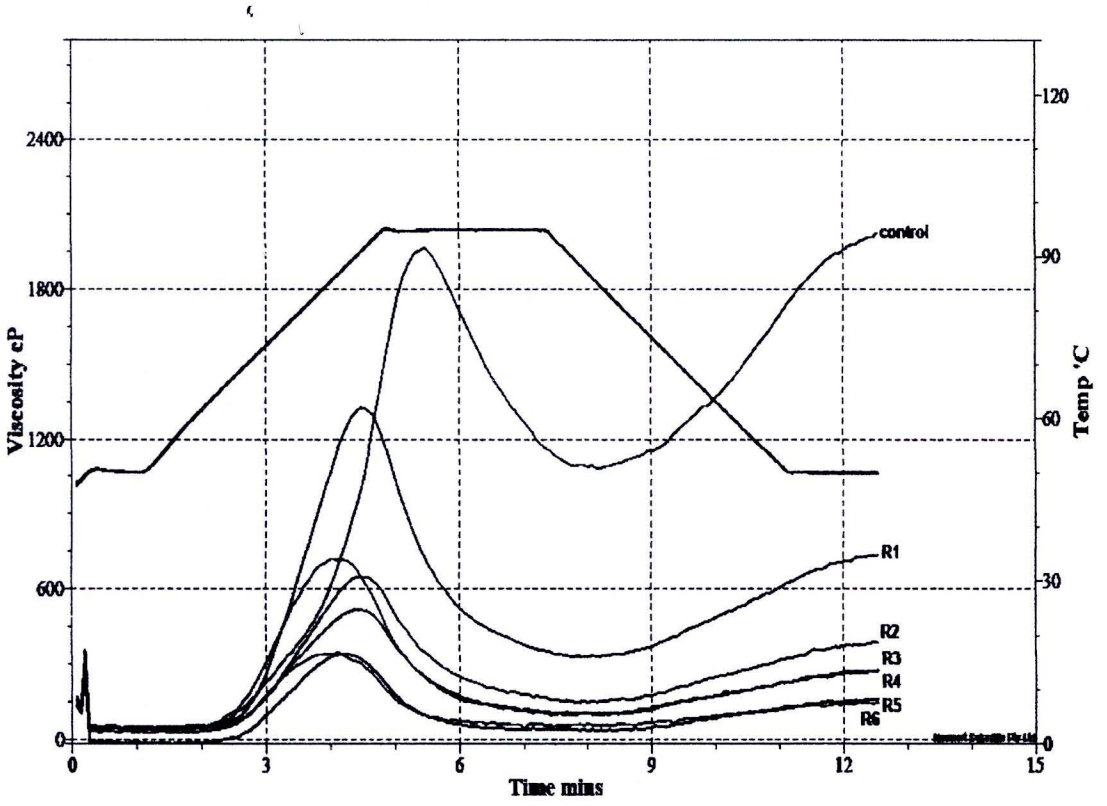
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

4.1.2 ผลของสภาวะในการแช่ข้าวต่อพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด

เมื่อพิจารณาผลของกระบวนการแช่ข้าวต่อพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting properties) ของแป้งข้าวกล้องที่ผ่านการแช่ในสภาวะต่างๆ พบว่า การแช่ข้าวที่อุณหภูมิและระยะเวลาเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่า peak viscosity, final viscosity, breakdown และ setback ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ดังภาพที่ 4.1 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งที่ได้มีความสัมพันธ์กับค่า pH ที่ลดลงจากกระบวนการหมัก และการย่อยคาร์โบไฮเดรตในข้าวด้วยเอนไซม์ (Yang and Tao, 2008)



ภาพที่ 4.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวกล้องงอก R1, R2 และ R3 คือ สภาวะการแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 6, 3 และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ และ R4, R5 และ R6 คือ สภาวะการแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 6, 3 และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 Pasting properties ของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงงอกที่สภาวะการแช่ที่ต่างกัน

คุณลักษณะ	30 องศาเซลเซียส			40 องศาเซลเซียส			ข้าวที่ไม่ผ่านการแช่
	1 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	
Pasting temperature (°C)	73.9±1.2^{ab}	72.7±1.5^{ab}	70.4±0.7^{b}	73.5±1.6^{ab}	72.7±0.0^{ab}	72.0±3.2^{ab}	81.75±5.3^{a}
Peak time (min)	4.4±0.0^{bc}	4.4±0.0^{bc}	4.5±0.1^{b}	4.1±0.0^{bc}	4.0±0.7^{c}	4.2±0.2^{bc}	5.5±0.2^{a}
Peak viscosity (cP)	7032.0±792^{cde}	9702.0±1902^{c}	16182.0±246^{b}	4746.0±594^{e}	5934.0±702de	8238.0±414^{cd}	23616.0±1116^{a}
Trough (cP)	1470.0±249^{c}	1512.0±336^{c}	4170.0±222^{b}	642.0±18^{c}	696.0±84^{c}	1470.0±294^{c}	12984.0±1116^{a}
Break down (cP)	5562.0±498^{cd}	8190.0±1566^{bc}	12012.0±24^{b}	4104.0±576^{d}	5238.0±618^{d}	6768.0±708^{cd}	10632.0±288^{a}
Final viscosity (cP)	3972.0±672^{c}	4758.0±570^{c}	9462.0±642^{a}	1968.0±204^{d}	1896.0±288^{d}	3960±684^{c}	24324.0±348^{d}
Setback from peak (cP)	-3060.0±120^{b}	-4944.0±1332^{bc}	-6720.0±396^{c}	-2778.0±390^{b}	-4038.0±414^{b}	-4278.0±1098^{bc}	768.0±132^{c}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

สำหรับค่า pasting temperature และ peak time นั้น จะเห็นได้ว่ากระบวนการแช่ข้าวที่อุณหภูมิสูงขึ้น และระยะเวลานานขึ้น มีผลทำให้ค่า pasting temperature ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่มีค่า pasting temperature เท่ากับ 81.75 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับที่ทำให้ค่า peak time ลดลงจาก 5.5 นาที มาอยู่ในช่วง 4.0-4.5 นาที (ตารางที่ 4.3) ซึ่งแสดงถึงการแช่ข้าวจะทำให้แป้งข้าวที่ได้เกิดการสุกหรือ เจลาติไนซ์ได้เร็วกว่าแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการแช่ เนื่องจากในระหว่างการงอก เอนไซม์แอมิเลสจะย่อยคาร์โบไฮเดรต และส่งผลต่อความหนืดของแป้ง (Tsai *et al.*, 2006) และเมื่อพิจารณาค่าการคืนตัว (setback from peak) ของแป้งข้าวกล้องงอก พบว่า มีค่าลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น โดยแป้งข้าวกล้องที่แช่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมงมีค่า setback น้อยที่สุดโดยมีค่าเท่ากับเท่ากับ -560 เซนติพอยต์ เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการแช่ที่มีค่า setback from peak เท่ากับ 59 เซนติพอยต์ ซึ่งมีค่าเป็นบวก (ตารางที่ 4.3) แสดงถึงความคงตัวของเจล และความสามารถในการเกิดรีโทรเกร-เดชัน (retrogradation) โดยแป้งที่มีค่าการคืนตัวสูงจะสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดี (Yang and Tao, 2008)

4.1.3 ผลของสภาวะในการแช่ข้าวต่อกำลังการพองตัวและการละลายของแป้ง

จากการวิเคราะห์ค่ากำลังการพองตัวของแป้งและร้อยละการละลายพบว่า เมื่อระยะเวลาการแช่และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่ากำลังการพองตัวของแป้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังตารางที่ 4.4 โดยแป้งข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการแช่มาก่อน จะเกิดการพองตัวได้มากกว่าแป้งข้าวที่ผ่านกระบวนการแช่ เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งข้าวเพิ่มขึ้น โมเลกุลของน้ำจะแพร่เข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลของสายแอมิโลส (amylose) และแอมิโลเพกทิน (amylopectin) ในเม็ดแป้งทำให้เกิดการพองตัวลดลง (Kruger *et al.*, 2003) สำหรับค่าการละลายของแป้ง จะเห็นได้ว่ากระบวนการแช่ข้าวมีผลทำให้แป้งที่ได้ละลายได้เพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีความสามารถการละลายมากกว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังตารางที่ 4.4 เนื่องจากกระบวนการแช่และผ่านการให้ความร้อนจะมีผลต่อการหลุดออกของแอมิโลส และสารประกอบน้ำตาล ทำให้มีสารประกอบที่ละลายได้เพิ่มขึ้น (Jangchud *et al.*, 2003)

ตารางที่ 4.4 ค่าการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งข้าวกล้องงอก

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	กำลังการพองตัว (กรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)	ร้อยละการละลาย (%)
30	1	12.19±0.29^{a}	11.94±1.30^{b}
	3	11.45±0.56^{ab}	11.62±1.20^{b}
	6	11.15±0.18^{ab}	12.37±0.05^{ab}
40	1	11.73±0.74^{ab}	21.51±8.14^{a}
	3	11.33±0.74^{b}	17.99±3.46^{ab}
	6	11.08±0.67^{ab}	14.43±3.10^{ab}
สภาวะที่ไม่ผ่านการแช่		12.34±0.39^{a}	19.90±1.71^{ab}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากการพิจารณาสภาวะการแช่ข้าวที่เหมาะสมที่สุด พิจารณาจากปริมาณ GABA ที่มากที่สุด ในขณะเดียวกัน กระบวนการแช่ข้าวนอกจากจะเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวแล้วยัง สามารถดัดแปรสมบัติของแป้งข้าวในสภาวะที่เหมาะสม เพื่อให้สอดคล้องกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ดังนั้นจึงเลือกสภาวะในการแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการอยู่ในช่วงที่เหมาะสมและมีปริมาณ GABA มากที่สุดเท่ากับ 16.48 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

4.2 การศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอกโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืช โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ มีปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ แป้งข้าวกล้องงอกร้อยละ 60-95 เกล็ดข้าวโพดร้อยละ 0-20 และโปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 5-20

4.2.1 ผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อคุณภาพทางกายภาพ

การผันแปรอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่างกันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยพบว่า การผันแปรปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าสีของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลอ่อนดังภาพที่ ก.1 (ภาคผนวก ก-3)

ตารางที่ 4.5 ผลของแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอก

สิ่งทดลองที่	แป้งข้าวกล้องงอก (กรัม)*	เกล็ดข้าวโพด (กรัม)*	โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (กรัม)*	ค่าสี		
				L*	a*	b*
1	86.25	5.00	8.75	63.83±0.24	6.30±0.23	12.78±0.29
2	80.00	0.00	20.00	67.06±0.56	5.89±0.02	13.27±0.05
3	95.00	0.00	5.00	65.11±1.03	7.97±0.15	13.73±0.13
4	75.00	20.00	5.00	64.41±0.68	7.17±0.12	16.38±0.24
5	77.50	10.00	12.50	64.14±0.41	7.89±0.01	17.14±0.00
6	75.00	20.00	5.00	64.20±0.14	7.21±0.01	16.43±0.16
7	67.50	20.00	12.50	64.20±1.22	7.23±0.47	17.10±1.43
8	60.00	20.00	20.00	65.61±0.19	5.95±0.24	17.43±0.77
9	77.50	10.00	12.50	62.69±0.92	7.56±0.01	15.90±0.27
10	80.00	0.00	20.00	66.48±0.37	7.01±0.13	15.21±0.06
11	70.00	10.00	20.00	64.90±0.34	6.80±0.15	15.82±0.40

หมายเหตุ : * น้ำหนักกรัมของปัจจัยคิดเป็นร้อยละ 95 ต่อน้ำหนัก 100 กรัมของสูตรพื้นฐาน

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ในสิ่งทดลอง 2 มีค่าความสว่าง (L*) สูงสุดเท่ากับ 67.06±0.56 และแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เนื่องจากในสิ่งทดลองนี้ ไม่มีสัดส่วนของปริมาณเกล็ดข้าวโพด เช่นเดียวกับสิ่งทดลองที่ 10 และ 8 ซึ่งมีค่าความสว่างรองลงมา โดยมีค่าเท่ากับ 66.48±0.37 และ 65.61±0.19 ตามลำดับ ส่วนในสิ่งทดลองที่ 3 มีค่าสีแดง (a*) สูงสุดเท่ากับ

7.97±0.15 และแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เนื่องจากในสิ่งทดลองนี้ มีสัดส่วนของปริมาณแป้งข้าวกล้องงอกมากที่สุด ส่วนในสิ่งทดลองที่ 8 มีค่าสีเหลือง (b*) สูงสุดเท่ากับ 17.43±0.77 และแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เนื่องจากในสิ่งทดลองนี้ มีสัดส่วนของปริมาณเกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมากที่สุด

นอกจากนี้การผันแปรปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก ปริมาณเกล็ดข้าวโพด และปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด มีผลทำให้ค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ในช่วง 0.168-0.210 กรัมต่อมิลลิลิตร ค่าแรงกดแตกอยู่ในช่วง 16.98-121.47 นิวตัน อัตราส่วนการพองตัวด้านกว้างอยู่ในช่วง 5.40-9.45 อัตราส่วนการพองตัวด้านยาวอยู่ในช่วง 2.48-3.82 และอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดอยู่ในช่วง 4.34-11.78 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0.30-0.46 ดังตารางที่ 4.6

การใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดไม่มีผลทำให้ค่าความแข็งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p≥0.05) ดังตารางที่ 4.6 โดยมีค่าอยู่ในช่วง 13.93-121.47 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีพื้นผิวที่ไม่เรียบทำให้การวัดค่าในบางตัวอย่างมีความแปรปรวน จึงอาจส่งผลให้ไม่พบความแตกต่างได้ แต่พบว่าการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องงอกมีผลทำให้ค่าความหนาแน่น และอัตราส่วนการพองตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ดังภาพที่ 1 ตัวอย่างเช่น สูตรที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยปริมาณแป้งข้าวกล้องงอกร้อยละ 95 จะมีค่าความหนาแน่น และอัตราส่วนการพองตัวต่ำสุดเท่ากับ 0.168 กรัมต่อมิลลิลิตร และ 5.25 ตามลำดับ สำหรับในสูตรอื่นๆ ที่มีปริมาณแป้งข้าวกล้องงอกแตกต่างกันจะมีค่าความหนาแน่นและอัตราส่วนการพองตัวแตกต่างกันตามปริมาณแป้งที่ผันแปรด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณแอมิโลส และแอมิโลเพกทินในแป้งข้าว โดยปริมาณแอมิโลสจะขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้ง มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวลดลง (Lii *et al.*, 1996) Chen and Yeh (2001) พบว่า แป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสมาก จะมีการพองตัวของผลิตภัณฑ์น้อยกว่าแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสน้อย หรือหากโครงสร้างของสตาร์ชมีความซับซ้อนจะทำให้เม็ดแป้งจึงเกิดการแตกตัวได้ยาก มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้พองตัวลดลง (Krog, 1973) นอกจากนี้ การเพิ่มปริมาณโปรตีนในส่วนผสมทำให้มีปริมาณสตาร์ชที่ลดลงซึ่งส่งผลให้การขยายตัวของผลิตภัณฑ์ลดลง (Chaiyakul *et al.*, 2008) เช่นที่พบในสูตรที่ 8 ซึ่งประกอบด้วยปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 20 จะมีค่าการพองตัวต่ำเท่ากับ 6.65 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Da Costa *et al.* (2010) ซึ่งพบว่า การเพิ่มปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดทำให้การพองตัวในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันลดลง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตารางที่ 4.6 ผลของแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อคุณภาพทางภายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอก

สิ่งทดลองที่	แป้งข้าวกล้องงอก (กรัม)*	เกล็ดข้าวโพด (กรัม)*	โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (กรัม)*	แรงกดแตก (นิวตัน)	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิกรัม)	อัตราส่วนการขยายด้านกว้าง	วอเตอร์แอกทิวิตี
1	86.25	5.00	8.75	55.35±6.69	0.180±0.003	9.45±0.51	0.400±0.020
2	80.00	0.00	20.00	32.66±23.50	0.178±0.000	8.35±0.88	0.410±0.010
3	95.00	0.00	5.00	22.11±10.15	0.168±0.001	5.25±0.79	0.420±0.020
4	75.00	20.00	5.00	34.67±12.54	0.191±0.003	6.35±0.59	0.460±0.000
5	77.50	10.00	12.50	13.93±7.63	0.181±0.002	5.40±0.60	0.340±0.010
6	75.00	20.00	5.00	16.98±9.13	0.197±0.002	6.30±0.66	0.320±0.010
7	67.50	20.00	12.50	24.27±19.78	0.176±0.010	6.25±0.55	0.300±0.010
8	60.00	20.00	20.00	79.17±2.19	0.202±0.006	6.65±0.81	0.390±0.010
9	77.50	10.00	12.50	121.47±35.61	0.190±0.004	5.70±0.73	0.350±0.010
10	80.00	0.00	20.00	116.16±11.02	0.176±0.001	7.30±0.80	0.320±0.010
11	70.00	10.00	20.00	66.35±50.39	0.210±0.002	7.15±0.59	0.330±0.010

หมายเหตุ : * น้ำหนักกรัมของปัจจัยคิดเป็นร้อยละ 95 ต่อน้ำหนัก 100 กรัมของสูตรพื้นฐาน

4.2.2 ผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อคุณภาพทางเคมี

การผันแปรอัตราส่วนของแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด พบว่า ไม่มีผลทำให้ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี และปริมาณความชื้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.240-0.410 และร้อยละ 3.09-4.85 แต่มีผลต่อปริมาณ GABA อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยในสูตรที่มีปริมาณแป้งข้าวกล้องงอกสูงจะมีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น ดังที่พบในสูตรที่ 4 ที่มีปริมาณแป้งข้าวกล้องงอกสูง (ร้อยละ 95) จะมีปริมาณ GABA สูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 15.03 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง สอดคล้องกับรายงานของ Ohtsubo *et al.* (2005) ที่พบว่าปริมาณสาร GABA เพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งข้าวกล้องงอกที่เพิ่มขึ้น โดยกรดชนิดนี้ยังมีบทบาทสำคัญในการเป็นสารสื่อประสาท (neurotransmitter) ในระบบประสาทส่วนกลาง ทั้งนี้มีการนำกรดแอมิโนชนิดนี้ไปใช้ในการรักษาโรคเกี่ยวกับระบบประสาทหลายโรค เช่น โรควิตกกังวล นอนไม่หลับ โรคลมชัก โรคความดันโลหิตสูง ปัสสาวะอักเสบ เป็นต้น (Komatsuzaki *et al.*, 2007) และยังพบว่า กรดกลูตามิกเป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญส่งผลต่อรสชาติของอาหารด้วย (Matsuzaki *et al.*, 1992)

อย่างไรก็ตาม พบว่ากระบวนการเอกซ์ทรูชันจะส่งผลต่อปริมาณสาร GABA ในผลิตภัณฑ์ด้วย โดยในตัวอย่างที่มีแป้งข้าวกล้องงอกร้อยละ 95 ก่อนผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันมีปริมาณสาร GABA เท่ากับ 15.66 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง แต่เมื่อผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันทำให้เหลือปริมาณสาร GABA ในผลิตภัณฑ์เท่ากับ 15.03 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าลดลงประมาณร้อยละ 3.99 (ตารางที่ 4.7) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ohtsubo *et al.* (2005) ที่ไม่การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร GABA ของข้าวกล้องงอกหลังกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

ตารางที่ 4.7 ผลของแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอก

สิ่งทดลองที่	แป้งข้าวกล้องงอก (กรัม)*	เกล็ดข้าวโพด (กรัม)*	โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (กรัม)*	ปริมาณ GABA (กรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	ความชื้น (ร้อยละ)
1	86.25	5.00	8.75	13.84±0.91	3.53±0.18
2	80.00	0.00	20.00	12.85±0.47	3.82±0.21
3	95.00	0.00	5.00	15.03±0.22	4.85±0.11
4	75.00	20.00	5.00	8.18±0.41	4.85±0.00
5	77.50	10.00	12.50	9.23±1.05	3.50±0.40
6	75.00	20.00	5.00	11.75±0.52	3.09±0.02
7	67.50	20.00	12.50	7.25±0.69	3.37±0.07
8	60.00	20.00	20.00	5.47±0.03	3.21±0.04
9	77.50	10.00	12.50	13.30±0.70	3.65±0.00
10	80.00	0.00	20.00	14.04±0.75	3.88±0.11
11	70.00	10.00	20.00	11.97±0.89	3.50±0.10

หมายเหตุ : * น้ำหนักกรัมของปัจจัยคิดเป็นร้อยละ 95 ต่อน้ำหนัก 100 กรัมของสูตรพื้นฐาน

จากตารางที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก ปริมาณเกล็ดข้าวโพด และปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด มีผลต่อค่าคะแนนความชอบในด้านสีอยู่ในช่วงคะแนน 4.6- 5.9 กลิ่นโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 4.9-5.6 รสหวานอยู่ในช่วงคะแนน 4.3-5.0 กลิ่นรสโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 5.0-5.8 ความกรอบอยู่ในช่วงคะแนน 5.6-6.9 และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 5.2-6.1 ของอาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกก่อนผสมนม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เมื่อทดสอบชิมหลังผสมนมแล้วมีความแตกต่างกันในด้านสีอยู่ในช่วงคะแนน 4.9-5.8 กลิ่นโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 5.1-5.9 กลิ่นรสโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 5.1-5.8 เนื้อสัมผัสโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 5.4-6.6 และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 5.3-6.3 ทั้งนี้พบว่าอัตราส่วนของแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านความชอบด้านรสหวานและความชอบโดยรวม

ตารางที่ 4.8 ผลของแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเช้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอกก่อนผสมนม

สิ่งทดลองที่	แป้งข้าวกล้องงอก (กรัม)*	เกล็ดข้าวโพด (กรัม)*	โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (กรัม)*	คุณภาพทางประสาทสัมผัส							
				สี	กลิ่นข้าว	กลิ่นโดยรวม	รสหวาน	รสเค็ม	กลิ่นรสโดยรวม	ความกรอบ	ความชอบโดยรวม
1	86.25	5.00	8.75	5.2±1.3	5.6±1.4	5.6±1.3	5.0±1.5	5.3±1.3	5.8±1.4	6.9±1.0	6.1±1.3
2	80.00	0.00	20.00	4.8±1.7	5.0±1.3	4.8±1.4	4.5±1.7	4.9±1.7	5.2±1.5	6.4±1.1	5.4±1.4
3	95.00	0.00	5.00	5.1±1.4	5.2±1.4	5.5±1.3	4.8±1.6	5.2±1.3	5.5±1.2	6.5±1.2	5.9±1.3
4	75.00	20.00	5.00	5.0±1.5	5.0±1.9	5.2±1.7	4.8±1.8	4.9±1.7	5.8±1.6	6.7±1.3	5.7±1.6
5	77.50	10.00	12.50	4.6±1.5	5.3±1.6	5.0±1.3	4.7±1.7	5.0±1.6	5.0±1.5	5.6±1.7	5.3±1.5
6	75.00	20.00	5.00	5.0±1.4	5.4±1.6	5.1±1.3	4.9±1.6	5.1±1.4	5.5±1.2	6.4±1.3	5.7±1.3
7	67.50	20.00	12.50	5.4±1.2	5.6±1.4	5.5±1.3	4.0±1.5	5.2±1.4	5.4±1.4	6.2±1.3	5.8±1.2
8	60.00	20.00	20.00	5.2±1.3	5.1±1.3	5.1±1.1	4.3±1.4	4.7±1.2	5.1±1.	5.6±1.6	5.2±1.2
9	77.50	10.00	12.50	5.9±1.1	5.5±1.3	5.5±1.1	4.7±1.4	5.2±1.4	5.6±1.1	6.2±1.1	5.7±1.1
10	80.00	0.00	20.00	5.1±1.2	5.6±1.4	5.4±1.3	4.3±1.4	5.0±1.5	5.5±1.3	6.6±1.0	5.6±1.2
11	70.00	10.00	20.00	5.3±1.2	5.1±1.2	5.1±1.0	4.5±1.4	4.7±1.3	5.0±1.2	5.8±1.4	5.0±1.0

หมายเหตุ : * น้ำหนักกรัมของปัจจัยคิดเป็นร้อยละ 95 ต่อน้ำหนัก 100 กรัมของสูตรพื้นฐาน

ตารางที่ 4.9 ผลของแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเช้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอกหลังผสมนม

สิ่งทดลองที่	แป้งข้าวกล้องงอก (กรัม)*	เกล็ดข้าวโพด (กรัม)*	โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (กรัม)*	ลักษณะทางประสาทสัมผัส				
				สี	กลิ่นโดยรวม	กลิ่นรสโดยรวม	เนื้อสัมผัสโดยรวม	ความชอบโดยรวม
1	86.25	5.00	8.75	5.5±1.4	5.7±1.1	5.8±1.3	6.6±1.3	6.3±1.4
2	80.00	0.00	20.00	5.0±1.5	5.2±1.3	5.3±1.6	5.8±1.4	5.4±1.3
3	95.00	0.00	5.00	5.4±1.3	5.5±1.1	5.4±1.3	6.1±1.3	5.7±1.0
4	75.00	20.00	5.00	4.9±1.5	5.4±1.6	5.5±1.5	6.2±1.5	6.0±1.6
5	77.50	10.00	12.50	4.9±1.4	5.1±1.6	5.0±1.6	5.4±1.6	5.3±1.7
6	75.00	20.00	5.00	5.0±1.4	5.9±1.3	5.7±1.3	6.3±1.1	6.1±1.4
7	67.50	20.00	12.50	5.2±1.3	5.6±1.2	5.6±1.2	5.9±1.2	5.8±1.2
8	60.00	20.00	20.00	5.1±1.4	5.2±1.1	5.3±1.2	5.4±1.4	5.3±1.2
9	77.50	10.00	12.50	5.8±1.1	5.8±1.1	5.6±1.2	6.1±1.3	6.2±1.1
10	80.00	0.00	20.00	5.0±1.3	5.3±1.2	5.2±1.3	6.0±1.3	5.8±1.3
11	70.00	10.00	20.00	5.4±1.2	5.6±1.1	5.5±1.1	5.9±1.2	5.8±1.2

หมายเหตุ : * น้ำหนักกรัมของปัจจัยคิดเป็นร้อยละ 95 ต่อน้ำหนัก 100 กรัมของสูตรพื้นฐาน

จากข้อมูลคุณภาพที่ได้นำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้สมการถดถอยกับสูตรของการผลิตอาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 พบว่าปัจจัยในการผลิตมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.10)

จากสมการถดถอยทั้ง 4 สมการ (ตารางที่ 4.10) พิจารณาเฉพาะตัวแปรตามที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาณ GABA ความชอบด้านรสหวาน และความชอบโดยรวม ดังนั้น เมื่อนำสมการถดถอยของตัวแปรความหนาแน่น ปริมาณสาร GABA ความชอบด้านรสหวาน และความชอบโดยรวม ไปสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนองของส่วนผสม (mixture response surface) ที่ผันแปรปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ได้ดังภาพที่ 4.3-4.6

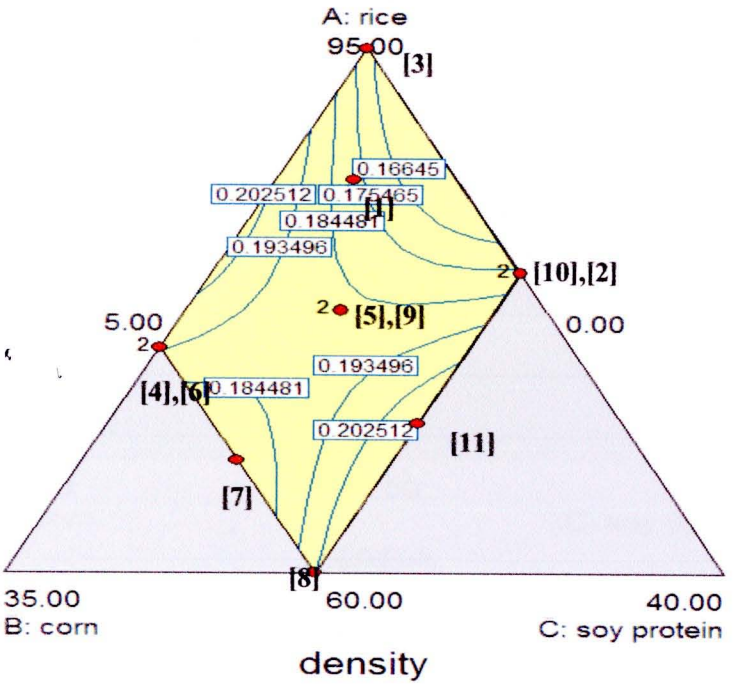
ตารางที่ 4.10 สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์และค่าตอบสนองด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก

คุณภาพ	สมการ	Adj.R^2	*p*-value
ความหนาแน่น	$= 2.04\times10^{-3}(A) - 0.014(B) + 0.030(C) + 2.16\times10^{-4}(AB) - 3.73\times10^{-4}(AC) - 1.56\times10^{-4}(BC)$	0.957	0.002
สาร GABA	$= 0.167(A) + 0.163(B) + 1.20\times10^{-3}(C)$	0.710	0.002
ความชอบด้านรสหวาน	$= 0.051(A) + 0.048(B) + 0.016(C)$	0.882	0.001
ความชอบโดยรวม	$= 0.061(A) + 0.050(B) + 0.029(C)$	0.567	0.035

หมายเหตุ A หมายถึง ปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก (กรัม)
B หมายถึง ปริมาณเกล็ดข้าวโพด (กรัม)
C หมายถึง ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (กรัม)

เมื่อพิจารณาพื้นที่ตอบสนองของค่าความหนาแน่น พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก จะมีค่าความหนาแน่นลดลง เนื่องจากโปรตีน ไขมัน และเส้นใยบางส่วนยังมีอยู่ในส่วนผสมของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่อง ซึ่งเส้นใยอาหารที่มีอยู่ในส่วนผสม มีผลต่อโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เพราะจะทำหน้าที่เหมือน solid filler ทำให้ลักษณะการพองของโมเลกุลของแป้งพองตัวได้ยากขึ้น (Sievert *et al.*, 1990) ในสิ่งทดลองที่ 3, 1, 10 และ 2 ซึ่งประกอบด้วยปริมาณแป้งข้าวกล้องงอกร้อยละ 95, 86.25, 80 และ 80 ตามลำดับ จะมีค่าความหนาแน่นต่ำ (0.168-0.180) ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด จะมีค่าความหนาแน่นสูง โดยพิจารณาจากสิ่ง

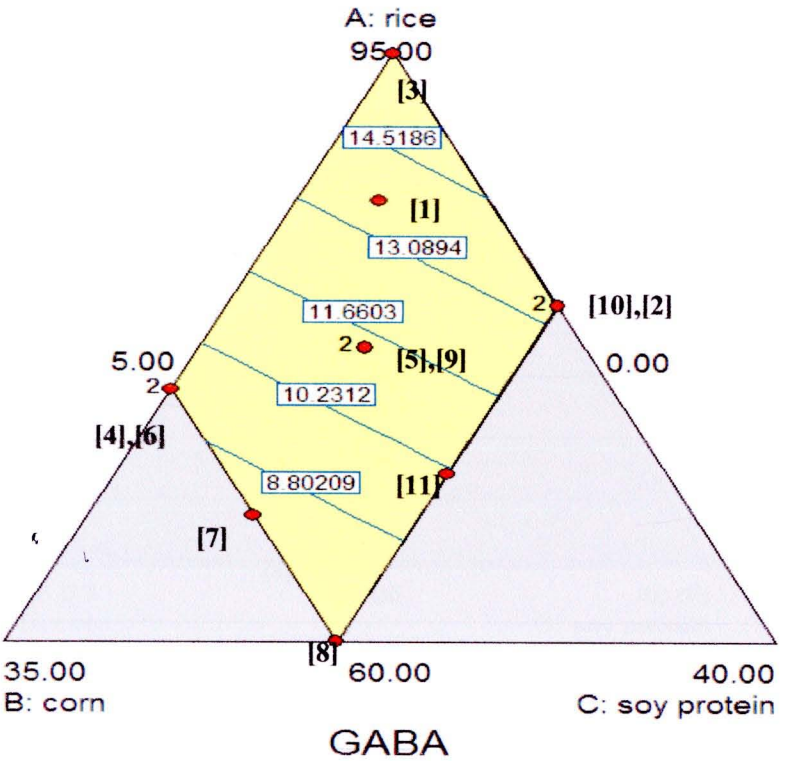
ทดลองที่ 11 และ 8 ซึ่งใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 20 จะให้ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.210 และ 0.202 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2)



ภาพที่ 4.2 พื้นที่การตอบสนองต่อค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกเมื่อผันแปรปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด

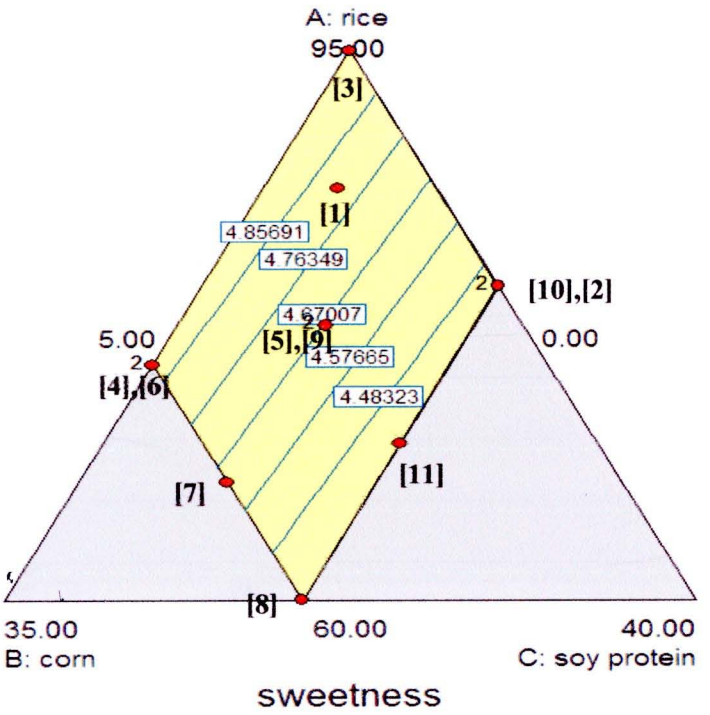
เมื่อพิจารณาพื้นที่ตอบสนองของปริมาณ GABA พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องงอกจะมีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น Ohtsubo *et al.* (2005) พบว่าการผันแปรปริมาณข้าวงอกในกระบวนการเอกซ์ทรูชันมีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้นตามร้อยละของข้าวงอกที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ ซึ่งในสิ่งทดลองที่ 3, 1, 10 และ 2 ซึ่งประกอบด้วยปริมาณแป้งข้าวกล้องงอกร้อยละ 95, 86.25, 80 และ 80 ตามลำดับ จะมีปริมาณ GABA สูง (12.84-15.03 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง) ในขณะที่สิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งมีปริมาณแป้งข้าวกล้องงอกร้อยละ 60 จะให้ปริมาณ GABA น้อยที่สุดเท่ากับ 5.47 (ภาพที่ 4.3)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย



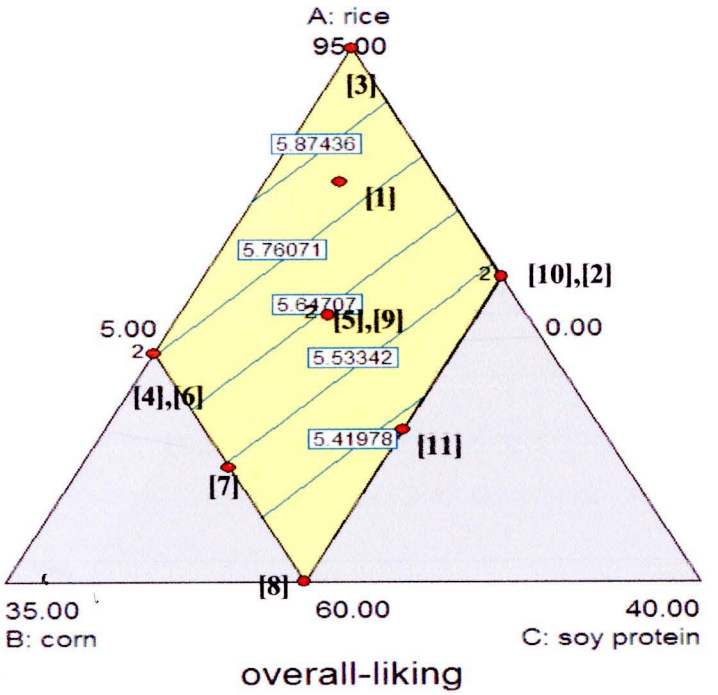
ภาพที่ 4.3 พื้นที่การตอบสนองต่อปริมาณ GABA ของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก เมื่อผันแปรปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด

เมื่อพิจารณาพื้นที่ตอบสนองของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรสหวาน พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก จะมีค่าคะแนนของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรสหวานเพิ่มขึ้น ในสิ่งทดลองที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยปริมาณแป้งข้าวกล้องงอกร้อยละ 95 จะมีค่าคะแนนของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรสหวานสูง เท่ากับ 4.8 ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด จะมีค่าคะแนนของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรสหวานต่ำ โดยพิจารณาจากสิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 20 มีค่าคะแนนของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรสหวานเท่ากับ 4.3 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.4)



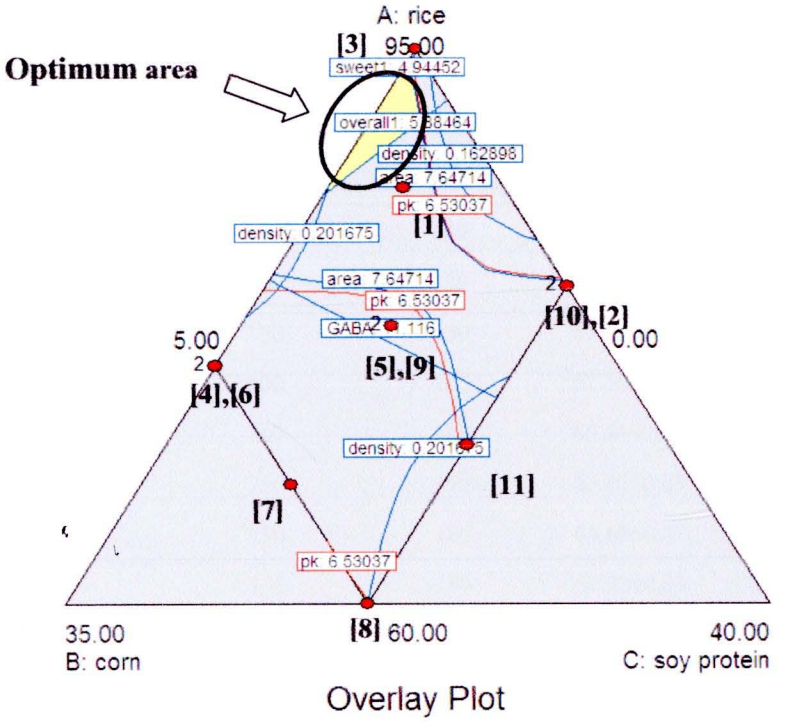
ภาพที่ 4.4 พื้นที่การตอบสนองต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรสหวานของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก เมื่อผันแปรปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด

เมื่อพิจารณาพื้นที่ตอบสนอง ของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก จะมีค่าคะแนนของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมเพิ่มขึ้น ในสิ่งทดลองที่ 1 และ 3 ซึ่งประกอบด้วยปริมาณแป้งข้าวกล้องงอกร้อยละ 86.25 และ 93 จะมีค่าคะแนนของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงเท่ากับ 6.1 และ 5.9 ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด จะมีค่าคะแนนของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมต่ำ โดยพิจารณาจากสิ่งทดลองที่ 8 ซึ่งใช้ปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 20 จะให้ค่าคะแนนของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมเท่ากับ 5.2 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.5)



ภาพที่ 4.5 พื้นที่การตอบสนองต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกเมื่อผันแปรปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก เกล็ดข้าวโพด และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด

จากพื้นที่ตอบสนองของความหนาแน่น ปริมาณ GABA คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านรสหวาน และความชอบโดยรวม (ภาพที่ 4.2-4.5) ทำการทำนายสูตรที่เหมาะสม โดยใช้เกณฑ์คือ ค่าความหนาแน่นต่ำ มีการพองตัวสูง และมีปริมาณสาร GABA สูงที่สุด พบว่า ประกอบด้วยแป้งข้าวกล้องงอก และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดในปริมาณร้อยละ 95 และ 5 ตามลำดับ มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.1699 กรัมต่อมิลลิกรัม ปริมาณ GABA เท่ากับ 15.94 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านรสหวานเท่ากับ 4.95 และความชอบโดยรวมเท่ากับ 5.98 ดังภาพที่ 4.6 ซึ่งช่วงที่เหมาะสม (บริเวณพื้นที่สีเหลือง) ของส่วนผสมที่ผลิตอาหารเช้าธัญพืช



ภาพที่ 4.6 Overlay plot ส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก จากการศึกษาทั้ง 11 สิ่งทดลอง ที่ได้จากการวางแผนแบบส่วนผสม

4.3 การศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมต่อปริมาณ GABA ในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอกโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

การผันแปรกระบวนการผลิตระหว่างความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซนที่ 3 ของบาร์เรล ที่ต่างกันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) โดยพบว่า การผันแปรอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าสีเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 4.11 พบว่า ในสิ่งทดลอง 5 มีค่าความสว่าง (L*) สูงสุดเท่ากับ 65.54±0.78 และแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เนื่องจากในสิ่งทดลองนี้ มีอุณหภูมิในการผลิตสูงที่สุด เช่นเดียวกับสิ่งทดลองที่ 8 และ 7 ซึ่งมีค่าความสว่างรองลงมา โดยมีค่าเท่ากับ 64.92±0.03 และ 64.69±0.37 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 ผลของกระบวนการผลิตต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก

สิ่งทดลอง	ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ (รอบต่อนาที)	ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าสี		
				L*	a*	b*
1	60	250	150	63.72±0.54	7.67±0.34	11.99±0.05
2	30	250	180	64.43±0.33	8.10±0.02	14.96±0.30
3	30	150	150	62.53±0.69	7.63±0.35	11.47±0.25
4	45	200	165	62.36±0.30	7.88±0.02	12.29±0.08
5	60	250	180	65.54±0.78	7.14±0.09	11.90±0.06
6	30	250	150	63.46±0.23	7.89±0.10	13.23±0.30
7	60	150	180	64.69±0.37	7.59±0.13	12.07±0.18
8	30	150	180	64.92±0.03	7.88±0.09	13.14±0.00
9	60	150	150	63.43±0.25	7.93±0.17	12.23±0.32
10	45	200	165	61.55±0.45	8.12±0.02	12.36±0.43
11	45	200	165	64.06±0.88	7.83±0.11	12.90±0.33

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่า ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล มีผลต่อ ค่าแรงกดแตก ซึ่งอยู่ในช่วง 53.14-231.27 นิวตัน ค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.140-0.216 กรัมต่อมิลลิลิตร อัตราส่วนการพองตัวด้านกว้างอยู่ในช่วง 5.5-9.45 อัตราส่วนการพองตัวด้านยาวอยู่ในช่วง 3.32-7.08 และอัตราส่วนการพองตัวของพื้นที่หน้าตัดอยู่ในช่วง 9.26-21.52 ดังตารางที่ 4.12

สำหรับคุณภาพด้านทางกายภาพด้านความหนาแน่น จะเห็นว่าความเร็วของการป้อนวัตถุดิบมีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อพิจารณาที่ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบที่ 30 รอบต่อนาที ค่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซนที่ 3 ของบาร์เรลลดลง ที่ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ 60 รอบต่อนาที การเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่นเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับที่ความเร็วรอบของการป้อนวัตถุดิบคงที่ 30 รอบต่อนาที (ตารางที่ 4.12)
ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความหนาแน่นสูง จะมีค่าแรงกดแตกสูงตามไปด้วย เนื่องจากความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรลต่ำ วัตถุดิบส่วนผสมขณะที่ถูกบีบอัดออกมาจึงได้รับการบดอัดเสียดสีน้อย ทำให้เกิดแรงเค้นต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีการพองตัวน้อย และมีความหนาแน่น

เพิ่มขึ้น (ฤทัยพันธ์, 2537; ประชา และจุฬาลักษณ์, 2550) จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแน่น และแข็งเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงใช้แรงในการกดผลิตภัณฑ์ให้แตกเพิ่มขึ้นไปด้วย

จากคุณภาพทางกายภาพด้านอัตราส่วนการขยายตัว เห็นได้ว่าอัตราส่วนการขยายตัวด้านกว้าง อัตราส่วนการขยายตัวด้านยาว และอัตราส่วนการขยายตัวของพื้นที่หน้าตัดของผลิตภัณฑ์ได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิโซนที่ 3 ของบาร์เรล เมื่อพิจารณาความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ที่ 30 รอบต่อนาที อัตราส่วนการขยายตัวด้านกว้าง อัตราส่วนการขยายตัวด้านยาว และอัตราส่วนการขยายตัวของพื้นที่หน้าตัดของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิโซนที่ 3 เพิ่มขึ้น ดังเช่นในสภาวะการผลิตที่ 2 มีความเร็วของการป้อนวัตถุดิบที่ 30 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของสกรู 250 รอบต่อนาที และอุณหภูมิโซนที่ 3 ของบาร์เรล 180 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.12) และที่ความเร็วรอบของการป้อนวัตถุดิบที่ 60 รอบต่อนาที พบว่า อัตราส่วนการขยายตัวด้านกว้าง อัตราส่วนการขยายตัวด้านยาว และอัตราส่วนการขยายตัวของพื้นที่หน้าตัดของผลิตภัณฑ์จะลดลง เมื่ออุณหภูมิโซนที่ 3 เพิ่มขึ้น แสดงถึงความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับการทดลองของ Pansawat *et al.* (2007) พบว่านอกจากความเร็วรอบของวัตถุดิบแล้ว ความชื้นของการป้อนวัตถุดิบที่เพิ่มขึ้นจาก 150-300 รอบต่อนาที และ 19-23 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการขยายตัวที่เพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล มีผลต่อ ความชื้นของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 2.62-3.51 วอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0.200-0.350 และปริมาณ GABA อยู่ในช่วง 5.43-12.64 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง ดังตารางที่ 4.13 จากคุณภาพทางเคมีด้านความชื้น และค่าวอเตอร์แอกทิวิตี เห็นได้ว่าความชื้น และค่าวอเตอร์-แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์ได้รับอิทธิพลจากความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซนที่ 3 ของบาร์เรล เมื่อพิจารณาที่ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ที่ 30 รอบต่อนาที ความชื้น และค่าวอเตอร์แอกทิวิ-ตีลดลง เมื่อความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซนที่ 3 ของบาร์เรลเพิ่มขึ้น และที่ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ที่ 60 รอบต่อนาที พบว่า ความชื้น และค่าวอเตอร์แอกทิวิตีลดลง เมื่อความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซนที่ 3 ของบาร์เรลเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 4.13) Duric *et al.* (2008) พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโซนที่ 3 ของบาร์เรลในช่วงอุณหภูมิ 111-159 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 12.10-24.77 นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีการขยายตัวลดลงอีกด้วย

ตารางที่ 4.12 ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก

สิ่งทดลอง	ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ (รอบต่อนาที)	ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	แรงกดแตก (นิวตัน)	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	อัตราส่วนการขยายตัวด้านกว้าง	อัตราส่วนการขยายตัวด้านยาว	อัตราส่วนการขยายตัวของพื้นที่หน้าตัด
1	60	250	150	167.52±25.10	0.184±0.005	8.35±0.67	7.08±0.26	19.72±1.76
2	30	250	180	53.14±9.28	0.151±0.001	9.45±0.51	6.83±0.17	21.52±1.23
3	30	150	150	142.86±29.76	0.146±0.000	8.65±0.49	5.93±0.21	16.80±1.49
4	45	200	165	155.16±24.65	0.144±0.001	8.40±0.50	4.90±0.16	13.71±0.78
5	60	250	180	171.73±26.61	0.176±0.002	5.50±0.51	5.83±0.20	10.70±1.13
6	30	250	150	88.76±13.89	0.146±0.003	7.60±0.50	5.23±0.19	13.25±0.90
7	60	150	180	166.90±42.69	0.179±0.001	6.40±0.60	4.83±0.17	10.30±0.89
8	30	150	180	118.96±18.88	0.161±0.002	8.40±0.68	3.32±0.72	9.26±2.15
9	60	150	150	231.27±50.93	0.216±0.003	8.35±0.75	4.52±0.20	12.58±1.92
10	45	200	165	149.49±31.11	0.140±0.001	8.55±0.60	4.78±0.22	13.63±1.09
11	45	200	165	76.88±7.03	0.142±0.000	8.60±0.50	4.70±0.26	13.49±1.27

ตารางที่ 4.13 ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอก

สิ่งทดลอง	ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ (รอบต่อนาที)	ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณ GABA (mg/100g dry sample)
1	60	250	150	0.290±0.002	3.25±0.41	11.90±0.69
2	30	250	180	0.200±0.004	2.64±0.15	5.67±0.43
3	30	150	150	0.280±0.006	3.29±0.19	12.64±0.76
4	45	200	165	0.300±0.001	2.90±0.03	9.04±0.77
5	60	250	180	0.240±0.004	2.35±0.39	7.91±0.80
6	30	250	150	0.200±0.000	3.26±0.14	11.51±0.18
7	60	150	180	0.280±0.005	3.44±0.23	7.35±0.22
8	30	150	180	0.250±0.003	3.30±0.84	5.43±0.72
9	60	150	150	0.350±0.001	3.51±0.12	11.58±0.62
10	45	200	165	0.300±0.001	2.62±0.49	8.67±0.64
11	45	200	165	0.300±0.002	3.03±0.14	8.97±0.21

เมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส ของอาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกก่อนผสมนม พบว่า ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล มีผลต่อคุณลักษณะด้านสี อยู่ในช่วงคะแนน 5.8-6.4 กลิ่นข้าวอยู่ในช่วงคะแนน 5.6-6.8 กลิ่นโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 5.9-6.4 รสหวานอยู่ในช่วงคะแนน 5.9-6.1 รสเค็มอยู่ในช่วงคะแนน 5.9-6.4 กลิ่นรสโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 5.6-6.4 ความกรอบอยู่ในช่วงคะแนน 6.1-7.0 และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 5.8-6.8 ดังตารางที่ 4.14

วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส ของอาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกหลังผสมนม พบว่า ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล มีผลต่อคุณลักษณะด้านสี อยู่ในช่วงคะแนน 6.0-6.4 กลิ่นโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 5.9-6.3 กลิ่นรสโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 5.8-6.9 เนื้อสัมผัสโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 6.0-6.9 และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 6.0-6.9 ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.14 ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเช้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอกก่อนผสมนม

สิ่งทดลอง	ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ (รอบต่อนาที)	ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สี	กลิ่นข้าว	กลิ่นโดยรวม	รสหวาน	รสเค็ม	กลิ่นรสโดยรวม	ความกรอบ	ความชอบโดยรวม
1	60	250	150	6.1±0.6	6.7±0.6	6.4±0.9	6.1±0.8	6.0±0.8	6.0±0.9	6.8±0.9	6.2±0.9
2	30	250	180	6.1±0.7	6.1±0.8	6.2±0.8	5.9±0.9	6.0±0.7	6.0±0.7	6.4±0.9	5.2±0.9
3	30	150	150	6.2±0.8	6.0±0.8	5.9±0.9	5.9±0.8	6.0±0.9	6.1±0.9	6.4±0.9	6.2±0.8
4	45	200	165	6.1±0.7	5.6±0.9	6.2±0.9	5.7±0.9	5.9±0.9	5.6±0.9	6.1±0.7	6.0±0.8
5	60	250	180	6.2±0.9	6.0±0.9	6.3±0.9	6.0±0.9	5.9±0.9	6.0±0.7	6.8±0.9	6.1±0.9
6	30	250	150	6.2±0.9	6.4±0.9	6.4±0.9	6.2±0.7	6.2±0.9	6.4±0.9	7.2±0.9	6.7±0.9
7	60	150	180	6.3±0.6	6.0±0.9	6.1±0.9	5.9±0.9	6.3±0.9	6.3±0.9	7.0±0.9	6.3±0.9
8	30	150	180	5.8±0.9	6.1±0.9	6.1±0.8	5.9±0.9	6.1±0.7	6.1±0.9	7.0±0.9	6.2±0.9
9	60	150	150	6.1±0.9	5.9±0.8	6.1±0.8	6.1±0.9	6.3±0.9	6.2±0.9	6.9±0.9	6.3±0.9
10	45	200	165	6.3±0.8	6.0±0.7	6.0±0.9	6.0±0.8	5.9±0.9	6.4±0.9	6.9±0.9	6.2±0.8
11	45	200	165	6.1±0.9	5.9±0.9	5.9±0.9	6.0±0.8	6.1±0.9	6.3±0.9	6.9±0.9	6.3±0.9

ตารางที่ 4.15 ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเช้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอกหลังผสมนม

สิ่งทดลอง	ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ (รอบต่อนาที)	ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สี	กลิ่นโดยรวม	กลิ่นรสโดยรวม	เนื้อสัมผัสโดยรวม	ความชอบโดยรวม
1	60	250	150	6.1±0.9	6.2±0.8	6.2±0.8	6.5±0.8	6.2±0.9
2	30	250	180	6.0±0.9	6.0±0.9	5.9±0.9	6.3±0.9	6.2±0.8
3	30	150	150	6.1±0.9	6.3±0.9	6.3±0.8	6.4±0.8	6.6±0.8
4	45	200	165	6.0±0.9	5.9±0.9	5.8±0.9	6.0±0.8	6.0±0.7
5	60	250	180	6.3±0.9	6.1±0.9	6.0±0.9	6.2±0.9	6.3±0.9
6	30	250	150	6.4±0.9	6.4±0.9	6.9±0.8	6.9±0.9	6.9±0.9
7	60	150	180	6.3±0.9	6.3±0.9	6.5±0.9	6.6±0.9	6.6±0.9
8	30	150	180	6.1±0.9	6.0±0.9	6.1±0.8	6.4±0.9	6.4±0.9
9	60	150	150	6.3±0.9	6.3±0.9	6.3±0.8	6.6±0.9	6.5±0.8
10	45	200	165	6.2±0.9	6.3±0.8	6.3±0.9	6.7±0.9	6.5±0.9
11	45	200	165	6.2±0.8	6.2±0.7	6.3±0.8	6.5±0.9	6.4±0.8

ตารางที่ 4.16 สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์และค่าตอบสนองด้านต่างๆ ในสภาวะการผลิตที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์

คุณลักษณะ	สมการถดถอย	Adj.R^2	*p*-value
คุณภาพทางกายภาพ			
ความหนาแน่น	$= 0.17+0.019(A) - 5.37\times10^{-3}(B) - 2.75\times10^{-3}(C) + 3.05\times10^{-3}(AB) - 7.76\times10^{-3}(AC) + 2.59\times10^{-3}(BC) - 5.39\times10^{-3}(ABC)$	0.998	0.005
แรงกดแตก	$= 142.65 + 34.49(A) - 29.57(B) - 22.18(C) + 7.62(AB)$	0.830	0.036
อัตราส่วนการขยายตัวด้านกว้าง	$= 7.82 - 0.67(A) - 0.094(B) - 0.38(C) - 0.13(AB) - 0.82(AC) + 0.13(BC) - 0.36(ABC)$	0.998	0.006
อัตราส่วนการขยายตัวด้านยาว	$= 5.45 + 0.12(A) + 0.80(B) - 0.24(C) + 0.094(AB) + 0.01(AC) + 0.33(BC) - 0.72(ABC)$	0.998	0.006
อัตราส่วนการขยายตัวของพื้นที่หน้าตัด	$= 14.27 - 0.94(A) + 2.03(B) - 1.32(C) - 0.15(AB) - 1.50(AC) + 1.13(BC) - 2.82(ABC)$	0.999	0.000
คุณภาพทางเคมี			
ปริมาณความชื้น	$= 5.44 + 0.46(A) - 0.89(B) - 0.67(C) + 0.38(AB) - 0.18(AC) - 0.035(BC)$	0.950	0.045
ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี	$= 0.26 + 0.029(A) - 0.029(B) - 0.017(C) + 3.93\times10^{-3}(AB) - 0.012(AC) + 5.18\times10^{-3}(BC) - 3.06\times10^{-3}(ABC)$	0.999	0.002
ปริมาณ GABA	$= 9.26 + 0.43(A) + 0.010(B) - 2.65(C) + 0.21(AB) + 0.59(AC) + 0.21(BC) - 0.15(ABC)$	0.998	0.004

หมายเหตุ A หมายถึง ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ (รอบต่อนาที)
B หมายถึง ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที)
C หมายถึง อุณหภูมิโซนที่ 3 ของบาร์เรล (องศาเซลเซียส)

จากการพิจารณาสมการถดถอยของคุณภาพทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.16) จะเห็นว่าการผันแปรปัจจัย คือ ปริมาณแป้งข้าวกล้องงอก ปริมาณเกล็ดข้าวโพด และปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองสกัด มีผลต่อค่าความหนาแน่น ค่าแรงกดแตก อัตราส่วนการขยายตัวด้านกว้าง

อัตราส่วนการขยายตัวด้านยาว อัตราส่วนการขยายตัวของพื้นที่หน้าตัด ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี และปริมาณ GABA อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ปริมาณ GABA ได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิโซนที่ 3 ของบาร์เรล เมื่อพิจารณาที่ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ที่ 30 รอบต่อนาที ปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิโซนที่ 3 ของบาร์เรลลดลงและที่ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบคงที่ที่ 60 รอบต่อนาที พบว่าปริมาณ GABA เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิโซนที่ 3 ของบาร์เรลลดลง (ตารางที่ 4.13) เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ วรินธรและสุนัน (2553) พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการลดความชื้นในข้าวกล้องงอกสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณสาร GABA ลดลง เนื่องจาก GABA เป็นสารอาหารที่ไวต่อความร้อน หรือสูญสลายได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 พบว่ามีกระบวนการผลิตที่มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตอาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกทั้งหมด 5 สภาวะ ซึ่งมีความเร็วของการป้อนวัตถุดิบอยู่ที่ 30 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของสกรูอยู่ในช่วง 240.48-250 รอบต่อนาที และอุณหภูมิโซนที่ 3 ของบาร์เรลอยู่ที่ 150.00-160.94 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.17 พบว่าคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นอยู่ที่ 0.146-0.147 กรัมต่อมิลลิลิตร แรงกดแตกอยู่ในช่วง 83.61-93.13 นิวตัน อัตราส่วนการขยายตัวด้านกว้างอยู่ในช่วง 7.60-7.99 อัตราส่วนการขยายตัวด้านยาวอยู่ในช่วง 5.23-5.57 อัตราส่วนการขยายตัวของพื้นที่หน้าตัดอยู่ในช่วง 13.25-15.02 และตารางที่ 4.18 พบว่าคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 4.01-4.24 และวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0.196-0.197 ปริมาณ GABA อยู่ในช่วง 10.27-11.52 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ทั้งคุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมีแล้ว พบว่า ผลที่ได้มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย รวมทั้งกระบวนการผลิตที่ใช้ในการผลิตจริงความเร็วรอบของสกรูที่ต่างกันเพียง 5-10 รอบต่อนาทีแทบจะไม่มีผลกระทบต่อการผลิตจริง

ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกกระบวนการผลิตที่ 1 คือ ความเร็วรอบของการป้อนวัตถุดิบ 30 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของสกรู 250 รอบต่อนาที และอุณหภูมิโซนที่ 3 ของบาร์เรล 150 องศาเซลเซียส เป็นกระบวนการผลิตที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตอาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก

ตารางที่ 4.17 ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพทางกายภาพที่คาดคะเนได้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0

สภาวะที่	ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ (รอบต่อนาที)	ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิโซน 3 ของบาร์เรล (องศาเซลเซียส)	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	แรงกดแตก (นิวตัน)	อัตราส่วนการขยายตัวด้านกว้าง	อัตราส่วนการขยายตัวด้านยาว	อัตราส่วนการขยายตัวของพื้นที่หน้าตัด
1	30.00	250.00	150.00	0.146	93.13	7.60	5.23	13.25
2	30.00	249.28	150.00	0.146	93.66	7.60	5.23	13.27
3	30.00	248.42	150.00	0.146	94.30	7.61	5.24	13.30
4	30.00	250.00	154.57	0.147	86.37	7.88	5.47	14.50
5	30.00	250.00	156.44	0.147	83.61	7.99	5.57	15.02

ตารางที่ 4.18 ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพทางเคมีที่คาดคะเนได้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0

สภาวะที่	ความเร็วของการป้อนวัตถุดิบ (รอบต่อนาที)	ความเร็วรอบของสกรู (รอบต่อนาที)	ความชื้น (ร้อยละ)	วอเตอร์แอกทิวิตี	ปริมาณ GABA (g/100 g db)
1	30.00	250.00	4.24	0.196	11.51
2	30.00	249.28	4.26	0.196	11.51
3	30.00	248.42	4.28	0.197	11.52
4	30.00	250.00	4.08	0.196	10.63
5	30.00	250.00	4.01	0.197	10.27

4.4 ศึกษาอัตราส่วนและชนิดของน้ำตาลที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอกโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน

นำสูตรที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.2 มาทำการผันแปรปริมาณของน้ำตาล โดยผลิตผลิตภัณฑ์จากสูตรส่วนผสมพื้นฐานอาหารเช้าธัญพืชของจุฬาลักษณ์ (2550)

ตารางที่ 4.19 ผลของอัตราส่วนและชนิดของน้ำตาลต่อคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอก

สิ่งทดลอง	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	อัตราส่วนการขยายตัว	แรงกดแตก (นิวตัน)
Sucrose 7%	0.153 ± 0.007^{b}	13.03 ± 1.36^{a}	71.52 ± 12.18^{c}
Sucrose 10%	0.158 ± 0.008^{b}	10.14 ± 1.45^{b}	73.23 ± 18.93^{c}
Sucrose 13%	0.163 ± 0.015^{ab}	8.23 ± 1.04^{c}	87.79 ± 11.91^{b}
Palatyne™ 7%	0.172 ± 0.002^{a}	7.20 ± 1.32^{d}	108.25 ± 25.02^{ab}
Palatyne™ 10%	0.176 ± 0.010^{a}	6.05 ± 1.25^{e}	115.69 ± 25.02^{a}
Palatyne™ 13%	0.178 ± 0.002^{a}	4.72 ± 1.64^{f}	127.35 ± 10.81^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

การผันแปรอัตราส่วนของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ที่อัตราส่วนต่างกัน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่น อัตราส่วนการขยายตัว และค่าแรงกดแตกอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยพบว่าอัตราส่วนของน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความหนาแน่น และค่าแรงกดแตกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังตารางที่ 4.19 สำหรับอัตราส่วนการพองตัวมีค่าลดลงตามอัตราส่วนของน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งอัตราส่วนของน้ำตาลทั้งสองชนิดที่มีค่าความหนาแน่น ค่าแรงกดแตกสูงสุดและการขยายตัวต่ำสุดที่ร้อยละ 13 เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำตาลทำให้โมเลกุลของน้ำตาลเกิดการเกาะตัวกับโมเลกุลของแป้งเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความหนาแน่นขึ้น ซึ่งสตาร์ชเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) เกิดจากมอนอแซ็กคาไรด์ (monosaccharide) หลายหน่วยมาต่อกัน ส่วนน้ำตาลเป็นอาหารคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง เป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดของคาร์โบไฮเดรต การเพิ่มขึ้นของโมเลกุลในผลิตภัณฑ์ทำให้มีพื้นที่ของไอน้ำที่กระจายตัวอยู่ในก้อนแป้งเหลวลดลง เมื่อแป้งเหลวเคลื่อนตัวออกสู่บรรยากาศ ไอน้ำที่อยู่ในก้อนแป้งเหลวจะระเหยและดันก้อนแป้งเกิดรูพรุนกระจายทั่ว (งามชื่น, 2554)

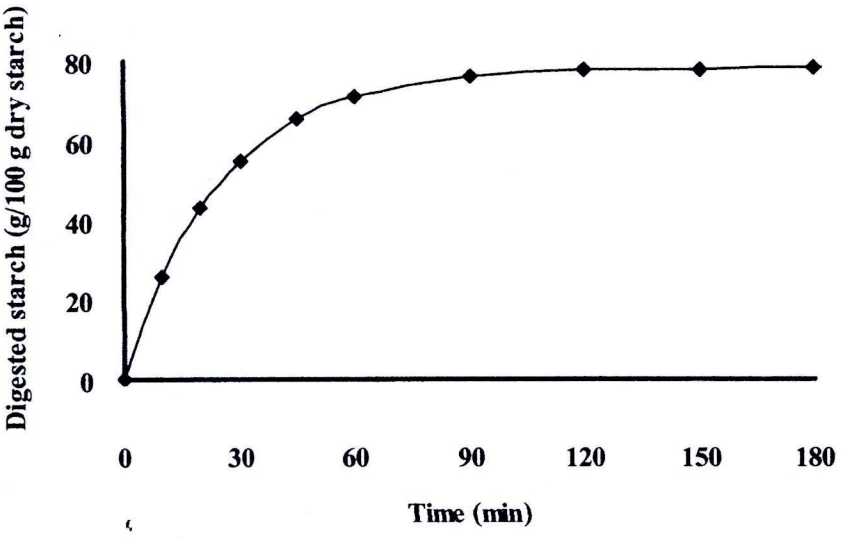
ตารางที่ 4.20 ผลของอัตราส่วนและชนิดของน้ำตาลต่อคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอก

สิ่งทดลอง	ความชื้น (ร้อยละ)	วอเตอร์แอกทิวิตี	ปริมาณสตาร์ช (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)
Sucrose 7%	4.92±0.00^{a}	0.332±0.002^{c}	69.95±0.50^{a}
Sucrose 10%	3.56±0.36^{d}	0.441±0.027^{a}	68.90±0.74^{a}
Sucrose 13%	4.41±0.13^{ab}	0.423±0.000^{a}	68.12±0.24^{ab}
Palatyne™ 7%	3.71±0.24^{cd}	0.394±0.001^{b}	63.37±0.75^{b}
Palatyne™ 10%	4.97±0.32^{a}	0.428±0.003^{a}	58.79±0.63^{c}
Palatyne™ 13%	4.19±0.04^{bc}	0.429±0.005^{a}	57.00±1.12^{c}

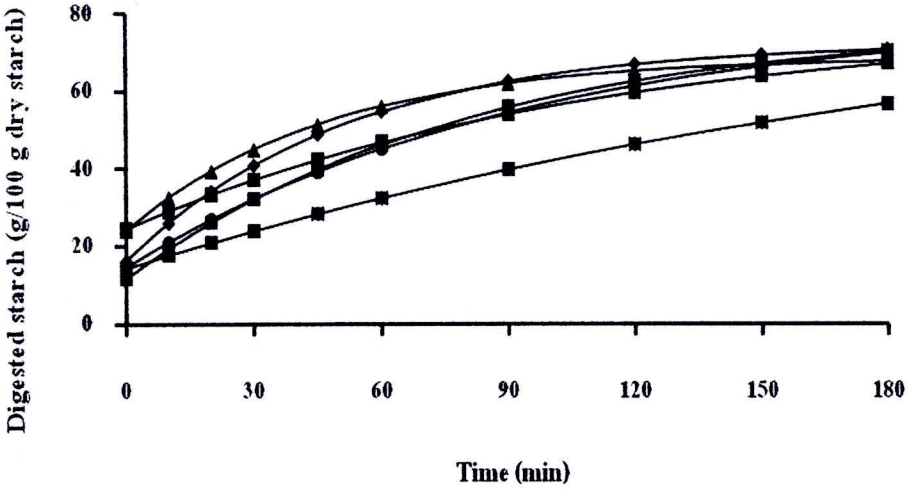
หมายเหตุ : ตัวอักษรต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

การผันแปรอัตราส่วนของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ที่อัตราส่วนต่างๆ กันมีผลทำให้ความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (TTS) ค่าดัชนีน้ำตาล (GI) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยพบว่า อัตราส่วนของน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า TTS (ตารางที่ 4.20) และ GI (ตารางที่ 4.21) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาจากพื้นที่ใต้กราฟ พบว่าอัตราการย่อยสตาร์ชในช่วง 0-180 นาที ของผลิตภัณฑ์ที่ทดแทนน้ำตาลไอโซมอลทูโลสในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบน้ำตาลซูโครส ดังภาพที่ 4.7 และเมื่อนำมาทำนายค่าดัชนีน้ำตาลพบว่า การทดแทนอัตราส่วนน้ำตาลในปริมาณเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลลดลง ซึ่งจะเห็นได้จากค่า D_0 ของสูตรที่มีปริมาณน้ำตาลน้อย จะมีค่าสูง แสดงถึงการย่อยสลายได้รวดเร็ว โดยค่า D_0 เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงอัตราการย่อยสตาร์ชที่เรียกว่า rapidly digested starch (RDS) ที่เกิดการย่อยอย่างรวดเร็วในช่วงต้น (ไม่เกิน 1 นาที) โดยเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสในปาก นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาจากอัตราการย่อย (k) พบว่าผลิตภัณฑ์ทุกตัวอย่างมีอัตราการย่อยช้ากว่าขนมปังขาว ซึ่งค่านี้จะส่งผลต่อการเพิ่มของระดับน้ำตาลในเลือดช้ากว่า (ตารางที่ 4.21) Mahasukhonthachat et al. (2010) พบว่า สมการของอัตราการย่อยสตาร์ชแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และมีอัตราการย่อยช้ากว่าขนมปังขาวในผลิตภัณฑ์เอกซ์ทรูชันจากข้าวฟ่าง



ภาพที่ 4.7 อัตราการย่อยขนมปังขาว



ภาพที่ 4.8 การย่อยแป้งของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชเมื่อทำการทดแทนอัตราส่วนของน้ำตาล โดย —◆— คือ น้ำตาลซูโครสร้อยละ 7, —■— คือ น้ำตาลซูโครสร้อยละ 10, —■— คือน้ำตาลซูโครสร้อยละ 13 —■— คือ น้ำตาลพาลาทีนร้อยละ 7, —■— คือ น้ำตาลพาลาทีนร้อยละ 10 และ —▲— คือ น้ำตาลพาลาทีนร้อยละ 13

ตารางที่ 4.21 ตัวแปรในโมเดลการทำนาย ดัชนีไฮโดรไลซิส และค่าดัชนีน้ำตาลจากการทำนายของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกเมื่อทำการผันแปรอัตราส่วนของน้ำตาล

สิ่งทดลอง	D_0	D_∞	k (min^{-1})	H_{90} [b]	HI [c]	pGI [d]
White bread (WB)	-	78.19	0.040	76.10	100.00	100.28
Sucrose 7%	16.05	56.50	0.019	62.59	70.76	89.46
Sucrose 10%	24.49	52.81	0.009	54.19	67.19	82.72
Sucrose 13%	24.12	44.41	0.021	61.92	67.55	88.93
Palatyne™ 7%	11.72	65.70	0.012	55.96	70.41	84.14
Palatyne™ 10%	14.34	76.01	0.004	39.77	56.70	71.15
Palatyne™ 13%	14.42	65.47	0.010	54.48	70.03	82.96

หมายเหตุ [a] อ้างอิงจาก Goni *et al.* (1997)

[b,c] ทำนายอัตราการย่อยแป้งที่ 90 and 180 นาที โดยใช้ modified first-order kinetic model จาก Mahasukhonthachat *et al.* (2009)

[d] ทำนายค่าดัชนีน้ำตาล (GI) โดยใช้สมการของ Goni *et al.* (1997) as $GI=39.21+(0.803\times H_{90})$

เมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกก่อนผสมนม พบว่า การผันแปรอัตราส่วนของน้ำตาล มีผลต่อคุณลักษณะด้านสี อยู่ในช่วงคะแนน 6.3-6.6 กลิ่นข้าวอยู่ในช่วงคะแนน 6.2-6.7 รสหวานอยู่ในช่วงคะแนน 5.3-6.8 รสเค็มอยู่ในช่วงคะแนน 5.1-6.6 กลิ่นรสโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 5.5-6.3 ความกรอบอยู่ในช่วงคะแนน 5.0-6.8 และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 5.4-6.7 ดังตารางที่ 4.22

วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกหลังผสมนม พบว่า การผันแปรอัตราส่วนของน้ำตาล มีผลต่อคุณลักษณะด้านสี อยู่ในช่วงคะแนน 6.4-6.8 กลิ่นโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 6.1-6.8 กลิ่นรสโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 5.9-6.5 เนื้อสัมผัสโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 5.5-6.6 และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงคะแนน 6.8-6.5 ดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.22 ผลของอัตราส่วนและชนิดของน้ำตาลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมอาหารเช้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอกก่อนผสมนม (n = 50)

สิ่งทดลอง	ลักษณะทางประสาทสัมผัส						
	สี	กลิ่นข้าว	รสหวาน	รสเค็ม	กลิ่นรสโดยรวม	ความกรอบ	ความชอบโดยรวม
Sucrose 7%	6.4±0.9^{ab}	6.4±0.9^{ab}	6.3±0.6^{b}	6.4±0.6^{a}	6.3±0.5^{a}	6.8±0.9^{a}	6.7±0.6^{a}
Sucrose 10%	6.4±0.8^{ab}	6.5±0.6^{ab}	6.2±1.3^{bc}	6.4±0.9^{a}	6.0±1.1^{abc}	6.7±0.6^{ab}	6.6±1.0^{a}
Sucrose 13%	6.8±0.8^{a}	6.7±1.1^{a}	6.8±1.3^{a}	6.6±1.3^{a}	6.1±1.3^{ab}	6.4±1.2^{abc}	6.6±1.1^{a}
Palatyne™ 7%	6.6±0.8^{ab}	6.4±0.9^{ab}	5.3±0.4^{d}	5.1±1.1^{c}	5.5±1.2^{c}	6.3±1.1^{bc}	6.4±0.9^{a}
Palatyne™ 10%	6.3±1.5^{b}	6.0±1.5^{b}	5.8±1.3^{c}	5.5±1.8^{bc}	5.6±1.9^{bc}	6.0±1.7^{c}	5.8±1.9^{b}
Palatyne™ 13%	6.4±1.4^{ab}	6.2±1.5^{ab}	5.9±1.2^{bc}	5.7±1.4^{b}	5.8±1.4^{abc}	5.0±1.7^{d}	5.4±1.9^{b}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.23 ผลของอัตราส่วนและชนิดของน้ำตาลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมอาหารเช้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอกหลังผสมนม (n = 50)

สิ่งทดลอง	ลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	สี^{ns}	กลิ่นโดยรวม	กลิ่นรสโดยรวม^{ns}	เนื้อสัมผัสโดยรวม	ความชอบโดยรวม
Sucrose 7%	6.4±0.9	6.6±0.8^{ab}	6.5±0.9	6.6±0.9^{a}	6.1±1.0^{ab}
Sucrose 10%	6.5±0.6	6.7±1.1^{a}	6.2±0.8	5.9±0.9^{bc}	5.8±1.0^{b}
Sucrose 13%	6.8±0.8	6.8±1.3^{a}	6.5±1.0	6.7±0.9^{a}	6.5±1.3^{a}
Palatyne™ 7%	6.7±0.8	6.5±0.8^{ab}	6.3±1.1	6.3±1.3^{ab}	6.3±1.1^{ab}
Palatyne™ 10%	6.5±1.5	6.1±1.5^{b}	5.9±1.8	6.3±1.2^{ab}	6.0±1.5^{ab}
Palatyne™ 13%	6.8±0.9	6.3±1.5^{ab}	6.1±1.3	5.5±1.6^{c}	5.8±1.7^{b}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

เนื่องจากคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสหวานของผู้ทดสอบชิมยังมีความแตกต่างกันมาก จึงทำการสำรวจทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกก่อนผสมนม ที่ใช้น้ำตาลไอโซมอลทูโลสที่อัตราส่วนร้อยละ 7, 10 และ 13 ตามลำดับ แสดงผลดังตารางที่ 4.24-4.26 และทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกหลังผสมนม ดังตารางที่ 4.27-4.29 พบว่าที่การทดแทนน้ำตาลไอโซมอลทูโลสร้อยละ 10 มีคะแนนความพอดีด้านรสหวานมากที่สุดทั้งก่อนและหลังผสมนมเท่ากับ 72 และ 82 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.24 ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกที่ใช้น้ำตาลไอโซ-มอลทูโลส ร้อยละ 7 ก่อนผสมนม (n = 50)

คุณลักษณะ	ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ)				
	ปรับให้ลดลงมาก	ปรับให้ลดลงเล็กน้อย	พอดี	ปรับให้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย	ปรับให้เพิ่มขึ้นมาก
สี	0	29	71	0	0
กลิ่นข้าว	0	8	52	40	0
รสหวาน	0	22	38	40	0
รสเค็ม	0	5	45	30	20
กลิ่นรสโดยรวม	0	19	41	40	0
ความกรอบ	9	21	40	20	10

ตารางที่ 4.25 ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกที่ใช้น้ำตาลไอโซ-มอลทูโลส ร้อยละ10 ก่อนผสมนม (n = 50)

คุณลักษณะ	ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ)				
	ปรับให้ลดลงมาก	ปรับให้ลดลงเล็กน้อย	พอดี	ปรับให้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย	ปรับให้เพิ่มขึ้นมาก
สี	0	16	84	0	0
กลิ่นข้าว	0	2	74	14	10
รสหวาน	0	18	72	10	0
รสเค็ม	10	20	60	10	0
กลิ่นรสโดยรวม	4	6	54	30	0
ความกรอบ	10	34	36	20	0

ตารางที่ 4.26 ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกที่ใช้น้ำตาลไอโซ-มอลทูโลส ร้อยละ13 ก่อนผสมนม (n = 50)

คุณลักษณะ	ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ)				
	ปรับให้ลดลงมาก	ปรับให้ลดลงเล็กน้อย	พอดี	ปรับให้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย	ปรับให้เพิ่มขึ้นมาก
สี	0	30	60	10	0
กลิ่นข้าว	0	20	40	30	0
รสหวาน	20	20	40	20	0
รสเค็ม	10	40	20	30	0
กลิ่นรสโดยรวม	0	20	60	20	0
ความกรอบ	20	20	50	10	0

ตารางที่ 4.27 ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกที่ใช้น้ำตาลไอโซ-มอลทูโลส ร้อยละ 7 หลังผสมนม (n = 50)

คุณลักษณะ	ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ)				
	ปรับให้ลดลงมาก	ปรับให้ลดลงเล็กน้อย	พอดี	ปรับให้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย	ปรับให้เพิ่มขึ้นมาก
สี	0	2	64	34	0
รสหวาน	0	10	78	12	0
รสเค็ม	0	4	86	10	0
กลิ่นรสโดยรวม	0	2	78	20	0
ความกรอบ	0	12	58	30	0

ตารางที่ 4.28 ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกที่ใช้น้ำตาลไอโซ-มอลทูโลส ร้อยละ10 หลังผสมนม (n = 50)

คุณลักษณะ	ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ)				
	ปรับให้ลดลงมาก	ปรับให้ลดลงเล็กน้อย	พอดี	ปรับให้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย	ปรับให้เพิ่มขึ้นมาก
สี	0	26	64	10	0
รสหวาน	0	18	82	0	0
รสเค็ม	0	24	76	0	0
กลิ่นรสโดยรวม	0	10	66	22	2
ความกรอบ	0	12	78	10	0

ตารางที่ 4.29 ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกที่ใช้น้ำตาลไอโซ-มอลทูโลส ร้อยละ13 หลังผสมนม (n = 50)

คุณลักษณะ	ทิศทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ)				
	ปรับให้ลดลงมาก	ปรับให้ลดลงเล็กน้อย	พอดี	ปรับให้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย	ปรับให้เพิ่มขึ้นมาก
สี	20	2	78	0	0
รสหวาน	10	30	60	0	0
รสเค็ม	0	18	72	10	0
กลิ่นรสโดยรวม	0	16	64	12	8
ความกรอบ	10	24	66	0	0

การพิจารณาผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สุด พิจารณาจากค่าดัชนีน้ำตาลที่ต่ำ ในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์ยังมีการขยายตัว และเนื้อสัมผัสมีความกรอบ เพื่อให้สอดคล้องกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ดังนั้นจึงเลือกการทดแทนน้ำตาลไอโซมอลทูโลส ที่อัตราส่วนร้อยละ 10 ในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีค่าดัชนีน้ำตาลการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ และการยอมรับของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

4.5 การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากแป้งข้าวกล้องงอกที่พัฒนาได้

จากการพัฒนาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก ใช้วัตถุดิบได้แก่ แป้งข้าวกล้องงอกร้อยละ 80 โปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 5 น้ำตาลร้อยละ 10 เกลือร้อยละ 3 แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 2 โดยสัดส่วนของวัตถุดิบแต่ละชนิดนั้นคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด สำหรับคุณภาพทางเคมีกายภาพ และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาแล้ว ดังตารางที่ 4.30-4.31 โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าความชื้น จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา รวมทั้งโคลิฟอร์มแบคทีเรีย กับข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ขนมกรอบจากธัญชาติ มอก. 1534-2541 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532) พบว่าผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก์ที่พัฒนาได้มีคุณภาพที่ปลอดภัยเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานนั้น สำหรับปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 13.10, 4.06 และ 3.04 ตามลำดับ ตามที่ Thai RDI (Recommended Daily Intakes) ได้แนะนำปริมาณโปรตีนให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป เท่ากับร้อยละ 10 โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี ซึ่งในการกล่าวอ้างว่าผลิตภัณฑ์ใดจะเป็นแหล่งของโปรตีนนั้น จะต้องมีโปรตีน ร้อยละ 10 ถึง 15 ของการบริโภคต่อวัน (% daily value) (สำนักโภชนาการ, 2554) ดังนั้นหากจะกล่าวอ้างว่าอาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกเป็นแหล่งของโปรตีน ในหนึ่งหน่วยบริโภคของ อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก คือ 30 กรัม จึงโปรตีนต่อหนึ่งหน่วยบริโภคเท่ากับ 3.00 ถึง 4.50 กรัม จากผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกที่ผ่านการพัฒนา พบว่า ผลิตภัณฑ์มีโปรตีนในปริมาณร้อยละ 13.19 นั่นคือผลิตภัณฑ์ 30 กรัม มีโปรตีนเท่ากับ 3.95 กรัม ดังนั้นจึงกล่าวอ้างทางโภชนาการได้ว่าผลิตภัณฑ์อาหารธัญพืชจากข้าวกล้องงอกที่พัฒนานี้ เป็นแหล่งของโปรตีน

ตารางที่ 4.30 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกที่พัฒนาได้

คุณภาพทางกายภาพ	หน่วย	ปริมาณ
ความชื้น	ร้อยละ	4.95 ± 0.08
ค่า a_w (ที่ 25 °C)		0.31 ± 0.00
ค่าสี L*		57.40 ± 0.36
a*		8.60 ± 0.27
b*		13.11 ± 0.31
ค่าแรงกดแตก	นิวตัน	164.52 ± 51.26
ความหนาแน่น	กรัมต่อมิลลิลิตร	0.26 ± 0.00
อัตราส่วนการพอ่งตัว		4.95 ± 0.75

ตารางที่ 4.31 คุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกที่พัฒนาได้

คุณภาพ	หน่วย	ปริมาณ
คุณภาพทางเคมี		
โปรตีน (crude protein)	ร้อยละ	13.19 ± 0.35
ไขมัน (crude fat)	ร้อยละ	0.69 ± 0.11
ใยอาหาร (crude fiber)	ร้อยละ	2.12 ± 0.29
เถ้า	ร้อยละ	3.04 ± 0.08
คาร์โบไฮเดรต	ร้อยละ	75.32 ± 0.35
สาร GABA	mg/100g dry sample	11.66 ± 0.10
ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด	ร้อยละ	56.25 ± 2.13
ค่าดัชนีน้ำตาล	g/100g dry sample	61.25 ± 0.63
คุณภาพทางจุลินทรีย์		
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด	(CFU/g)	3.2×10^3
ยีสต์และรา	(CFU/g)	35
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	(MPN/g)	< 3.0

ตารางที่ 4.32 ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกที่ผ่านการพัฒนาทดสอบชิมก่อนผสมนม แล้วเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกันในท้องตลาด (n = 200)

ผลิตภัณฑ์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส						
	สี	กลิ่นข้าว ns	รสหวาน ns	รสเค็ม ns	กลิ่นรสโดยรวม	ความกรอบ ns	ความชอบโดยรวม ns
อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก	6.7±0.9a	6.7±0.9	6.7±0.9	6.7±0.9	7.0±0.9a	7.4±0.9	6.9±0.9
ผลิตภัณฑ์จากท้องตลาด**	6.5±0.8b	6.7±0.8	6.7±1.0	6.7±0.9	6.8±1.0b	7.4±1.0	6.8±1.0

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$), ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$),

**ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชที่จำหน่ายในท้องตลาด

ตารางที่ 4.33 ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกที่ผ่านการพัฒนาทดสอบชิมหลังผสมนม แล้วเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกันในท้องตลาด (n = 200)

สิ่งทดลอง	ลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่นโดยรวม	กลิ่นรสโดยรวม ns	เนื้อสัมผัสโดยรวม ns	ความชอบโดยรวม ns
อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก	6.9±0.9a	6.9±0.9	7.1±0.9a	7.0±0.9	7.2±0.9
ผลิตภัณฑ์จากท้องตลาด**	6.7±01.2b	6.9±1.1	6.9±1.2b	7.1±1.0	7.2±1.0

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$), ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$),

**ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชที่จำหน่ายในท้องตลาด

สำหรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก ทำการทดสอบกับผู้บริโภคจำนวน 200 คนโดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 (9-point hedonic scale) ในการให้คะแนนคุณลักษณะในด้านความชอบโดยรวม สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส ซึ่งในการทดสอบนี้ได้ให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกที่ผ่านการพัฒนาแล้ว ควบคู่ไปกับการทดสอบผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชที่ใกล้เคียงกันในท้องตลาด ผลการทดสอบแสดงดังตาราง 4.32 และ 4.33 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาแล้วนั้นทดสอบชิมก่อนผสมนมมีค่าคะแนนความชอบในด้าน สี กลิ่นโดยรวม รสหวาน รสเค็ม รสชาติโดยรวม ความกรอบ เนื้อสัมผัสโดยรวม และความชอบโดยรวม เท่ากับ 6.7, 6.7, 6.7, 6.7, 7.0, 7.4, 6.9 และ 7.0 คะแนนตามลำดับ และทดสอบชิมหลังผสมนมมีค่าคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่นโดยรวม กลิ่นรสโดยรวม เนื้อสัมผัสโดยรวม และความชอบโดยรวม เท่ากับ 6.9, 6.9, 7.1, 7.0 และ 7.2 ตามลำดับ แสดงว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์นี้ แล้วเมื่อนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกันในท้องตลาด พบว่าคะแนนความชอบก่อนผสมนมในด้าน กลิ่นข้าว รสหวาน รสเค็ม ความกรอบ และความชอบโดยรวม และคะแนนความชอบหลังผสมนมในด้านกลิ่นรสโดยรวม เนื้อสัมผัสโดยรวม และความชอบโดยรวมนั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) กับผลิตภัณฑ์จากท้องตลาด โดยผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกที่พัฒนาได้นั้นมีคะแนนความชอบเฉลี่ยที่สูงกว่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกที่พัฒนานี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับ และมีคะแนนความชอบที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด

4.6 การศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก

การทดสอบอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอกที่ผ่านการพัฒนาเมื่อทำการตรวจสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ และทางด้านประสาทสัมผัส ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ พบว่า คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีมีคะแนนอยู่ในช่วง 3.2-6.3 คะแนน และคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบมีคะแนนอยู่ในช่วง 1.3-6.5 คะแนน (ตารางที่ 4.34) และคุณภาพทางกาย (ค่าแรงกดแตก) อยู่ในช่วง 56.23-140.56 นิวตัน (ตารางที่ 4.35) ซึ่งผู้ทดสอบร้อยละ 89 ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ที่สภาวะการเก็บที่มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเท่ากับ 0.587 (จุดวิกฤต) มีคะแนนความชอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีและความกรอบของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 5.8 และ 6.1 ตามลำดับ และค่าแรงกดแตกเท่ากับ 76.89 นิวตัน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตารางที่ 4.34 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชหลังจากการเก็บรักษาที่สภาวะแตกต่างกัน

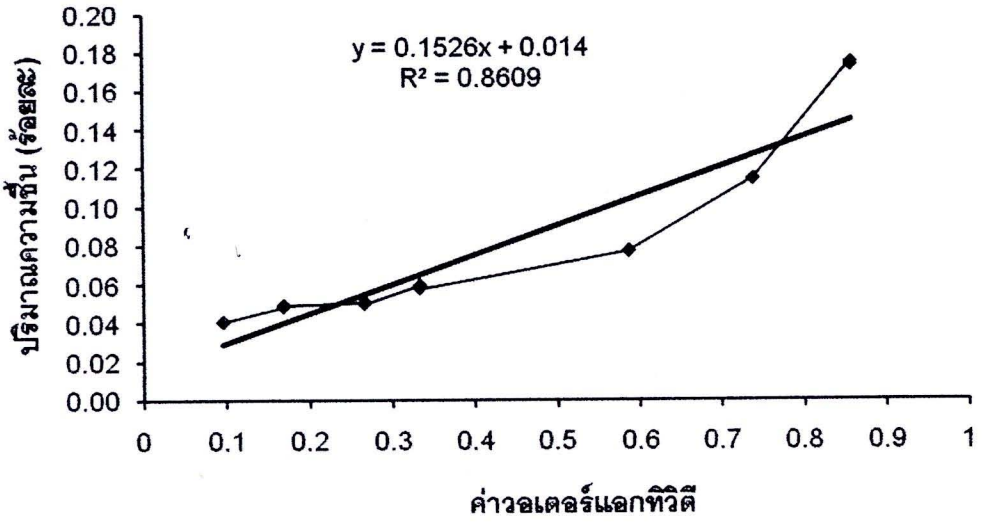
ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี	คะแนนความชอบด้านสี	คะแนนความชอบด้านความกรอบ	ยอมรับผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ)	ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ)
0.959	3.2±1.9	1.5±0.7	2	98
0.858	3.6±1.8	1.7±1.0	2	98
0.738	5.1±1.6	3.4±1.7	11	89
0.587	5.4±1.0	5.0±1.8	11	89
0.333	5.8±1.3	6.1±1.1	60	40
0.266	6.2±1.1	6.5±1.3	76	24
0.168	5.9±1.2	5.6±1.5	79	21
0.095	6.3±1.0	5.9±1.2	88	12

หมายเหตุ: การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 (9-point hedonic scale) (เพ็ญขวัญ, 2550) ด้วยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน โดยให้ผู้ทดสอบสัมผัสตัวอย่างด้วยมือ (ห้ามดมและชิมตัวอย่าง) แล้วให้คะแนนความชอบ ดังภาคผนวก ก (ก-1)

ตารางที่ 4.35 ผลของค่าแรงกดแตกและความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชหลังจากการเก็บรักษาที่สภาวะแตกต่างกัน

ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี	ค่าแรงกดแตก (นิวตัน)	ความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
0.959	140.56	0.25
0.858	110.45	0.17
0.738	109.33	0.11
0.587	94.65	0.07
0.333	76.89	0.05
0.266	64.66	0.05
0.168	59.87	0.04
0.095	56.23	0.04

เมื่อนำปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก (ตารางที่ 4.35) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเป็นสมการเส้นตรงดังภาพที่ 4.8 โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.86



ภาพที่ 4.9 สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดย —— หมายถึง สมการเส้นตรง และ —◆— หมายถึง ปริมาณความชื้น

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาอายุการเก็บในสภาวะเร่ง ยกตัวอย่างการทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 เมื่อใช้ฟอยล์ลามิเนท (laminated) เป็นบรรจุภัณฑ์ ซึ่งให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR) เท่ากับ 0.310 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านเท่ากับ 0.009 กรัมต่อตารางเมตรต่อวันต่อมิลลิเมตรปรอท ซึ่งสมการที่ใช้ในการทำนายอายุการเก็บรักษาโดยใช้ sorption isotherm (แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข (ข.2.12) (Al-Muhtaseb *et al.*, 2010)

เมื่อใช้สมการเพื่อทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืชจากข้าวกล้องงอก ที่อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ สามารถทำนายอายุการเก็บรักษาได้ ดังตารางที่ 4.36

ตารางที่ 4.36 ค่าจากการทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่างกัน

สภาวะการเก็บ (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	อายุการเก็บ (วัน)	อายุการเก็บ (สัปดาห์)
45	70	477	68
45	80	204	29
55	70	286	40
55	80	122	17

การผันแปรสภาวะในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 45 องศาเซลเซียส เป็น 55 องศาเซลเซียส มีผลทำให้อายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลดลง และอายุการเก็บรักษาลดลงตามร้อยละของความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นด้วย ดังตารางที่ 4.34 จากการทำนายสภาวะการเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 และร้อยละ 80 พบว่า ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาลดลงจาก 477 วันเหลือ 286 วัน และจาก 204 วันเหลือ 122 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 4.36) เนื่องจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือปฏิกิริยาการเสื่อมเสียในอาหารมักจะขึ้นกับอุณหภูมิ โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเสื่อมเสียมักจะเพิ่มขึ้นด้วย (ยุทธนา, 2553) นอกจากนี้ความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากเกิดการถ่ายเทความชื้นหรือไอน้ำที่มีอยู่ทั้งภายใน และภายนอกผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (equlilbrium relative humidity, ERH) (Labuza and Hyman, 1998) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Siripatrawan and Jantawat (2008) พบว่าการทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จากความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75 เป็นร้อยละ 85 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลดลงจาก 401 เป็น 311 วัน ที่บรรจุผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ประเภทอะลูมิเนียมฟอล์ย (aluminum) จะเห็นได้ว่าบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์ก็มีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญพืช นอกจากบรรจุภัณฑ์ประเภทอะลูมิเนียมฟอล์ย (aluminum) แล้ว Siripatrawan and Jantawat (2008) ศึกษาบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือชนิดพอลิพรอพิลีน (polypropylene, PP) และชนิดพอลิเอทิลีน (polyethylene, PE) บรรจุตัวอย่างในถุงทั้ง 2 ชนิดนี้แล้วเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียส มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75 สังเกตลักษณะความคงตัวของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปก็ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นที่ทุกการเก็บตัวอย่าง ถุงชนิด PP มีอายุการเก็บรักษาสูงกว่าถุงชนิด PE อาจเนื่องมาจากบรรจุภัณฑ์สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง