

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพทางเคมีของข้าวเหนียวดำ

ตารางที่ 3 คุณภาพทางเคมีของข้าวเหนียวดำ

คุณภาพ	ข้าวเหนียวดำ (ข้าวกล้อง)
Proximate Analysis	
- ความชื้น (g/100g wet basis)	15.75±0.03
- โปรตีน (g/100g wet basis)	8.15±0.01
- ไขมัน (g/100g wet basis)	2.68±0.04
- คาร์โบไฮเดรต (g/100g wet basis)	68.23±0.03
- เถ้า (g/100g wet basis)	2.37±0.03
- กาก (g/100g wet basis)	2.82±0.02
คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%)	73.56±0.47
ปริมาณแอมิโลส (g/100g dry basis)	3.60±0.05
ปริมาณสารแอนโทไซยานิน (mg/100g dry basis)	97.81±7.65
ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (mg/100g dry basis)	312.97±4.49

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของข้าวกล้องข้าวเหนียวดำ พบว่า มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า กาก และอะมิโลส เท่ากับร้อยละ 15.75, 8.15, 2.68, 68.23, 2.37, 2.82 และ 3.60 ตามลำดับ ใกล้เคียงกับข้าวเหนียวดำที่วางจำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งมีปริมาณความชื้น ไขมัน เยื่อใย โปรตีน และเถ้า เท่ากับร้อยละ 12.00, 1.50 – 2.50, 0.90 – 1.00, 7.00 – 8.00 และ 1.00 – 1.50 ตามลำดับ (ดำเนิน และคณะ, 2544) ข้าวเหนียวดำที่นำมาใช้ในการทดลองมีปริมาณอะมิโลส ค่อนข้างต่ำ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของข้าวเหนียวที่มีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 1.00 – 8.00 (จักรกฤษณ์, 2550) นอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวเหนียวดำที่นำมาใช้ในการทดลองมีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ค่อนข้างสูง (ร้อยละ 73.56) เนื่องจากในข้าวเหนียวดำมีสารประกอบฟีนอลิก และสารแอนโทไซยานินซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยในปัจจุบันสารประกอบดังกล่าวได้เข้ามามีบทบาทสำคัญมากขึ้น คือ มีหน้าที่ในการกำจัดอนุมูลอิสระในร่างกายของคนเรา ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายส่วนหนึ่งเป็นผลจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกายหรือเกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น รังสีอัลตราไวโอเลต โอโซน และควันบุหรี่ รวมถึงการบริโภคอาหารที่มีสารเคมีปนเปื้อน เช่น สารปรุงแต่งกลิ่นรสในอาหาร อาหารปิ้ง ย่าง ซึ่งอาหารเหล่านี้จะมีเขม่าและควันไฟจับอยู่ และเป็นอนุของคาร์บอนที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศไม่หมดจึงกลายเป็นอนุมูลอิสระ (เพ็ญนภา, 2548)

4.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารโกลิโกนเกล็กซ์ในระหว่างการผลิตข้าวพองจากข้าวเหนียวดำ

4.2.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำ

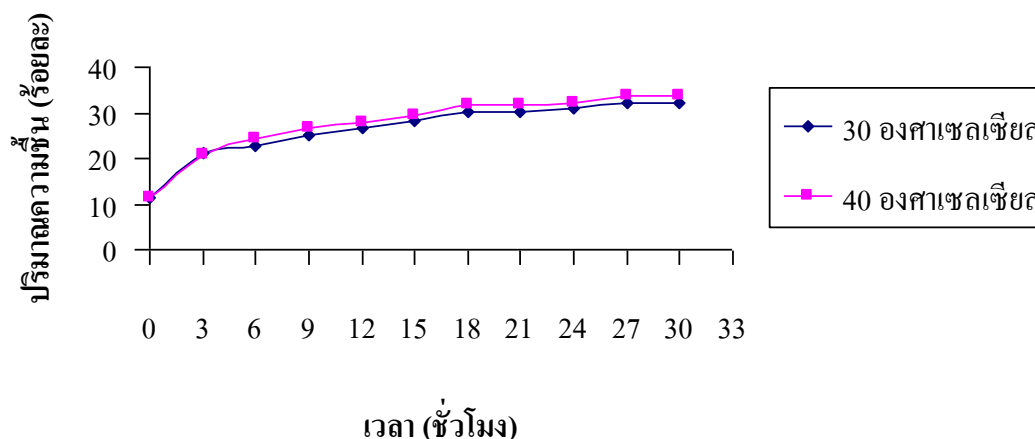
ตารางที่ 4 ปริมาณความชื้นกับระยะเวลาแช่ข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำ (ร้อยละ)

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำ (องศาเซลเซียส)	
	30	40
0 ^{ns}	11.36±0.08 ^ณ	11.36±0.08 ^ช
3	21.21±0.15 ^{ขบ}	20.88±0.04 ^{ชา}
6	22.60±0.20 ^{ขบ}	24.23±0.25 ^{ฉา}
9	24.97±0.51 ^{ฉบ}	26.58±0.26 ^{จา}
12	26.55±0.37 ^{จข}	27.94±0.28 ^{จา}
15	28.05±0.37 ^{จข}	29.54±0.30 ^{คา}
18	30.12±0.48 ^{คข}	31.69±0.38 ^{ชา}
21	30.18±0.05 ^{คข}	31.93±0.12 ^{ชา}
24	30.79±0.19 ^{ขบ}	32.09±0.17 ^{ขบ}
27	32.10±0.59 ^{กข}	33.55±0.19 ^{กา}
30	32.28±0.17 ^{กข}	33.80±0.56 ^{กา}

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาไทยที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอนตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 4 ปริมาณความชื้นกับระยะเวลาแช่ข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำ (ร้อยละ)

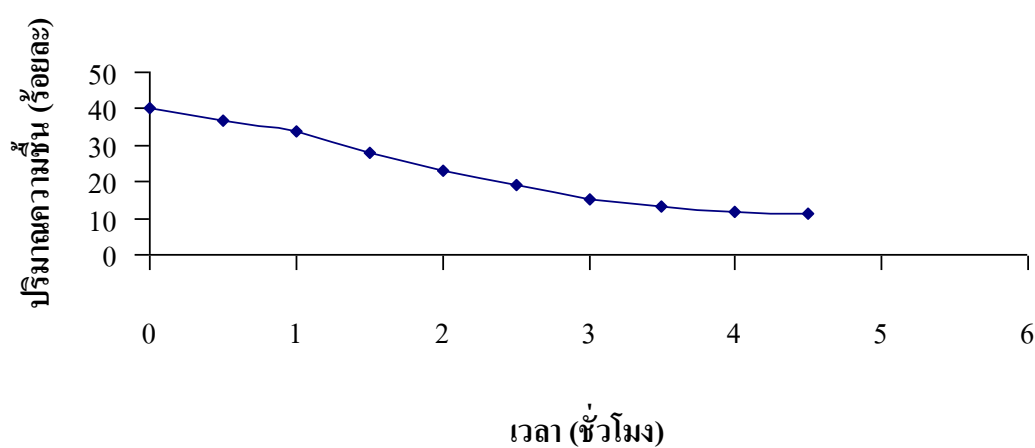
จากการศึกษาระยะเวลา และอุณหภูมิในการแช่ข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำ โดยใช้อุณหภูมิในการแช่ข้าว 2 อุณหภูมิ คือ ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส โดยการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 21 ชั่วโมง ข้าวเปลือกมีปริมาณความชื้นร้อยละ 30.18 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับการแช่ข้าวเปลือกที่เวลา 15 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นร้อยละ 30.12 ส่วนการแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง ข้าวเปลือกมีปริมาณความชื้นร้อยละ 31.69 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับการแช่ข้าวเปลือกที่เวลา 21 และ 24 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นร้อยละ 31.93 และ 32.09 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะช่วยให้เมล็ดข้าวดูดความชื้นได้เร็วขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิเป็นตัวช่วยเร่งการดูดซับน้ำของเมล็ดสตาร์ช โดยพันธะไฮโดรเจนภายในเมล็ดสตาร์ชจะคลายตัว ทำให้ดูดซับน้ำและพองตัวได้เร็วขึ้น (นิธิยา, 2545) นอกจากนี้ยังช่วยในการส่งผ่านความร้อนจากเปลือกข้าวไปยังใจกลางของเมล็ดข้าวอีกด้วย (น้ำฝน, 2548) ในการผลิตข้าวหนึ่งอบแห้งข้าวเปลือกก่อนนำไปนึ่งควรมีความชื้นประมาณร้อยละ 30 (อรอนงค์, 2550) จึงสามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่ข้าวเปลือกคือ 30 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง

4.2.2 ผลการศึกษาหาระยะเวลาการทำแห้งข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำนึ่ง

ตารางที่ 5 ปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการทำแห้งของข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำนึ่ง

เวลา		ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
ชั่วโมง	นาที	
0	0	38.11±0.29 ^ก
0	30	35.52±0.07 ^ข
1	0	32.64±0.04 ^ค
1	30	27.74±0.35 ^ง
2	0	23.09±0.37 ^จ
2	30	19.23±0.26 ^ฉ
3	0	14.99±0.71 ^ช
3	30	13.41±0.19 ^ซ
4	0	11.93±0.03 ^ณ
4	30	11.08±0.07 ^ญ

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาไทยที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 5 ปริมาณความชื้นระยะเวลาการทำแห้งของข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำนึ่ง

จากผลการวิเคราะห์หาอัตราการทำแห้งของข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำ เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้งข้าว พบว่า ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อผ่านการทำแห้งที่ระยะเวลา

เพิ่มขึ้น โดยทุกช่วงระยะเวลาการทำแห้งจะมีปริมาณความชื้นที่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งระยะเวลาการทำแห้งข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำหนึ่งที่เหมาะสม คือ 3 ชั่วโมง 30 นาที มีปริมาณความชื้นร้อยละ 13.41 โดยให้มีปริมาณความชื้นในช่วงร้อยละ 13.5-14.5 เป็นช่วงความชื้นที่เหมาะสมที่จะให้คุณภาพการพองตัวสูง (Murugesan and Bhattacharya, 1986)

4.2.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารโภชนเภสัชในระหว่างการผลิตข้าวพองจากข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำ

ตารางที่ 6 คุณภาพทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการผลิตข้าวพองจากข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำ

ขั้นตอนการผลิต	ความชื้น (g/100g wet basis)	สารแอนโท ไซยานิน (mg/100g dry basis)	สารประกอบ โพลีฟีนอล (mg/100g dry basis)	คุณสมบัติการ ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%)	เส้นใยอาหาร (g/100g dry basis)
1. ข้าวเปลือก-แช่น้ำ	32.15±2.36 ^ข	92.54±2.44 ^ก	326.44±3.06 ^ก	76.43±0.33 ^ก	4.97±0.57 ^ก
2. ข้าวึ่ง	39.23±1.98 ^ก	89.56±2.18 ^ก	314.32±2.91 ^ก	74.25±0.38 ^ข	4.79±0.20 ^ก
3. ข้าวึ่ง-อบแห้ง	12.31±1.73 ^ค	87.18±3.04 ^ก	300.96±3.58 ^ข	70.86±0.77 ^ข	3.29±0.14 ^ก
4. ข้าวพอง (ทอด)	1.50±0.34 ^ง	64.30±2.41 ^ข	271.03±3.50 ^ค	56.81±0.50 ^ค	3.51±0.25 ^ข

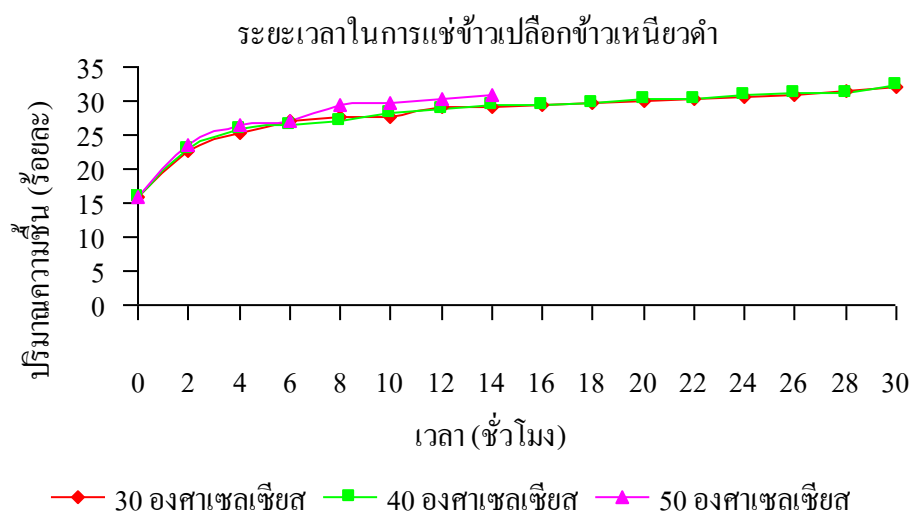
หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาไทยที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการศึกษาคูณภาพทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการผลิตข้าวพอง จากข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำ (ตารางที่ 6) พบว่า กระบวนการผลิตข้าวพองมีผลต่อปริมาณความชื้น ปริมาณสารแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณเส้นใยอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้น จะเห็นว่าปริมาณความชื้นจะมีค่าสูงสุดเมื่อข้าวผ่านกระบวนการึ่ง (ขั้นตอนที่ 2) และจะมีค่าลดลงเมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งและทอด ตามลำดับ โดยกระบวนการึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 95-98 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที เป็นขั้นตอนที่สารถในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนเซชัน ทำให้เม็ดสารถเกิดการดูดน้ำและพองตัวจึงเป็นผลให้มีปริมาณความชื้นสูง (นิธิยา, 2545) สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารแอนโทไซยานินและเส้นใยอาหาร พบว่า ในขั้นตอนการนำข้าวผ่านกระบวนการึ่งและอบแห้ง (ขั้นตอนที่ 1-3) ปริมาณสารแอนโทไซยานินและปริมาณเส้นใยอาหารไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อผ่านกระบวนการทอดเป็นข้าวพอง (ขั้นตอนที่ 4) จะมีปริมาณลดลง ทั้งนี้เนื่องจากสารดังกล่าวถูกทำลายในกระบวนการทอดแบบ Deep fat Fried ที่อุณหภูมิ 180-200 องศาเซลเซียส นาน 5 วินาที สำหรับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด พบว่า เมื่อข้าวผ่านกระบวนการอบแห้ง (ขั้นตอนที่ 3) ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งอาจลดลงเนื่องจากขั้นตอนกะเทาะเปลือกเป็นข้าวกล้อง ส่วน

คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่า มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจะมีค่าลดลงหลังจากข้าวถูกความร้อนในขั้นตอนการนึ่ง (ขั้นตอนที่ 2) และขั้นตอนการทอด (ขั้นตอนที่ 4) ทั้งนี้เป็นผลจากการลดลงของปริมาณสารแอนโทไซยานินและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระในข้าวเหนียวดำ

4.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารโกลิเจนในระหว่างการผลิตข้าวตอกจากข้าวเหนียวดำ

4.3.1. ศึกษาอุณหภูมิของน้ำเกลือและระยะเวลาการแช่ข้าวที่เหมาะสมในการผลิตข้าวตอกข้าวเหนียวดำ



ภาพที่ 6 ปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการแช่ข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำ

ตารางที่ 7 ปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการแช่น้ำเกลือข้าวเหนียวดำ

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิน้ำเกลือ (องศาเซลเซียส)		
	30	40	50
0 ^{ns}	15.81±0.08 ^ญ	15.81±0.08 ^ญ	15.81±0.08 ^ญ
2	22.66±0.14 ^{ฅb}	23.00±0.14 ^{ฅa}	23.49±0.22 ^{จa}
4 ^{ns}	25.39±1.27 ^ช	25.79±1.27 ^ช	26.42±0.38 ^จ
6	27.00±0.28 ^{ชา}	26.39±0.28 ^{ชb}	27.16±0.32 ^{คa}
8	27.62±0.80 ^{ชb}	27.11±0.80 ^{ชชb}	29.32±0.58 ^{ชา}
10	27.72±0.51 ^{ชc}	28.35±0.51 ^{ฅชb}	29.68±0.37 ^{ชา}
12	29.15±0.29 ^{ฅb}	28.80±0.29 ^{จฅc}	30.36±0.41 ^{กa}
14	29.18±0.31 ^{ฅb}	29.29±0.31 ^{จจฅb}	30.76±0.30 ^{กa}
16	29.48±0.03 ^{จจa}	29.37±0.03 ^{จจb}	-
18	29.83±0.23 ^{จจa}	29.73±0.23 ^{คจจb}	-
20	29.92±0.33 ^{คจจb}	30.19±0.33 ^{ชคจa}	-
22 ^{ns}	30.17±0.34 ^{ชคจ}	30.43±0.34 ^{ชคจ}	-
24	30.66±0.24 ^{ชคb}	30.81±0.24 ^{ชคa}	-
26	30.79±0.95 ^{ชกบ}	31.16±0.95 ^{กชา}	-
28 ^{ns}	31.36±0.15 ^ก	31.14±0.15 ^{กช}	-
30 ^{ns}	32.10±0.07 ^ก	32.37±0.07 ^ก	-

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาไทยที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอนตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
 : ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำในระหว่างการแช่น้ำเกลือพบว่า เมื่อระยะเวลาในการแช่น้ำเกลือเวลานานขึ้นข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสิ่งทดลอง พบว่า มีปริมาณความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นสูงสุด รองลงมาที่อุณหภูมิ 40 และ 30 องศาเซลเซียสเนื่องจากเมื่อใช้อุณหภูมิของน้ำเกลือสูงขึ้นจะทำให้ น้ำแทรกซึมเข้าข้าวเร็วขึ้นและใช้เวลาสั้นลง โดยความชื้นที่เหมาะสมในการทำข้าวตอก คือ ร้อยละ 30 - 35 (ปกรณพรหม, 2545) สามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการแช่น้ำเกลือนาน 22 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นร้อยละ 30.17 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการแช่น้ำเกลือ 20 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นร้อยละ 30.19 และ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการแช่น้ำเกลือ 12 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นร้อยละ 30.36

4.3.2 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้งข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำ

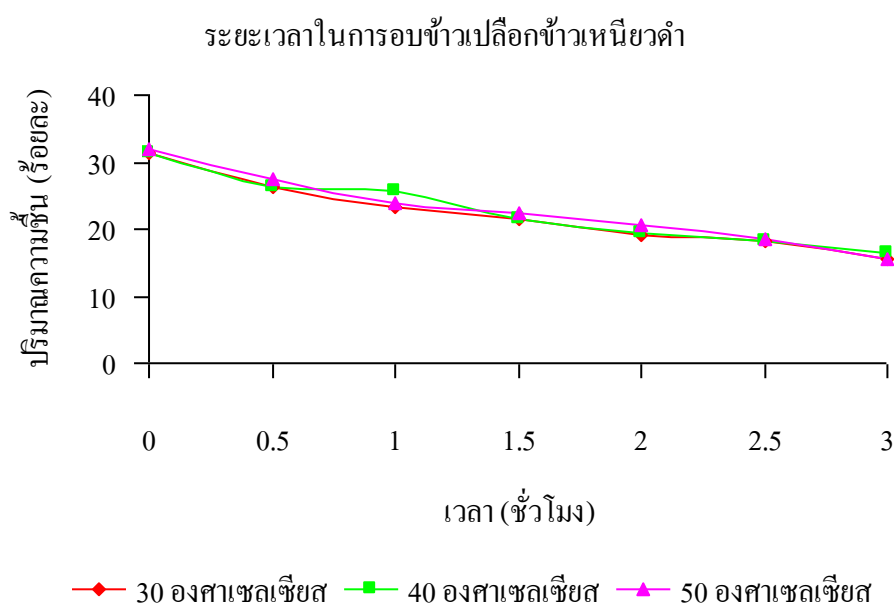
ตารางที่ 8 ปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำ

เวลา		อุณหภูมิน้ำเกลือ (องศาเซลเซียส)		
ชั่วโมง	นาที	30	40	50
0	0	31.20±0.13 ^{nb}	31.39±0.23 ^{nb}	31.89±0.23 ^{na}
0	30	26.20±0.14 ^{xb}	26.15±0.21 ^{xb}	27.53±0.21 ^{xa}
1	0	23.25±0.24 ^{cb}	25.60±0.34 ^{xa}	23.99±0.34 ^{cb}
1	30	21.64±0.14 ^{jb}	21.48±0.45 ^{cab}	22.39±0.45 ^{ja}
2	0	19.06±0.25 ^{jb}	19.53±0.28 ^{jb}	20.68±0.28 ^{ja}
2 ^{ns}	30	18.21±0.61 ^ฉ	18.23±0.17 ^จ	18.49±0.17 ^ฉ
3 ^{ns}	0	15.52±0.34 ^ข	16.47±0.33 ^ฉ	15.61±0.33 ^ข

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาไทยที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอนตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 7 ปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในการทำแห้งข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำ ให้ความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 13-16 พบว่า ทุกอุณหภูมิของน้ำเกลือที่ใช้แช่ข้าว ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลง

เมื่อผ่านการทำแห้งที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้น โดยระยะเวลาการทำแห้งจะมีปริมาณความชื้นที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยชั่วโมงสุดท้ายปริมาณความชื้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งการทำแห้งข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำมีระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 3 ชั่วโมง โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 15.52–16.47 โดยจะใช้ข้าวเปลือกในการอบครั้งละ 2 กิโลกรัม ซึ่งการอบข้าวเปลือกถ้าความชื้นน้อยเกินไปจะทำให้ฟองตัวได้น้อย เนื่องจากความดันไอน้ำพอที่จะทำให้เกิดการระเบิด แต่ถ้าความชื้นสูงเกินไปคุณภาพในการฟองตัวจะต่ำ (Muragesan and Bhattacharya, 1986)

4.3.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารโกลิเจนในระหว่างการผลิตข้าวตอกจากข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำ

ตารางที่ 9 คุณภาพทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการผลิตข้าวตอกจากข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำ

ขั้นตอนการผลิต	ความชื้น (g/100g wet basis)	สารแอนโท ไซยานิน (mg/100g dry basis)	สารประกอบ โพลีฟีนอล (mg/100g dry basis)	คุณสมบัติการ ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%)	เส้นใยอาหาร (g/100g dry basis)
1. ข้าวเปลือก-แช่น้ำเกลือ	33.15±1.39 ^ข	96.54±2.40 ^ก	325.43±3.72 ^ก	76.93±0.12 ^ก	4.98±0.23 ^ก
2. ข้าวเปลือก-อบแห้ง	18.42±0.78 ^ก	92.21±1.68 ^ก	310.32±3.51 ^ข	74.25±0.81 ^ข	4.64±0.18 ^ก
3. ข้าวตอก	1.82±0.34 ^ก	78.30±2.73 ^ข	307.03±3.21 ^ก	62.54±0.50 ^ก	3.95±0.27 ^ข

หมายเหตุ: เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งตัวอักษรภาษาไทยที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการศึกษาคูณภาพทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการผลิตข้าวตอก จากข้าวเปลือกข้าวเหนียวดำ (ตารางที่ 9) พบว่า กระบวนการผลิตข้าวตอกมีผลต่อปริมาณความชื้น ปริมาณสารแอนโทไซยานิน ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณเส้นใยอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้น จะเห็นว่าปริมาณความชื้นจะมีค่าสูงสุดเมื่อข้าวถูกผ่านแช่น้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 2 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 22 ชั่วโมง และจะมีค่าลดลงเมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งและอบพองด้วยไมโครเวฟตามลำดับ สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารแอนโทไซยานินและเส้นใยอาหาร พบว่า ในขั้นตอนการนำข้าวเปลือกมาผ่านการแช่น้ำเกลือและอบแห้ง ปริมาณสารแอนโทไซยานินและปริมาณเส้นใยอาหารไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อผ่านกระบวนการพองเป็นข้าวตอก จะมีปริมาณลดลง ทั้งนี้เนื่องจากสารแอนโทไซยานินสามารถละลายได้ในน้ำ และอุณหภูมิที่สูงจะทำให้แอนโทไซยานินสลายตัวมากขึ้น (นิธิยา, 2551) สำหรับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด พบว่า เมื่อข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่า มีค่าลดลงอย่างมี

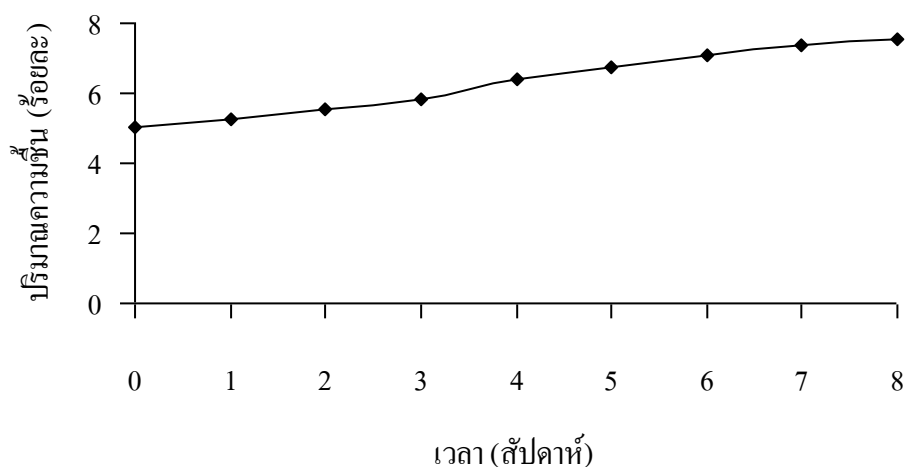
นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจะมีค่าลดลงหลังจากข้าวถูกความร้อนในขั้นตอนการทำแห้งและขั้นตอนการพอง ทั้งนี้เป็นผลจากการลดลงของปริมาณสารแอนโทไซยานินและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระในข้าวเหนียวดำ

4.3.4 การศึกษาอายุการเก็บรักษาข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมล

ตารางที่ 10 คุณภาพทางเคมีในระหว่างการเก็บรักษาข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมล

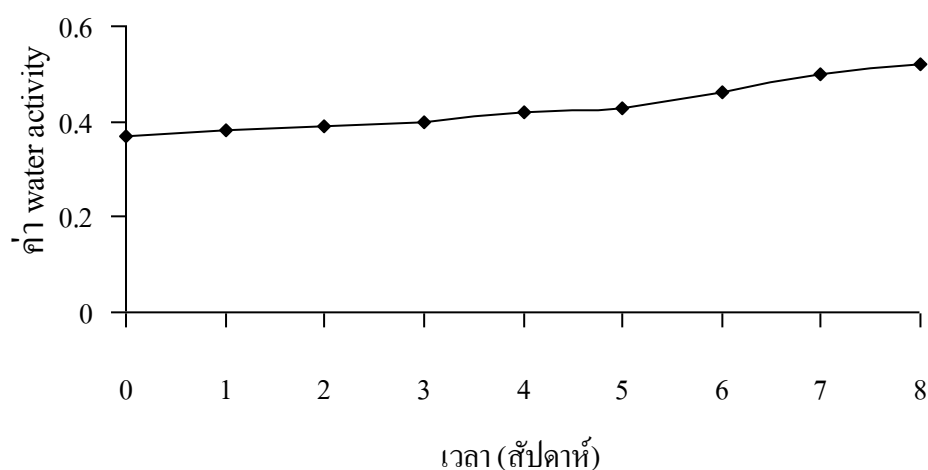
เวลา (สัปดาห์)	คุณภาพทางเคมี		
	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่า water activity (a_w)	TBA (mg.malonaldehyde/1g)
0	$5.04 \pm 0.03^{\text{ม}}$	$0.37 \pm 0.00^{\text{ม}}$	$0.05 \pm 0.00^{\text{ข}}$
1	$5.27 \pm 0.06^{\text{ข}}$	$0.38 \pm 0.00^{\text{ข}}$	$0.06 \pm 0.00^{\text{ณ}}$
2	$5.56 \pm 0.02^{\text{ข}}$	$0.39 \pm 0.00^{\text{ข}}$	$0.06 \pm 0.00^{\text{ณ}}$
3	$5.84 \pm 0.03^{\text{ณ}}$	$0.40 \pm 0.00^{\text{ณ}}$	$0.07 \pm 0.00^{\text{จ}}$
4	$6.41 \pm 0.16^{\text{จ}}$	$0.42 \pm 0.00^{\text{จ}}$	$0.07 \pm 0.00^{\text{จ}}$
5	$6.77 \pm 0.13^{\text{จ}}$	$0.43 \pm 0.00^{\text{จ}}$	$0.08 \pm 0.00^{\text{ค}}$
6	$7.07 \pm 0.10^{\text{ค}}$	$0.46 \pm 0.01^{\text{ค}}$	$0.08 \pm 0.01^{\text{ค}}$
7	$7.36 \pm 0.03^{\text{ข}}$	$0.50 \pm 0.01^{\text{ข}}$	$0.08 \pm 0.01^{\text{ข}}$
8	$7.55 \pm 0.10^{\text{ณ}}$	$0.52 \pm 0.01^{\text{ณ}}$	$0.09 \pm 0.01^{\text{ณ}}$

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวตั้งตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 8 ปริมาณความชื้นของข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมลระหว่างการเก็บรักษา

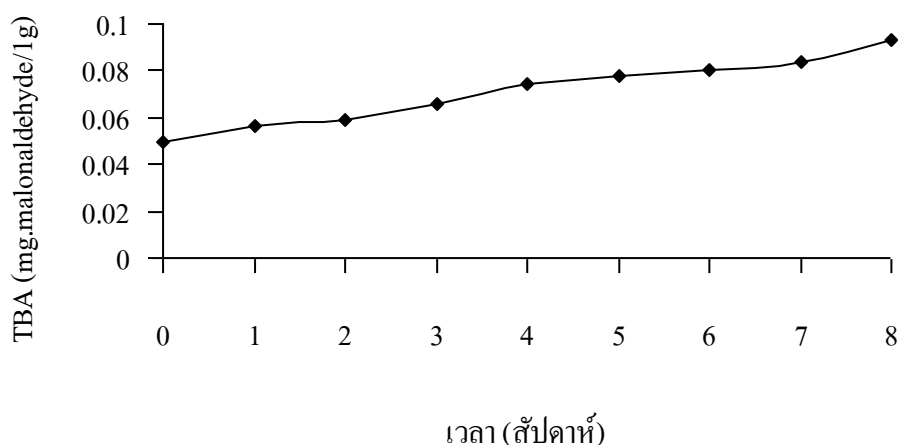
จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมลในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อการเก็บรักษานานขึ้นจากสัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 8 มีปริมาณความชื้นร้อยละ 5.04-7.55 เนื่องจาก ข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมลเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ ทำให้สามารถดูดซับความชื้นจากอากาศบริเวณรอบๆ ได้โดยง่าย (ปาริสุทธิ, 2550)



ภาพที่ 9 ค่า water activity ของข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมลระหว่างการเก็บรักษา

จากการวิเคราะห์ค่า water activity ของข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมลในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ค่า water activity มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อการเก็บรักษานานขึ้นจากสัปดาห์ที่ 0 ถึง

สัปดาห์ที่ 8 มีค่า water activity อยู่ในช่วง 0.37-0.52 สอดคล้องกับงานวิจัยของวิทัศน์ (2546) ได้ศึกษาการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวผสมกล้วยโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชันโดยเก็บผลิตภัณฑ์ในของอะลูมิเนียมฟอยล์ ลามิเนต เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า ค่า water activity เพิ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จนถึงระยะเวลาการเก็บที่ 12 สัปดาห์ ซึ่งค่า water activity เป็นพารามิเตอร์สำหรับควบคุมอาหารที่สำคัญ แสดงถึงคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ได้ โดยจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ต้องมี ค่า water activity เท่ากับ 0.6 (รุ่งนภา, 2540)



ภาพที่ 10 ค่า Thiobarbituric acid (TBA) ของข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมลระหว่างการเก็บรักษา

จากการวิเคราะห์ค่า Thiobarbituric acid (TBA) ของข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมลในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ค่า Thiobarbituric acid (TBA) ในอาหารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อการเก็บรักษานานขึ้นจากสัปดาห์ที่ 0 ถึงสัปดาห์ที่ 8 มีค่า Thiobarbituric acid (TBA) อยู่ในช่วง 0.05-0.09 mg.malonaldehyde/1g อาจส่งผลมาจากปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระในอาหารที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อได้รับความชื้นจากภายนอกจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้เป็นกรดไขมันอิสระ มีผลโดยตรงต่อการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะในขนมขบเคี้ยว (ปาริสุทธิ์, 2550)

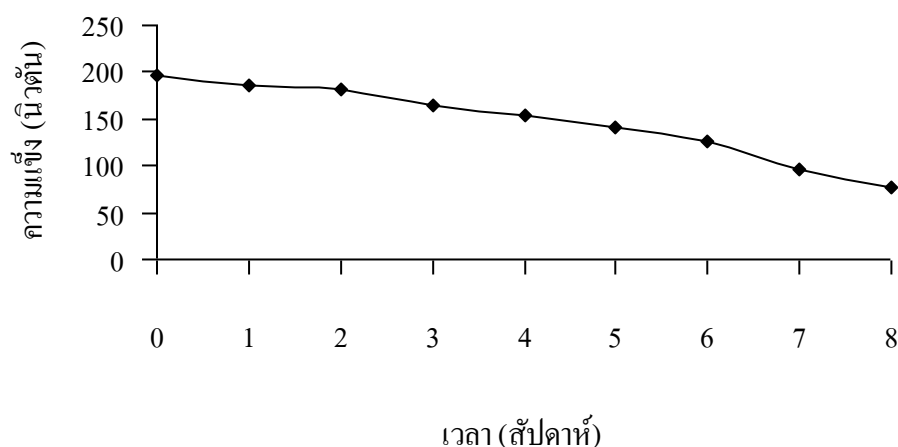
จากการวิเคราะห์ค่าความแข็งของข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมลระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ความแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้นจากสัปดาห์ที่ 0 มีค่าความแข็งเท่ากับ 197.06 นิวตัน ถึงสัปดาห์ที่ 8 มีค่าความแข็งเท่ากับ 76.66 นิวตัน เนื่องจากข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมลจะมีความอ่อนตัวลงเมื่อความชื้นเพิ่มสูงขึ้น ปาริสุทธิ์ (2550) กล่าวว่า เมื่อความชื้นของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น จะมีผลโดยตรงต่อการสูญเสียความแข็งของผลิตภัณฑ์ และจากการวิเคราะห์ค่าความกรอบของข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมลระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ความกรอบมีแนวโน้มลดลงเมื่อการเก็บรักษานานขึ้นจากสัปดาห์ที่ 0 ถึงมีค่าความกรอบเท่ากับ 449.41 นิวตัน/วินาที ถึงสัปดาห์ที่ 8 มีค่าความกรอบเท่ากับ 161.88 นิวตัน/วินาที เนื่องจาก ข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมลเป็นผลิตภัณฑ์

ที่มีความชื้นต่ำ ทำให้สามารถดูดซับความชื้นจากอากาศบริเวณรอบๆ ได้โดยง่าย เมื่อความชื้นของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น จะมีผลโดยตรงต่อการสูญเสียความกรอบของผลิตภัณฑ์จนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (ปารีสุทธิ์, 2550)

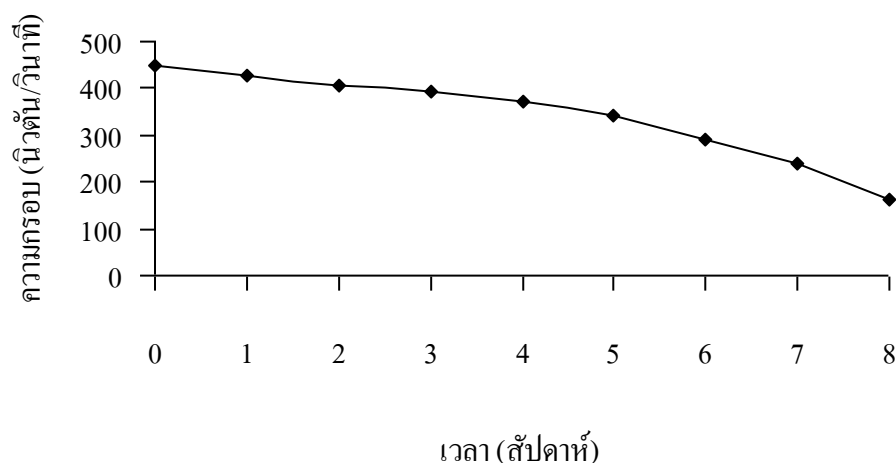
ตารางที่ 11 คุณภาพทางกายภาพระหว่างเก็บรักษาข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมล

เวลา (สัปดาห์)	คุณภาพทางกายภาพ	
	ความแข็ง (นิวตัน)	ความกรอบ (นิวตัน/วินาที)
0	197.06±7.37 ^ก	449.41±21.32 ^ก
1	185.41±4.04 ^ข	428.80±5.63 ^ข
2	181.24±7.23 ^ข	406.12±3.50 ^ก
3	165.52±2.00 ^ก	391.62±4.17 ^ง
4	153.26±5.85 ^ง	372.30±5.26 ^ง
5	140.61±3.96 ^ง	340.10±7.69 ^ณ
6	125.06±3.71 ^ณ	291.18±7.40 ^ข
7	95.54±2.64 ^ข	238.83±16.59 ^ข
8	76.66±3.76 ^ข	161.88±6.56 ^ณ

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวตั้งตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 11 ค่าความแข็งของข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมลระหว่างการเก็บรักษา



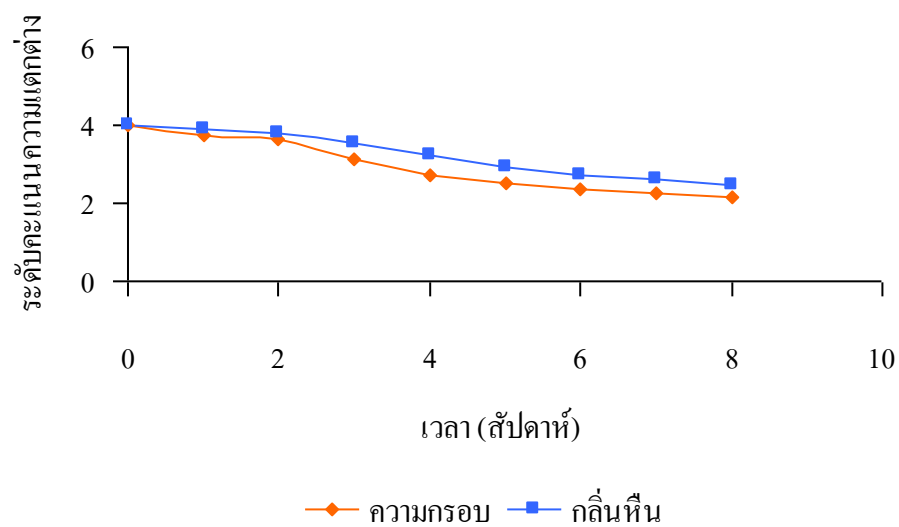
ภาพที่ 12 ค่าความกรอบของข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมลระหว่างการเก็บรักษา

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า การเก็บรักษาข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมล โดยทำการบรรจุข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมลในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ และทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 2 เดือน พบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมลในด้านความกรอบถึงสัปดาห์ที่ 3 และให้การยอมรับด้านกลิ่นหืนถึงสัปดาห์ที่ 4

ตารางที่ 12 การทดสอบความแตกต่างคุณภาพทางประสาทสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษาข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมล

เวลา (สัปดาห์)	คุณลักษณะ (ระดับความแตกต่าง)	
	ความกรอบ	กลิ่นหืน
0	4.00±0.00 ^ก	4.00±0.00 ^ก
1	3.75±0.44 ^{กข}	3.90±0.31 ^ก
2	3.65±0.49 ^ข	3.80±0.41 ^{กข}
3	3.15±0.67 ^ค	3.55±0.51 ^ข
4	2.70±0.47 ^ง	3.25±0.44 ^ค
5	2.50±0.51 ^{งจ}	2.90±0.47 ^ง
6	2.35±0.49 ^จ	2.70±0.51 ^ง
7	2.25±0.49 ^ฉ	2.60±0.47 ^จ
8	2.15±0.51 ^ฉ	2.45±0.44 ^ฉ

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแนวตั้งตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 13 การทดสอบความแตกต่างคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านความกรอบ และกลิ่นหืนของข้าวตอกข้าวเหนียวดำเคลือบคาราเมลในระหว่างการเก็บรักษา