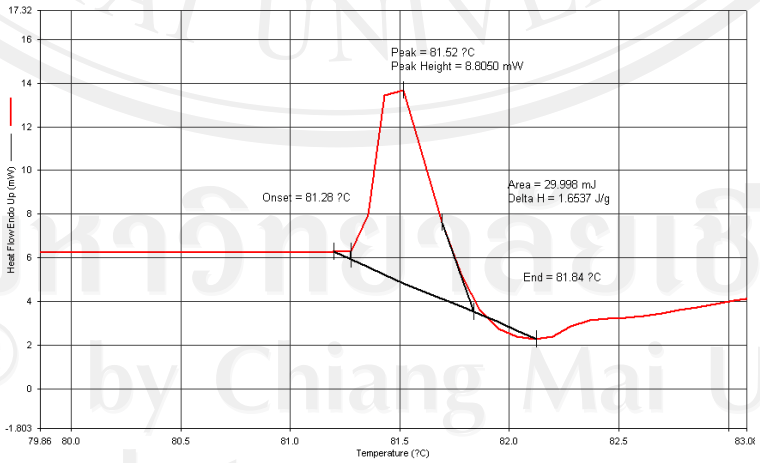
บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 คุณภาพข้าวกล้องตัวอย่างควบคุม

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี กายภาพ และคุณภาพการหุงของข้าวกล้องก่อนการดัดแปร (control) แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าข้าวกล้องมีค่าความสว่าง (L) เท่ากับ 57.32 มีค่า a เท่ากับ 2.07 ซึ่ง a ที่มีค่าเป็นบวก หมายถึงโทนสีแดง และมีค่า b เท่ากับ 19.93 โดย b ที่มีค่าเป็นบวก หมายถึงโทนสีเหลือง ดังนั้นแสดงว่าข้าวกล้องมีสีออกแดงปนเหลือง ด้านคุณภาพการหุงพบว่าข้าวกล้องมีค่า optimum cooking time (OCT) เท่ากับ 18.67 ค่า water uptake ratio (WUR) เท่ากับ 1.79 ค่า length expansion ratio (LER) เท่ากับ 1.09 และ ค่า volume expansion ratio (VER) เท่ากับ 1.83 สมบัติทางเคมีพบว่าข้าวกล้องมีปริมาณความชื้นเท่ากับ ร้อยละ 12.75 และมีกิจกรรมของเอนไซม์ไลเพส และปริมาณกรดไขมันอิสระ เท่ากับ 775.29 หน่วย/กิโลกรัมข้าวกล้อง และร้อยละ 0.0176 ตามลำดับ

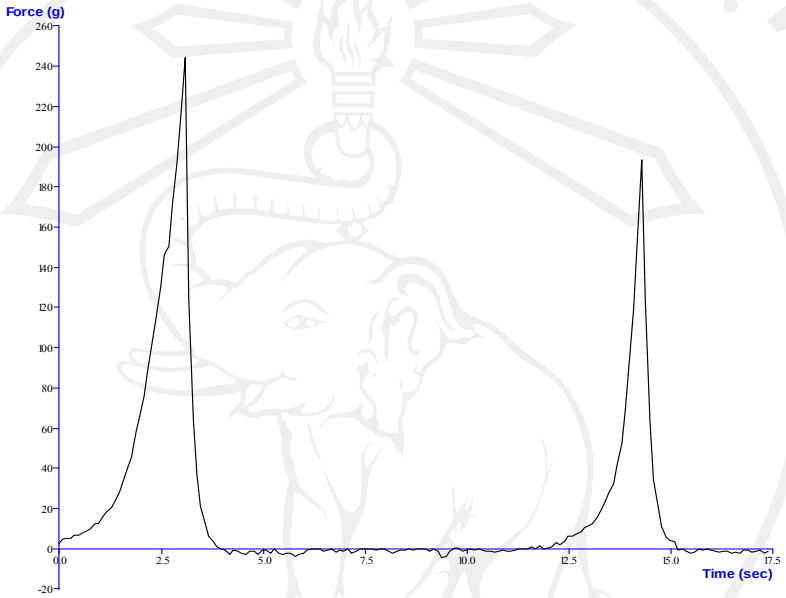
การเกิดเจลาตินไนเซชันของข้าวกล้อง เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี differential scanning calorimetry (DSC) พบว่าค่า อุณหภูมิเริ่มต้น (onset temperature, T_o), กึ่งกลาง (peak temperature, T_p) และ สุดท้าย (end temperature, T_e) ของข้าวกล้อง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.93, 81.13 และ 81.52 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมี ΔH เท่ากับ 1.53 จูล/กรัม ดังตัวอย่างแสดงในภาพที่ 4.1



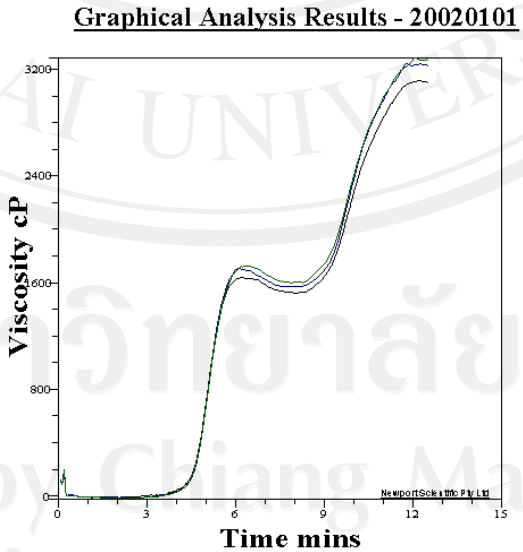
ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างเทอร์โมแกรมการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวกล้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางเนื้อสัมผัส โดยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) ดังภาพที่ 4.2 พบว่าข้าวกล้องมีค่า hardness เท่ากับ 9.41 นิวตัน, ค่า adhesiveness เท่ากับ -0.24 นิวตัน วินาที และค่า cohesiveness เท่ากับ 0.33 ตามลำดับ (ค่า cohesiveness คำนวณได้จากพื้นที่ซึ่งเกิดแรงกดครั้งที่สองหารด้วยพื้นที่จากแรงกดครั้งที่หนึ่ง)



ภาพที่ 4.2 ตัวอย่างลักษณะ texture profile ของข้าวกล้องหุงสุก



ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างกราฟการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชข้าวกล้องหุงสุก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมี กายภาพ และคุณภาพการหุงของข้าวกล้องตัวอย่างควบคุม

การวิเคราะห์	ปริมาณ
1. ค่า L	57.32 ± 0.07
2. ค่า a	2.07 ± 0.01
3. ค่า b	19.93 ± 0.03
4. ค่า optimum cooking time (นาที)	18.7 ± 0.58
5. ค่า water uptake ratio	1.79 ± 0.01
6. ค่า length expansion ratio	1.09 ± 0.02
7. ค่า volume expansion ratio	1.83 ± 0.01
8. ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	12.75 ± 0.14
9. กิจกรรมของเอนไซม์ไลเพส (หน่วย/กิโลกรัมข้าวกล้อง)	775.29 ± 18.40
10. ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	0.0176 ± 0.00
11. การเกิดเจลาติไนเซชัน	
onset temperature (องศาเซลเซียส)	80.93 ± 0.50
peak temperature (องศาเซลเซียส)	81.13 ± 0.55
end temperature (องศาเซลเซียส)	81.52 ± 0.46
ΔH (จูล/กรัม)	1.53 ± 0.17
12. เนื้อสัมผัส	
hardness (นิวตัน)	9.41 ± 1.14
adhesiveness (นิวตัน วินาที)	-0.24 ± 0.03
cohesiveness (อัตราส่วน)	0.33 ± 0.88
13. สมบัติด้านความหนืด	
peak viscosity (RVU)	1735.00 ± 22.63
breakdown (RVU)	172.00 ± 14.14
final viscosity (RVU)	3097.50 ± 12.02
setback (RVU)	1362.50 ± 10.61

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องโดยใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ

จากการศึกษาระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสและระยะเวลาในการย่อยเส้นใยข้าวกล้อง พบว่าข้าวกล้องมีสมบัติทางด้านเคมี กายภาพ และคุณภาพการหุง ดังต่อไปนี้

4.2.1 สมบัติทางกายภาพ

เมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์หรือระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องมีค่าความสว่าง (L) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ ที่ระดับความเข้มข้น 1.5, 3.5 และ 5.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีค่า L เท่ากับ 61.24, 63.50 และ 65.24 ตามลำดับ และที่เวลาย่อย 1, 2 และ 3 นาที มีค่า L เท่ากับ 61.87, 63.06 และ 65.05 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยร่วมกัน พบว่าข้าวกล้องที่มีค่าความสว่างสูงที่สุด คือที่ระดับความเข้มข้นเอนไซม์ 5.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้เวลาในการย่อย 3 นาที ซึ่งมีค่า L เท่ากับ 66.46 รองลงมาคือที่ระดับความเข้มข้นเอนไซม์ 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้เวลาในการย่อย 3 นาที มีค่า L เท่ากับ 65.58

ค่า a ของข้าวกล้อง มีค่าเป็นบวก แสดงออกถึงค่าสีแดง โดยพบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสหรือระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น ค่า a ของข้าวกล้องจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.78 ถึง 1.67 เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อย พบว่าตัวอย่างข้าวกล้องที่มีค่า a หรือค่าความเข้มสีแดงน้อยที่สุด คือ ตัวอย่างข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยระดับความเข้มข้นเอนไซม์ 5.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้เวลาในการย่อย 3 นาที มีค่า a เท่ากับ 1.61 รองลงมาคือ การย่อยด้วยความเข้มข้นเอนไซม์ 5.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลาย่อย 2 และ 1 นาที ความเข้มข้น 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลาย่อย 3 และ 2 นาที และ ความเข้มข้น 1.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลาย่อย 3 นาที โดยมีค่า a ลดลงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.73 ถึง 1.68

ค่า b ของข้าวกล้อง มีค่าเป็นบวก แสดงออกถึงค่าสีเหลือง โดยพบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสหรือระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น ค่า b ของข้าวกล้องจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เช่นเดียวกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 18.20 ถึง 17.09 เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อย พบว่าตัวอย่างข้าวกล้องที่มีค่า b หรือค่าความเข้มสีเหลืองน้อยที่สุด คือ ตัวอย่างข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยระดับความเข้มข้นเอนไซม์ 5.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้เวลาในการย่อย 3 นาที มีค่า b เท่ากับ 16.62 รองลงมาคือ การย่อยด้วยระดับความเข้มข้นเอนไซม์ 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้เวลาในการย่อย 3 นาที ซึ่งมีค่า b เท่ากับ 17.09

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 ค่าสีของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ปัจจัย	ค่า L	ค่า a	ค่า b	ΔE
ความเข้มข้นของเอนไซม์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)				
1.5	61.24^{c}±1.52	1.78^{a}±0.06	18.20^{a}±0.50	4.30^{c} ±1.58
3.5	63.50^{b}±1.79	1.72^{b}±0.06	17.58^{b}±0.63	6.63^{b}±1.88
5.5	65.24^{a}±0.94	1.68^{c}±0.05	17.15^{c}±0.42	8.40^{a} ±1.02
เวลาย่อย (นาที)				
1	61.87^{c}±2.14	1.78^{a}±0.05	18.19^{a}±0.51	4.90^{c}±2.16
2	63.06^{b}±1.67	1.73^{b}±0.05	17.65^{b}±0.59	6.19^{b} ±1.74
3	65.05^{a}±1.51	1.67^{c}±0.07	17.09^{c}±0.41	8.25^{a} ±1.55
ความเข้มข้นของเอนไซม์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) x เวลาย่อย (นาที)				
1.5 x 1	59.62^{g}±0.04	1.83^{a}±0.04	18.62^{a}±0.16	2.67^{h}±0.06
1.5 x 2	60.98^{f}±0.11	1.79^{a}±0.03	18.42^{b}±0.15	3.98^{g}±0.07
1.5 x 3	63.11^{d}±0.09	1.72^{b}±0.01	17.56^{c}±0.03	6.27^{e} ±0.15
3.5 x 1	61.49^{e}±0.31	1.79^{a}±0.04	18.42^{b}±0.07	4.45^{f} ±0.33
3.5 x 2	63.42^{d}±0.07	1.70^{b}±0.01	17.22^{cd}±0.06	6.69^{d} ±0.08
3.5 x 3	65.58^{b}±0.34	1.68^{b}±0.04	17.09^{e}±0.05	8.75^{b}±0.38
5.5 x 1	64.50^{c}±0.26	1.73^{b}±0.01	17.54^{c}±0.05	7.58^{c}±0.21
5.5 x 2	64.76^{c}±0.21	1.70^{b}±0.02	17.29^{d}±0.13	7.91^{c}±0.19
5.5 x 3	66.46^{a}±0.02	1.61^{c}±0.02	16.62^{f}±0.09	9.73^{a} ±0.06

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าความแตกต่างของสีรวมเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ΔE) พบว่าข้าวกล้องมีค่า ΔE เพิ่มขึ้น เมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสและระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยข้าวกล้องมีผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์มีค่า ΔE อยู่ระหว่าง 2.67 - 9.73 ซึ่งการที่ข้าวกล้องมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นและค่า a และ b ลดลง เมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสและระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น เป็นผลจากสารสีหรือรงควัตถุที่ปนอยู่บริเวณชั้นรำข้าวของข้าวกล้องถูกปลดปล่อยออก โดยสารสีหรือรงควัตถุที่อยู่บริเวณชั้นรำข้าวนี้จะมีสีต่างๆ เช่น น้ำตาลอ่อน น้ำตาลแก่ น้ำตาลม่วง และน้ำตาลจนเกือบดำ (อรอนงค์, 2550) ดังนั้นเมื่อความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น ทำให้ระดับการย่อยของเซลลูโลสในชั้นรำข้าวเพิ่มขึ้นและส่งผลให้สารสีหรือรงควัตถุเหล่านี้ถูกปลดปล่อยมากขึ้น เมล็ดข้าวจึงมีสีขาวสว่างมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lamberts *et al.* (2007) พบว่าเมื่อกำจัดชั้นน้ำมันรำข้าวออก เมล็ดข้าวมีค่า a และ b ลดลง ขณะที่ค่า L เพิ่มขึ้น

4.2.2 คุณภาพการหุง

ข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสจะมีค่า OCT ลดลงเมื่อเทียบกับข้าวกล้องปกติ (control) โดยพบว่าค่า OCT ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้น แต่ระยะเวลาในการย่อยไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า OCT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.3 โดยมีค่า OCT อยู่ระหว่าง 17.2 – 15.6 นาที เมื่อพิจารณาระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยร่วมกัน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาย่อยเพิ่มขึ้น ค่า OCT จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่า OCT ที่น้อยที่สุด คือตัวอย่างข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยระดับเอนไซม์ 5.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้เวลาในการย่อย 3 นาที ซึ่งมีค่า OCT เท่ากับ 15.3 นาที รองลงมาคือ การย่อยด้วยความเข้มข้นเอนไซม์ 5.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลาการย่อย 2 และ 1 นาที, ความเข้มข้น 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลาย่อย 3 และ 2 นาที ค่า OCT คือ ค่าที่แสดงระยะเวลาการสุกจนถึงแกนกลางของเมล็ดข้าว ซึ่งข้าวที่สุกทั่วทั้งเมล็ด เมื่อนำมาบดจะต้องไม่พบไตหรือเมล็ดแป้งแข็งอยู่ตรงกลาง (สุรศักดิ์, 2550) โดยค่า OCT ที่ลดลง เกิดจากการที่เส้นใยเซลลูโลสบริเวณชั้นรำข้าวถูกย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส เพราะเส้นใยชนิดนี้เป็นเส้นใยประเภทที่ไม่ดูดซับน้ำ ดังนั้นเมื่อถูกย่อยจึงทำให้น้ำสามารถแพร่กระจายเข้าสู่ชั้นสตาร์ชของเมล็ดข้าวได้ดีขึ้น เมล็ดข้าวจึงสุกเร็วขึ้น และมีค่า OCT ลดลง (Juliano and Bechtel, 1985) นอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่า WUR หรือ ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.3) พบว่าข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสจะมีค่า WUR เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวกล้องปกติ (control) โดยพบว่าค่า WUR เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้น แต่ระยะเวลาในการย่อยไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า WUR อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีค่า WUR อยู่ระหว่าง 1.93 – 1.89 เมื่อพิจารณาร่วมกันระหว่างระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อย พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาย่อยที่ใช้เพิ่มขึ้น ค่า WUR จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่า WUR ที่มากที่สุด คือตัวอย่างข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยระดับเอนไซม์ 5.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้เวลาในการย่อย 3 นาที ซึ่งมีค่า WUR เท่ากับ 1.94 รองลงมาคือ การย่อยด้วยความเข้มข้นเอนไซม์ 5.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลาย่อย 2 และ 1 นาที, ความเข้มข้น 3.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลาย่อย 3, 2 และ 1 นาที โดยมีค่า WUR ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อเทียบกับกับข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยระดับเอนไซม์ 5.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่ใช้เวลาในการย่อย 3 นาที ค่า WUR เป็นดัชนีสำหรับบ่งชี้คุณภาพการหุงที่สำคัญ เพราะค่า WUR ที่เพิ่มขึ้น แสดงถึงข้าวที่มีความนุ่มเพิ่มขึ้น (Mohapatra and Bal, 2006)

ค่า LER หรือ อัตราส่วนการยืดตัวของข้าวกล้อง (ตารางที่ 4.3) พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างไม่แตกต่างทางสถิติ (P>0.05) เมื่อระดับความเข้มข้นหรือระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น โดยค่า LER อยู่ระหว่าง 1.09 – 1.11 แต่เมื่อพิจารณาระหว่างระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาย่อยร่วมกัน พบว่าค่า LER ของข้าวกล้องมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาการย่อยเพิ่มขึ้น โดยค่า LER ที่มากที่สุด พบในตัวอย่างข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยระดับเอนไซม์ 5.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้เวลาในการย่อย 3 นาที ซึ่งมีค่า LER เท่ากับ 1.12 รองลงมาคือ การย่อยด้วยความเข้มข้นเอนไซม์ 5.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลาการย่อย 2 และ 1 นาที ความเข้มข้น 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลาการย่อย 3, 2 และ 1 วินาที และความเข้มข้น 1.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลาการย่อย 3 นาที โดยมีค่า LER ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อเทียบกับข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยระดับเอนไซม์ 5.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ที่ใช้เวลาในการย่อย 3 นาที

ค่า VER หรือ อัตราส่วนการขยายปริมาตรของข้าวกล้อง (ตารางที่ 4.3) พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์หรือระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.00 – 2.06 จากการพิจารณาอิทธิพลร่วมกันระหว่างระดับความเข้มข้นเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อย พบว่าข้าวกล้องมีค่า VER เพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องมีค่า VER สูงที่สุด คือตัวอย่างข้าวกล้องที่ย่อยด้วยระดับความเข้มข้นเอนไซม์ 5.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลาย่อย 3 และ 2 นาที รองลงมาคือที่ระดับความเข้มข้นเอนไซม์ 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลาย่อย 3 และ 2 วินาที แต่เมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวกล้องที่มีค่า VER สูงที่สุดแล้ว พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

สำหรับค่า LER และ VER ที่เพิ่มขึ้น เป็นผลสืบเนื่องจากการที่เส้นใยเซลลูโลสถูกกำจัด เพราะเส้นใยเซลลูโลสนอกจากจะขัดขวางการดูดซึมน้ำแล้ว ยังขัดขวางการขยายตัวอย่างอิสระของเมล็ดข้าวขณะหุงต้ม ดังนั้นเมื่อกำจัดเส้นใยเซลลูโลสในชั้นรำข้าวออก เม็ดแป้งในเมล็ดข้าวจึงสามารถขยายตัวได้มากขึ้น (Mohapatra and Bal, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 คุณภาพการหุงของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ปัจจัย	optimum cooking time (นาที)	water uptake ratio	length expansion ratio	volume expansion ratio
ความเข้มข้นของเอนไซม์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)				
1.5	17.2[a]±0.40	1.89[b]±0.01	1.09±0.01	2.00[c]±0.03
3.5	16.0[b]±0.50	1.91[ab]±0.02	1.10±0.01	2.04[b]±0.04
5.5	15.6[b]±0.50	1.93[a]±0.03	1.11±0.01	2.02[a]±0.02
เวลาย่อย (นาที) [ns]				
1	16.4±0.88	1.90±0.02	1.10±0.01	2.01[c]±0.04
2	16.3±0.87	1.90±0.03	1.10±0.01	2.04[b]±0.04
3	16.0±0.87	1.92±0.03	1.11±0.01	2.06[a]±0.02
ความเข้มข้นของเอนไซม์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) x เวลาย่อย (นาที)				
1.5 x 1	17.3[a]±0.58	1.88[b]±0.02	1.09[b]±0.01	1.98[d]±0.01
1.5 x 2	17.3[a]±0.58	1.89[b]±0.01	1.09[b]±0.02	1.99[d]±0.01
1.5 x 3	17.0[ab]±0.58	1.89[b]±0.02	1.10[ab]±0.00	2.03[c]±0.01
3.5 x 1	16.3[bc]±0.58	1.89[ab]±0.01	1.10[ab]±0.02	1.99[d]±0.03
3.5 x 2	16.0[cd]±0.00	1.90[ab]±0.03	1.10[ab]±0.01	2.06[abc]±0.01
3.5 x 3	15.7[cd]±0.58	1.93[ab]±0.03	1.11[ab]±0.01	2.07[ab]±0.01
5.5 x 1	15.7[cd]±0.58	1.93[ab]±0.02	1.10[ab]±0.01	2.05[bc]±0.03
5.5 x 2	15.7[cd]±0.58	1.92[ab]±0.05	1.11[ab]±0.02	2.08[a]±0.01
5.5 x 3	15.3[d]±0.58	1.94[a]±0.02	1.12[a]±0.01	2.08[a]±0.01

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ns หมายถึง ข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ปัจจัย	onset temperature (C°)	peak temperature (C°)	end temperature (C°)	ΔH (J/g)
ความเข้มข้นของเอนไซม์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)				
1.5	74.06^{a}±4.33	74.34^{a}±4.29	74.77^{a}±4.19	0.88^{a}±1.46
3.5	67.55^{b}±5.09	67.80^{b}±5.14	68.25^{b}±5.22	0.42^{a}±0.29
5.5	61.32^{c}±3.57	61.54^{c}±3.57	62.04^{c}±3.63	1.63^{a}±1.24
เวลาย่อย (นาที)				
1	70.96^{a}±7.37	71.18^{a}±7.40	63.05^{a}±4.91	0.88^{a}±1.26
2	68.60^{a}±5.61	68.90^{a}±5.68	64.34^{a}±1.41	0.71^{a}±0.76
3	63.38^{b}±5.73	63.61^{b}±5.72	58.72^{b}±2.25	1.35^{a}±1.49
ความเข้มข้นของเอนไซม์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) x เวลาย่อย (นาที)				
1.5 x 1	77.81^{a}±0.38	77.97^{a}±0.38	78.22^{a}±0.40	0.34^{a}±0.08
1.5 x 2	74.36^{ab}±4.73	74.83^{ab}±4.57	75.49^{ab}±4.19	0.35^{a}±0.24
1.5 x 3	70.02^{bc}±3.18	70.23^{bc}±3.22	70.60^{bc}±3.27	1.96^{a}±2.66
3.5 x 1	72.61^{ab}±1.93	72.95^{ab}±2.12	73.56^{ab}±2.52	0.25^{a}±0.19
3.5 x 2	67.98^{bcd}±3.73	68.17^{bcd}±3.70	68.42^{bcd}±3.58	0.35^{a}±0.27
3.5 x 3	62.07^{de}±0.02	62.29^{de}±0.06	62.76^{de}±0.09	0.67^{a}±0.33
5.5 x 1	62.46^{de}±4.89	62.62^{de}±4.90	63.05^{de}±4.91	2.05^{a}±1.94
5.5 x 2	63.46^{cde}±1.09	63.70^{cde}±1.19	63.34^{cde}±1.41	1.43^{a}±1.09
5.5 x 3	58.05^{e}±2.35	58.30^{e}±2.35	58.72^{e}±2.25	1.42^{a}±1.50

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิ onset (เริ่มต้น), peak (กึ่งกลาง) และ end (สุดท้าย) ของข้าวกล้อง เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี Differential Scanning Calorimeter (DSC) พบว่าอุณหภูมิเริ่มต้น, กึ่งกลาง และสุดท้ายของข้าวกล้องมีค่าลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์หรือระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อย พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น อุณหภูมิเริ่มต้น, กึ่งกลาง และสุดท้ายของข้าวกล้องลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 77.81-58.05, 77.97-58.30 และ 78.22-58.72 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และค่า ΔH ของข้าวกล้องเพิ่มขึ้น อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีมีค่าส่วนใหญ่ต่ำกว่า 1.43 จูล/กรัม ซึ่งโดยเฉลี่ยค่า ΔH ของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์มีค่าน้อยกว่าข้าวกล้องควบคุม ซึ่งมีค่า ΔH เท่า 1.53 จูล/กรัม (ตารางที่ 4.1) และสามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิต่ำลงเมื่อผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส

การเกิดเจลาติไนเซชันเป็นการทำลายโครงสร้างผลึกภายในเม็ดสตาร์ชโดยการให้ความร้อนแก่เม็ดสตาร์ชในสภาวะที่มีน้ำอย่างเพียงพอ โมเลกุลน้ำจะแพร่เข้าไปในส่วนอสัณฐาน (amorphous) ของเม็ดสตาร์ชได้ก่อน ทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลสตาร์ชในส่วนอสัณฐานอ่อนแอลง (ศันสนีย์, 2548) จากผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นและเวลาการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสต่อข้าวกล้องตัวอย่างทดลองมีผลต่อ อุณหภูมิเริ่มต้น (onset temperature, To_{gel}) อุณหภูมิสูงสุด (peak temperature, Tp_{gel}) และอุณหภูมิสุดท้าย (end temperature, Te_{gel}) ในการเกิดเจลาติไนเซชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของพลังงานเอนทาลปี (enthalpy, $/\Delta H_{gel}$) ($P > 0.05$) ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสและเวลาย่อย อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันมีค่าลดลง เนื่องจาก เอนไซม์เซลลูเลสได้ย่อยเซลลูโลสซึ่งเป็นเส้นใยที่ไม่ดูดน้ำออกไป ทำให้แป้งข้าวกล้องที่ได้สามารถดูดซึมน้ำเข้าไปในโมเลกุลสตาร์ชได้มากขึ้น เนื่องจากโมเลกุลน้ำแพร่เข้าไปในส่วนอสัณฐานของเม็ดสตาร์ชได้มาก จึงทำให้ความเสถียรของโครงร่างผลึกลดลง การเกิดเจลาติไนเซชันจึงเกิดขึ้นได้ดี (Kaletunc and Breslauer, 2003) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhou *et al.* (2002) โดยศึกษาสมบัติของเจลาติไนเซชันในแป้งข้าวชนิดต่าง ๆ พบว่า ข้าวที่ผ่านการขัดสีในระดับที่มากขึ้นมีอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันลดลง ซึ่งนอกจากเส้นใยเซลลูโลสที่ขัดขวางการดูดน้ำเข้าไปในโมเลกุลของสตาร์ชแล้ว ส่วนประกอบอื่น ๆ ในข้าวที่มีผลต่อการดูดซึมน้ำเช่น โปรตีน และไขมันบางชนิดก็ส่งผลให้การเกิดเจลาติไนเซชันในข้าวแตกต่างกันด้วยเช่นกัน โดยโปรตีนที่สามารถจับโมเลกุลน้ำได้ดีจะจับกับโมเลกุลของน้ำเอาไว้ ทำให้น้ำที่จะแพร่เข้าไปสู่ส่วนอสัณฐานของโมเลกุลสตาร์ชลดลง ขณะที่ไขมันขัดขวางการดูดน้ำเข้าไปในโมเลกุลของสตาร์ช จึงทำให้น้ำเข้าไปในโมเลกุลของสตาร์ชได้น้อยลง (Siswoyo and Morita, 2003) โดยการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสและการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟทำให้สารประกอบที่ขัดขวางการแพร่ของน้ำเข้าไปในโมเลกุลสตาร์ชลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 สมบัติด้านความหนืดของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ปัจจัย	peak viscosity (RVU)	breakdown (RVU)	final viscosity (RVU)	setback (RVU)
ความเข้มข้นของเอนไซม์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)				
1.5	1621.50^{a}±66.12	109.50^{a}±11.88	2792.00^{a}±70.99	1170.50^{a}±56.40
3.5	1474.33^{b}±50.42	75.33^{a}±9.73	2563.00^{b}±94.33	1088.67^{a}±67.60
5.5	1406.50^{c}±67.74	71.17^{b}±17.22	2419.83^{c}±32.22	1013.33^{b}±55.88
เวลาย่อย (นาที)				
1	1550.67^{a}±103.60	90.00^{a}±16.11	2637.17^{a}±174.42	1086.50^{a}±105.48
2	1504.83^{a}±125.00	93.17^{a}±22.69	2604.67^{a}±203.66	1099.83^{a}±94.18
3	1446.83^{a}±87.42	72.83^{b}±23.07	2533.00^{b}±144.35	1086.17^{a}±74.57
ความเข้มข้นของเอนไซม์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) x เวลาย่อย (นาที)				
1.5 x 1	1677.00^{a}±38.18	110.50^{a}±3.54	2830.00^{a}± 49.50	1153.00^{ab}±87.68
1.5 x 2	1635.50^{ab}±64.35	117.50^{a}±13.44	2840.50^{a}± 3.54	1205.00^{a}±67.88
1.5 x 3	1552.00^{bc}±7.07	100.50^{ab}±14.85	2705.50^{b}±13.44	1153.50^{ab}±6.36
3.5 x 1	1500.00^{cd}±18.38	81.50^{bc}±2.12	2637.50^{bc}±14.85	1137.50^{ab}±3.54
3.5 x 2	1500.00^{cd}±66.47	81.50^{bc}±2.12	2583.50^{c}±45.96	1083.50^{abc}±20.51
3.5 x 3	1423.00^{de}±7.07	63.00^{c}±2.83	2468.00^{d}±110.36	1045.00^{bc}±117.38
5.5 x 1	1475.00^{cde}±57.98	78.00^{bc}±2.83	2444.00^{d}±21.21	969.00^{c}±79.20
5.5 x 2	1379.00^{e}±60.81	80.50^{bc}±24.75	2390.00^{d}±31.11	1011.00^{bc}±29.70
5.5 x 3	1365.50^{e}±40.31	55.00^{c}±8.49	2425.50^{d}±27.58	1060.00^{abc}±12.73

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ns หมายถึง ข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

การวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของข้าวกล้อง ตารางที่ 4.5 ค่า peak viscosity, breakdown, final viscosity และ setback ของข้าวกล้อง เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์หรือระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น ค่า peak viscosity, breakdown, final viscosity และ setback ของข้าวกล้องมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ค่า peak viscosity คือค่าความหนืดสูงสุด เกิดจากเม็ดสตาร์ชดูดน้ำและได้รับความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ร้อนทำให้เกิดการพองตัว ส่งผลให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด เกิดเจลาติไนเซชัน ก่อนที่เม็ดสตาร์ชจะแตกตัวแล้วมีผลให้ค่าความหนืดลดลงจนถึงจุดต่ำสุด โดยค่า breakdown คือ ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและค่าความหนืดต่ำสุด จากนั้นเครื่อง RVA จะทำให้อุณหภูมิในระบบลดต่ำลง ทำให้สตาร์ชสามารถเกิดอันตรกิริยา (interaction) กันอย่างต่อเนื่อง และจัดเรียงตัวเป็นโครงร่างผลึก ความหนืดจึงเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนเกิดความหนืดสูงสุด หรือค่า final viscosity (ศันสนีย์, 2548) ขณะที่ค่า setback คือ ผลต่างของความหนืดสุดท้ายและความหนืดต่ำสุด โดยการคืนตัวเกิดหลังจากการเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชแล้วเกิดการเรียงตัวใหม่ของสตาร์ช หลังจากที่อุณหภูมิของสารละลายสตาร์ชลดลง (สุรศักดิ์, 2550)

เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อย พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้นค่า peak viscosity, breakdown, final viscosity และ setback ของข้าวกล้องมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1677.00 - 1365.50, 117.50-55.00, 2830.00-2390.00 และ 1205.00-969.00 RVU ตามลำดับ สมบัติด้านความหนืดของข้าวกล้องใช้เป็นดัชนีเพื่อแสดงถึงการพองตัวและการเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชข้าวกล้อง โดยค่า peak viscosity, breakdown, final viscosity และ setback ที่ลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาย่อยเพิ่มขึ้น อาจเป็นผลมาจากการใช้เอนไซม์เซลลูเลสร่วมกับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟทำให้ภายในเม็ดสตาร์ชสูญเสียโครงร่างที่แข็งแรง เนื่องจากสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสและไขมันได้ช่วยรักษาโครงสร้างภายในเม็ดสตาร์ช (Chung *et. al.,* 2003) ทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวได้อย่างรวดเร็วและเกิดเจลาติไนเซชันได้ดี จึงได้ค่า peak viscosity และ breakdown ลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาย่อยเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นความร้อนจากไมโครเวฟทำให้เมมเบรนที่หุ้มเม็ดสตาร์ชแตกออกและมีโมเลกุลของอะไมโลสหลุดออกมา (นิธิยา, 2549) เมื่ออุณหภูมิของระบบลดต่ำลง ส่งผลให้ค่า final viscosity และ setback ซึ่งเป็นค่าที่เกิดจากการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ร่วมกับให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีค่าลดลง (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.3 สมบัติทางด้านเนื้อสัมผัส

ค่า hardness หรือ ความแข็ง ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณแรงที่ต้องใช้กดข้าวสุกลงไประหว่างฟันที่เคี้ยวครั้งแรกของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.6 เมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้น แต่ระยะเวลาในการย่อยที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็ง ($P > 0.05$) เมื่อพิจารณาร่วมกันระหว่างระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อย พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้นความแข็งมีค่าลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 9.06 – 7.34 นิวตัน และพบว่าข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์มีค่าความแข็งน้อยกว่าข้าวกล้องควบคุม ซึ่งมีค่าความแข็ง เท่ากับ 9.41 นิวตัน

ค่า adhesiveness หรือ ค่าความเหนียวติดกัน ซึ่งบ่งชี้ปริมาณแรงที่ต้องการใช้แยกข้าวหุงสุกที่เหนียวติดฟันขณะรับประทาน ของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้น แต่ระยะเวลาในการย่อยที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า adhesiveness ($P > 0.05$) เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อย พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้นทำให้ค่า adhesiveness เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง (-0.29) กับ (-0.36) นิวตัน วินาที และพบว่าข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์มีค่า adhesiveness มากกว่าข้าวกล้องควบคุม ซึ่งมีค่า adhesiveness เท่ากับ -0.24 นิวตัน วินาที

ค่า cohesiveness หรือ ค่าความเกาะติดกัน ซึ่งบ่งชี้ปริมาณแรงภายในที่ทำให้ข้าวหุงสุกเกาะติดกัน ก่อนที่จะถูกตัดขาดจากกันด้วยแรงกดและกัดของฟัน ของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส มีเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้น แต่ระยะเวลาในการย่อยที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า cohesiveness ($P > 0.05$) เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อย พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้นค่า cohesiveness มีค่าเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.34 – 0.52 และพบว่าข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์มีค่า cohesiveness มากกว่าข้าวกล้องควบคุม ซึ่งมีค่า cohesiveness เท่ากับ 0.33

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 สมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ปัจจัย	hardness (นิวตัน)	adhesiveness (นิวตัน วินาที)	cohesiveness (อัตราส่วน)
ความเข้มข้นของเอนไซม์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)			
1.5	8.83^{a} ±1.13	-0.30^{b}±0.05	0.35^{b}±0.44
3.5	8.10^{ab}±1.47	-0.33^{ab}±0.07	0.42^{ab}±0.38
5.5	7.55^{b}±1.03	-0.34^{a}±0.03	0.48^{a}±0.50
เวลาย่อย (นาที)			
1	8.38^{a} ±1.40	-0.31^{a} ±0.06	0.39^{a} ±0.41
2	8.18^{a} ±1.22	-0.33^{a} ±0.05	0.41^{a} ±0.50
3	7.95^{a} ±1.35	-0.33^{a} ±0.05	0.43^{a} ±0.41
ความเข้มข้นของเอนไซม์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) x เวลาย่อย (นาที)			
1.5 x 1	9.06^{a}±0.94	-0.29^{b}±0.06	0.34^{b}±0.06
1.5 x 2	8.78^{ab}±1.15	-0.31^{ab}±0.03	0.36^{b}±0.05
1.5 x 3	8.62^{ab}±1.38	-0.31^{ab}±0.04	0.36^{b}±0.02
3.5 x 1	8.27^{ab}±1.73	-0.32^{ab}±0.07	0.41^{ab}±0.03
3.5 x 2	8.11^{ab}±1.42	-0.33^{ab}±0.08	0.42^{ab}±0.05
3.5 x 3	7.89^{ab}±1.42	-0.33^{ab}±0.06	0.42^{ab}±0.03
5.5 x 1	7.72^{ab}±1.26	-0.33^{ab}±0.04	0.46^{ab}±0.04
5.5 x 2	7.60^{ab}±0.78	-0.35^{ab}±0.02	0.47^{ab}±0.03
5.5 x 3	7.34^{b}±1.08	-0.36^{a}±0.03	0.52^{a}±0.06

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องนุ่มขึ้นเมื่อผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส เนื่องจากเซลลูโลสซึ่งเป็นโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์สายตรงของน้ำตาลกลูโคสที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชถูกย่อยด้วยเอนไซม์ โดยเซลลูโลสจะรวมตัวอยู่กับพวกลิกนินและมีผลให้เมล็ดข้าวมีความเหนียวและความแข็งแตกต่างกัน (นิธิยา, 2549) ดังนั้นเมื่อเซลลูโลสที่อยู่บริเวณผิวชั้นนอกของเมล็ดข้าวถูกย่อย ความแข็งของข้าวกล้องจึงลดลงและส่งผลให้ข้าวมีความเหนียวนุ่มเพิ่มขึ้น Mohapatra and Bal (2006) ได้ศึกษาผลของระดับการขัดสีต่อลักษณะเนื้อสัมผัส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของข้าว พบว่าเมื่อระดับการขัดสีเพิ่มขึ้นข้าวมีค่า hardness ลดลง และค่า adhesiveness และ cohesiveness เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการที่เส้นใยในชั้นรำข้าวถูกขัดสีออกไป ค่า hardness หรือ ค่าความแข็ง เป็นดัชนีสำคัญที่ใช้บ่งบอกคุณภาพการหุงของข้าว (Meullenet *et al.*, 1998) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วผู้บริโภคจะไม่นิยมรับประทานข้าวกล้องหุงสุกที่มีเนื้อสัมผัสแข็ง (Zhao *et al.*, 2007)

4.2.4 สมบัติทางเคมี

ปริมาณความชื้นของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.7 เมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์หรือระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการพิจารณาระดับความเข้มข้นและระยะเวลาในการย่อยร่วมกัน พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นของข้าวกล้องจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 14.49 – 17.37 ซึ่งปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นนี้ ให้ผลสอดคล้องกับค่า WUR ที่เพิ่มขึ้น เพราะเมื่อข้าวมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่อยู่ภายในเมล็ดข้าวจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณความชื้นของข้าวกล้องจึงเพิ่มขึ้น (Mohapatra and Bal, 2006)

ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส พบว่ามีค่าลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์หรือระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.6) เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อย พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวกล้องมีค่าลดลง ($P > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.0138 - 0.0116 กรดไขมันอิสระที่พบในข้าวกล้องเกิดจากการย่อยของ ไตรกลีเซอไรด์ ที่อยู่ในชั้นรำข้าว ซึ่งในชั้นรำข้าวนี้จะประกอบด้วยส่วนที่เป็นไขมันร้อยละ 16-20 คิดเป็น ไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละ 80-90 โดยกรดไขมันอิสระที่พบส่วนใหญ่ ได้แก่ ปาล์มิติก, ปาล์มิโตลติก, สเตียริก, โอเลอิก และ ลิโนเลอิก (Aibara *et al*., 1985) ดังนั้นเมื่อชั้นรำข้าวถูกย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส จึงทำให้น้ำมันบางส่วนถูกกำจัดออกไป และส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระมีแนวโน้มลดลง

ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่า lipase activity พบว่าค่า lipase activity มีแนวโน้มลดลง อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์หรือระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น โดยข้าวกล้องมีค่า lipase activity อยู่ระหว่าง 637.07-661.99 หน่วย/กิโลกรัมข้าวกล้อง เมื่อพิจารณาระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ร่วมกับระยะเวลาในการย่อย พบว่าค่า lipase activity ของข้าวกล้อง ลดลง อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เช่นกัน เนื่องจากการย่อยด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เอนไซม์เซลลูเลสไปทำลายโครงสร้างชั้นต่างๆของข้าวกล้อง ทำให้เอนไซม์ไลเพสซึ่งอยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดถูกทำลายไปด้วย (ศิริมา, 2547)

ตารางที่ 4.7 สมบัติทางเคมีของข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ปัจจัย	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	lipase activity (หน่วย/กิโลกรัมข้าวกล้อง)
ความเข้มข้นของเอนไซม์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)			
1.5	15.47^{c}±0.79	0.0131^{a}±0.0013	654.64^{a} ±23.16
3.5	16.15^{b}±0.99	0.0125^{a}±0.0014	646.48^{a} ±6.481
5.5	16.35^{a}±0.87	0.0119^{a}±0.0012	641.02^{a} ±15.954
เวลาย่อย (นาที)			
1	15.03^{c}±0.41	0.0128^{a}±0.0014	653.52^{a} ±17.17
2	15.92^{b}±0.33	0.0125^{a}±0.0015	646.19^{a} ±23.18
3	17.02^{a}±0.58	0.0121^{a}±0.0012	642.42^{a} ±16.26
ความเข้มข้นของเอนไซม์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) x เวลาย่อย (นาที)			
1.5 x 1	14.49^{e}±0.06	0.0138^{a}±0.0000	661.99^{a} ±17.92
1.5 x 2	15.64^{c}±0.10	0.0130^{a}±0.0017	654.52^{a} ±36.57
1.5 x 3	16.27^{b}±0.13	0.0126^{a}±0.0017	647.39^{a} ±18.08
3.5 x 1	15.23^{d}±0.06	0.0126^{a}±0.0017	653.71^{a} ±17.69
3.5 x 2	15.79^{c}±0.17	0.0127^{a}±0.0016	642.93^{a} ±18.26
3.5 x 3	17.42^{a}±0.23	0.0121^{a}±0.0016	642.80^{a} ±17.96
5.5 x 1	15.36^{d}±0.01	0.0121^{a}±0.0016	644.85^{a} ±18.02
5.5 x 2	16.33^{b}±0.08	0.0119^{a}±0.0016	641.13^{a} ±17.92
5.5 x 3	17.37^{a}±0.04	0.0116^{a}±0.0000	637.07^{a} ±18.09

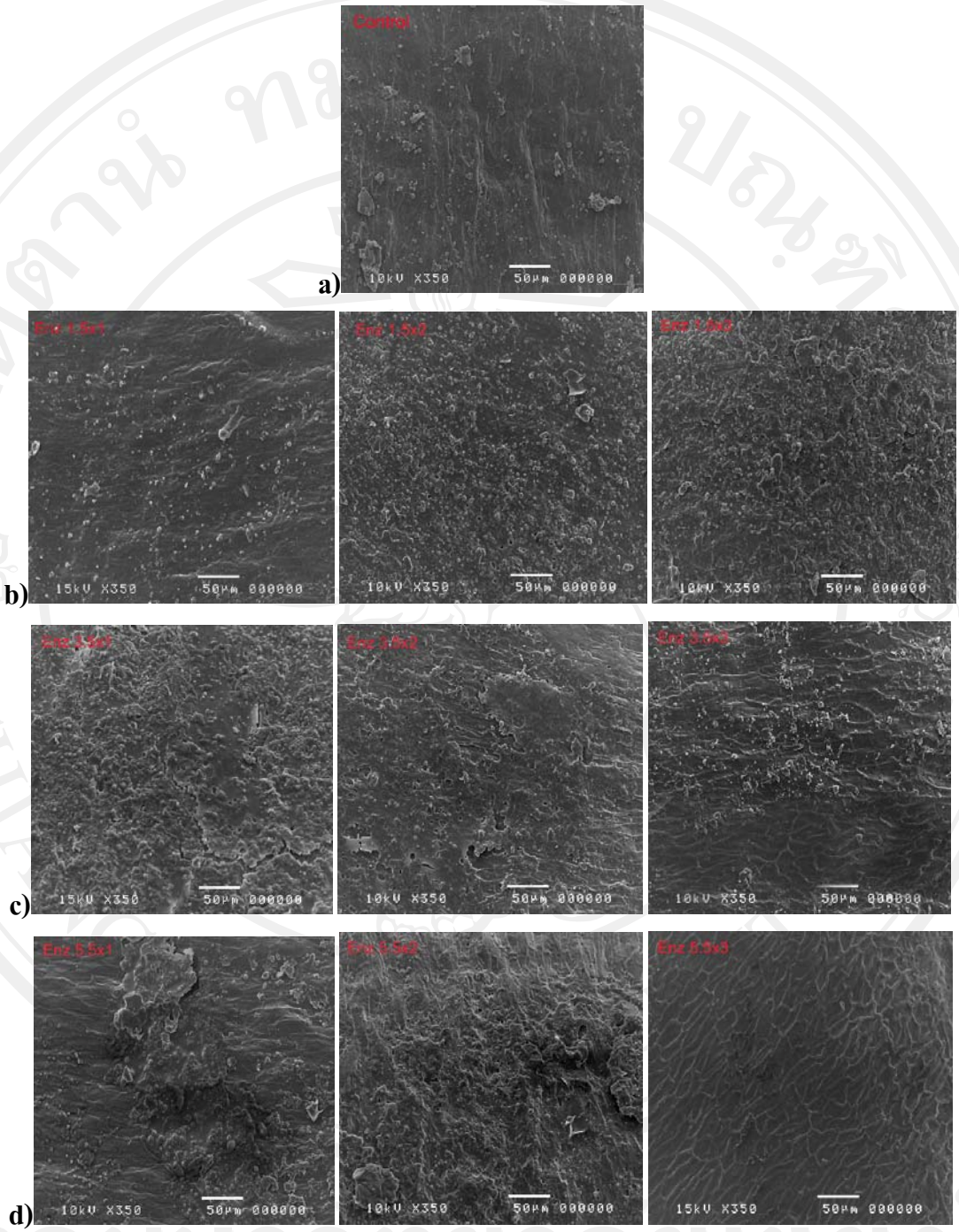
หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.5 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเมล็ดข้าว

จากการศึกษาระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสและระยะเวลาในการย่อย เมื่อนำเมล็ดข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ สังเกตการเปลี่ยนแปลงโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ที่กำลังขยาย 50 ไมโครเมตรพบว่า เมล็ดข้าวกล้องมีการเปลี่ยนแปลงโดยผิวของเมล็ดข้าวกล้องถูกย่อยมากขึ้น เมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสและระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวกล้องควบคุม ผิวของเมล็ดข้าวกล้องดัดแปรจะมีลักษณะที่ขรุขระมากกว่า เนื่องจากเอนไซม์เซลลูเลสได้ย่อยเซลลูโลสที่อยู่ในชั้นเยื่อหุ้มผลของเมล็ดข้าว ซึ่งเนื้อเยื่อชั้นนี้จะอยู่ชั้นนอกสุด มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน ทำหน้าที่ห่อหุ้มผลภายใน ประกอบด้วยผนังเซลล์เส้นใย 6 ชั้น และมีสารสีหรือรงควัตถุปนอยู่ (อรอนงค์, 2550) อีกทั้งความร้อนจากไมโครเวฟจึงส่งผลให้ผิวของเมล็ดข้าวมีลักษณะที่เป็นรูพรุน โดยเฉพาะที่ระดับความเข้มข้นของเอนไซม์สูงขึ้น สังเกตได้ว่าผิวนอกของเมล็ดข้าวมีการหลุดลอกออกบางส่วน และสามารถมองเห็นเส้นใยชั้นในได้ชัดเจนขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.4 ลักษณะผิวของเมล็ดข้าวกล้องเมื่อถูกย่อยด้วยเอนไซม์ a) ข้าวกล้องควบคุม b) ระดับเอนไซม์ 1.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร, c) ระดับเอนไซม์ 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และ d.) ระดับเอนไซม์ 5.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลาในการย่อย 1-3 นาที ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.6 คุณภาพด้านประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-point hedonic scale test โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน ได้ผลดังตารางที่ 4.8 พบว่าข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยระดับความเข้มข้นเอนไซม์และเวลาย่อยต่างๆ

ด้านความชอบสี ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าความชอบอยู่ในช่วง 6.5 – 7.0 (ชอบเล็กน้อย - ชอบปานกลาง)

ด้านกลิ่นรส ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่ระดับความเข้มข้น 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลา 3 นาที มีคะแนนความชอบสูงสุด เท่ากับ 6.6 (ชอบเล็กน้อย)

ด้านความนุ่ม ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) อยู่ในช่วง 5.0 - 6.5 (บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ - ชอบเล็กน้อย) โดยตัวอย่างข้าวกล้องที่ได้รับคะแนนด้านความนุ่มสูงที่สุดคือ ข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยระดับความเข้มข้นเอนไซม์ 1.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลา 3 นาที มีคะแนนเท่ากับ 6.5 (ชอบเล็กน้อย) รองลงมาคือ ระดับความเข้มข้นเอนไซม์ 1.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลา 1 นาที และความเข้มข้น 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลา 3 นาที มีคะแนนเท่ากับ 6.1 (ชอบเล็กน้อย) ซึ่งเมื่อเทียบกับข้าวกล้องที่มีคะแนนความชอบด้านความนุ่มสูงที่สุด พบว่าคะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ด้านความเหนียว ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยอยู่ในช่วง 5.4 -6.4 (บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ - ชอบเล็กน้อย) ซึ่งตัวอย่างข้าวกล้องที่ได้รับคะแนนความชอบด้านความเหนียวสูงที่สุดคือ ระดับความเข้มข้นเอนไซม์ 1.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลา 1 นาที มีคะแนนเท่ากับ 6.4 รองลงมาคือข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยระดับความเข้มข้นเอนไซม์ 1.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลา 2 และ 3 นาที และความเข้มข้นเอนไซม์ 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลา 3 นาที ซึ่งมีคะแนนอยู่ในช่วง 6.0 – 6.2 ซึ่งเมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวกล้องที่มีคะแนนความชอบด้านความเหนียวสูงที่สุด พบว่าได้คะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ด้านเนื้อสัมผัส ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 5.5 - 6.6 (บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ - ชอบเล็กน้อย) โดยตัวอย่างข้าวกล้องที่ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุดคือ ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลา 1 และ 3 นาที รองลงมาคือ ข้าวกล้องที่ย่อยด้วยระดับความเข้มข้นเอนไซม์ 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลา 3 นาที ซึ่งเมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวกล้องที่ได้คะแนนด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุดแล้ว พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ด้านความชอบรวม ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) อยู่ในช่วง 5.7 -6.7 (บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ - ชอบเล็กน้อย) โดยข้าวกล้องที่ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมมากที่สุดคือ ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.5 กรัม/มิลลิลิตร เวลา 1 และ 3 นาที มีคะแนนเท่ากับ 6.7 รองลงมาคือ ข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยระดับความเข้มข้นเอนไซม์ 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลา 3 นาที มีคะแนนเท่ากับ 6.5 ซึ่งเมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวกล้องที่ได้คะแนนด้านความชอบรวมสูงที่สุดแล้ว พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องหุงสุกที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ความเข้มข้นของเอนไซม์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) x เวลาย่อย (นาที)	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส					
	สี ns	กลิ่นรส	ความนุ่ม	ความเหนียว	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
1.5 x 1	6.92±1.03	6.65±1.31 a	6.16±1.31 a	6.37±1.10 a	6.48±0.99 a	6.71±0.89 a
1.5 x 2	6.75±1.15	6.27±1.41 abc	5.76±1.57 abc	5.98±1.15 bc	6.07±1.32 bc	6.19±1.26 c
1.5 x 3	6.66±1.14	6.23±1.24 c	5.46±1.58 cd	5.63±1.49 cd	5.83±1.48 cd	5.94±1.33 cd
3.5 x 1	6.60±1.30	6.50±1.19 abc	5.23±1.76 d	5.52±1.50 d	5.65±1.52 d	5.78±1.52 d
3.5 x 2	6.75±1.22	6.37±1.27 abc	5.95±1.62 ab	5.94±1.53 bc	6.13±1.44 bc	6.30±1.39 bc
3.5 x 3	6.69±1.05	6.61±1.02 ab	6.04±1.64 ab	6.26±1.34 ab	6.41±1.29 ab	6.54±1.29 ab
5.5 x 1	6.53±1.10	6.21±1.30 c	5.70±1.64 bc	5.88±1.45 cd	5.98±1.39 cd	6.09±1.31 c
5.5 x 2	6.64±1.21	6.37±1.13 abc	5.65±1.58 bc	5.88±1.45 cd	5.97±1.45 cd	6.14±1.33 c
5.5 x 3	6.85±1.19	6.42±1.29 abc	5.72±1.60 bc	5.88±1.41 cd	6.08±1.45 bc	6.19±1.32 c
ตัวอย่างควบคุม	6.63±1.02	6.37±1.32 ab	5.50±1.63 cd	5.73±1.29 cd	5.80±1.32 cd	6.04±1.18 cd

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ns หมายถึง สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

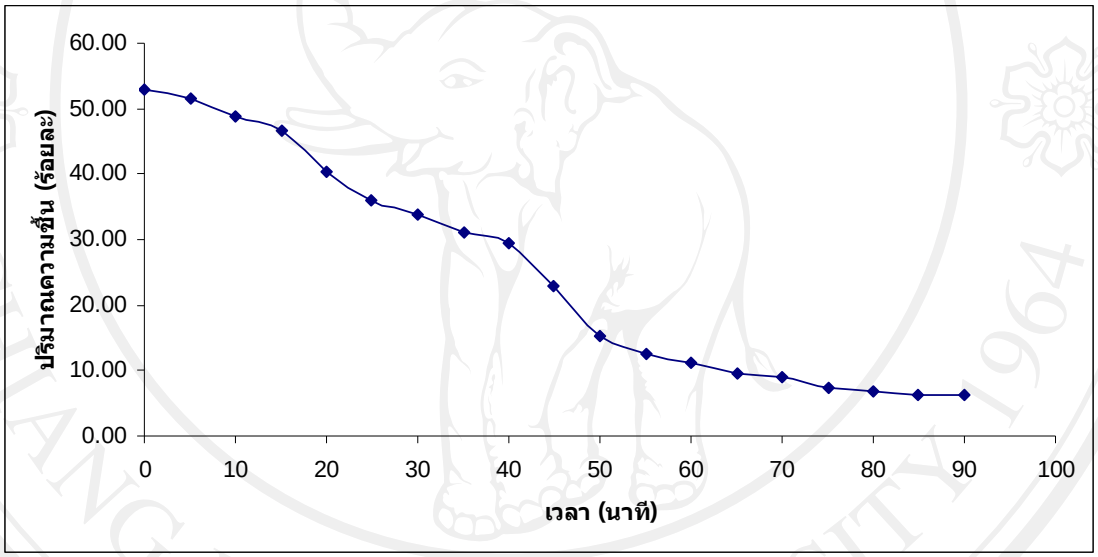
4.2.7 ความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาการย่อยที่เหมาะสมในการดัดแปรเนื้อสัมผัสของข้าวกล้อง

จากการศึกษาระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสและระยะเวลาในการย่อยเซลลูโลสของข้าวกล้อง สรุปได้ว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น เซลลูโลสบริเวณรำข้าวชั้นในจะถูกย่อยเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ข้าวกล้องมีคุณภาพดีขึ้น โดยข้าวกล้องที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่ระดับความเข้มข้น 5.5 และ 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ด้วยเวลา 3 นาที เป็นตัวอย่างข้าวกล้องที่มีคุณภาพสูงที่สุด เนื่องจากเมื่อพิจารณาสมบัติด้านเคมี กายภาพ และคุณภาพการหุง พบว่าข้าวกล้องมีค่าความสว่าง (L) สูงและมีค่าความเข้มสีน้อย จึงส่งผลให้เมล็ดข้าวมีลักษณะที่ขาวสว่างมากขึ้น นอกจากนี้ข้าวกล้องยังมีค่า LER, VER และ WUR สูงที่สุด และมีค่า OCT น้อยที่สุด ซึ่งส่งผลให้คุณภาพการหุงของข้าวกล้องดีที่สุด แม้ว่าการใช้เอนไซม์เซลลูเลสที่ระดับความเข้มข้น 5.5 และ 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ด้วยเวลา 3 นาที ข้าวกล้องจะมีสมบัติทางเคมี กายภาพ และคุณภาพการหุงไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องที่ย่อยด้วยระดับความเข้มข้นเอนไซม์ 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ดังนั้นจึงเลือกใช้เอนไซม์เซลลูเลสที่ระดับความเข้มข้น 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลา 3 นาที ในการย่อยเส้นใยเซลลูโลสของข้าวกล้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 วิธีการผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็วที่เหมาะสม

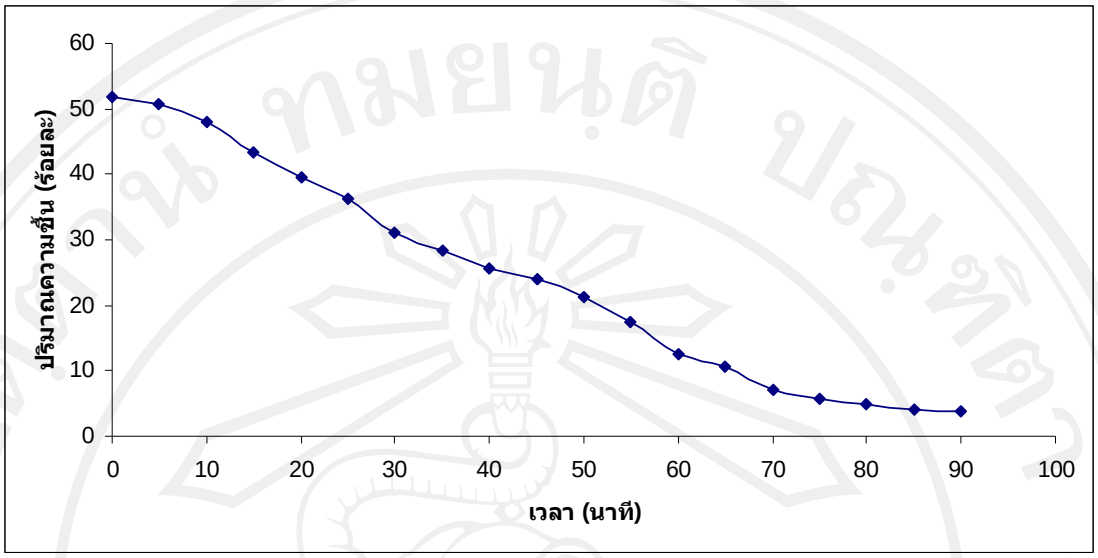
จากการศึกษากระบวนการหุงสุกเร็วข้าวกล้องด้วยวิธี soak-boil-dry พบว่าการแช่ข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งได้ความชื้นร้อยละ 30 ใช้เวลาในการแช่ 5 ชั่วโมง เมื่อนำข้าวกล้องต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:5 พบว่าใช้ระยะเวลาต้ม 7 ±1 นาที ข้าวกล้องจึงจะมีความชื้นร้อยละ 50 จากนั้นจึงนำข้าวกล้องที่ผ่านการต้มมาลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น 5 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปอบด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จนข้าวกล้องมีความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 10 พบว่าใช้ระยะเวลาในการอบแห้งข้าวกล้อง 60 นาที ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 กราฟการลดความชื้น (moisture reduction curve) ของข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry

การศึกษากระบวนการหุงสุกเร็วข้าวกล้องด้วยวิธี dry heat treatment โดยนำตัวอย่างข้าวกล้องอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที เพื่อให้เมล็ดข้าวเกิดรอยแตก ซึ่งจะทำให้เมล็ดข้าวดูดซึมน้ำได้ดีขึ้น จากนั้นนำข้าวกล้องต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:5 พบว่าใช้ระยะเวลาต้ม 8±1 นาที ข้าวกล้องจึงจะมีความชื้นร้อยละ 50 แล้วจึงนำข้าวกล้องที่ผ่านการต้มมาลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็น 5 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปอบด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จนข้าวกล้องมีความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 10 พบว่าใช้ระยะเวลาในการอบแห้งข้าวกล้อง 65 นาที ดังภาพที่ 4.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.6 กราฟการลดความชื้น (moisture reduction curve) ของข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็วด้วยวิธี dry heat treatment

เมื่อนำข้าวกล้องหุงสุกเร็วทั้ง 2 วิธี วิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพ คุณภาพการหุง เนื้อสัมผัส เคมี และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ให้ผลดังต่อไปนี้

4.3.1 สมบัติทางกายภาพ

ค่าสีของข้าวกล้อง (ตารางที่ 4.9) พบว่าข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็วมีค่าความสว่าง (L) ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวกล้องควบคุม โดยข้าวกล้องควบคุมมีค่าความสว่างสูงสุด เท่ากับ 57.32 รองลงมาคือข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธี dry heat treatment และ soak-boil-dry ซึ่งมีค่าความสว่าง เท่ากับ 52.54 และ 47.56 ตามลำดับ ซึ่งการที่ข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธี dry heat treatment มีค่าความสว่างสูงกว่าวิธี soak-boil-dry เนื่องจากในระหว่างการอบแห้งเมล็ดข้าวด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที มีผลให้เมล็ดข้าวเกิดรอยแตกบริเวณผิว ดังนั้นเมื่อต้มในน้ำเดือดทำให้น้ำแทรกเข้าสู่เมล็ดได้มากขึ้น เมล็ดข้าวจึงมีการขยายตัวจนเกิดปริแตกถึงแกนกลางที่มีสีขาว (รัตนวดีและอรวรรณ, 2547; พรทิพย์และคณะ, 2550) เมื่อนำมาวัดค่าความสว่างจึงมีค่าสูงกว่าเมล็ดข้าวที่หุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry

ค่า a และค่า b หรือ ค่าสีแดงและสีเหลือง พบว่าข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็วมีค่า a และค่า b ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวกล้องควบคุม โดยข้าวกล้องควบคุมมีค่า a และค่า b สูงที่สุด เท่ากับ 2.07 และ 19.93 รองลงมาคือข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธี dry heat treatment และ soak-boil-dry ซึ่งมีค่า a เท่ากับ 1.66 และ 1.24 ตามลำดับ และค่า b

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เท่ากับ 11.90 และ 9.81 ตามลำดับ การวิเคราะห์ค่า ΔE พบว่าข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry มีค่า ΔE สูงกว่าวิธี dry heat treatment อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) แสดงว่าข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีรวมมากกว่าวิธี dry heat treatment เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม จากการเปลี่ยนแปลงค่าสีดังกล่าวแสดงว่าข้าวกล้องที่ผ่านการหุงสุกเร็วมีลักษณะปรากฏด้านสีที่เข้มขึ้น โดยข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry มี ค่า a และ b น้อยกว่าวิธี dry heat treatment เนื่องจากวิธี soak-boil-dry ข้าวกล้องเกิดการสูญเสียสารสีในระหว่างกระบวนการแช่น้ำ โดยรงควัตถุที่พบในข้าวกล้องส่วนใหญ่ ได้แก่ แอนโธไซยานิน (อรอนงค์, 2550) ซึ่งสามารถละลายได้ในน้ำ

ตารางที่ 4.9 ค่าสีของข้าวกล้องควบคุมและข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry และ dry heat treatment

ตัวอย่าง	L	a	b	ΔE
Soak-boil-dry	47.56^{c} ±0.85	1.24^{c} ±0.12	9.81^{c} ±0.23	14.07^{a} ±0.56
Dry heat treatment	52.54^{b} ±0.72	1.66^{b} ±0.26	11.90^{b} ±0.16	9.37^{b} ±0.34
Control	57.32^{a} ±0.07	2.07^{a}±0.01	19.93^{a}±0.02	-

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ns หมายถึง ข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

4.3.2 คุณภาพการหุง

คุณภาพการหุงของข้าวกล้อง แสดงดังตารางที่ 4.10 พบว่า ข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry และ dry heat treatment มีค่า OCT, WUR, LER และ VER ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่เมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวกล้องควบคุม พบว่าข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็วทั้ง 2 วิธี มีค่า WUR และ VER เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) และค่า OCT ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ส่วนค่า LER พบว่าข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เนื่องจากกระบวนการผลิตข้าวด้วยวิธีหุงสุกเร็วทำให้ข้าวกล้องมีรอยแตกและรูพรุนเกิดขึ้นทั่วทั้งเมล็ดข้าว (Prasert and Suwannaporn, 2009) ดังนั้นเมล็ดข้าวจึงสามารถดูดซับน้ำ และขยายตัวได้มากขึ้น ค่า WUR, LER และ VER จึงเพิ่มขึ้น รวมทั้งส่งผลให้เวลาในการหุงสุกของเมล็ดข้าวลดลง ดังนั้นค่า OCT จึงลดลง อาลักษณ์และพงษ์ธร (2548) ได้ศึกษาการผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็วโดยใช้อุณหภูมิและความดันระดับต่าง ๆ พบว่าข้าวที่ผ่านการต้มในสภาวะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นำเดือดมีลักษณะปริและบานออก ทำให้พื้นที่ผิวของเมล็ดข้าวสัมผัสกับน้ำเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้น้ำแพร่เข้าสู่เมล็ดข้าวได้มากขึ้น

ตารางที่ 4.10 คุณภาพการหุงของข้าวกล้องควบคุมและข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry และ dry heat treatment

ตัวอย่าง	OCT	WUR	LER^{ns}	VER
Soak-boil-dry	10.7^{b}±0.58	1.91^{a}±0.03	1.09±0.01	2.04^{a} ±0.03
Dry heat treatment	9.7^{b}±0.58	1.93^{a}±0.02	1.11±0.02	2.06^{a} ±0.01
Control	18.7^{a}±0.58	1.80^{b}±0.01	1.09 ±0.02	1.83^{b} ±0.01

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ns หมายถึง ข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

สมบัติด้านความหนืดของข้าวกล้อง แสดงดังตารางที่ 4.11 พบว่าข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry และ dry heat treatment มีค่า peak viscosity, breakdown, final viscosity และ setback ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่เมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวกล้องควบคุม พบว่าข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็วทั้ง 2 วิธี มีค่า peak viscosity, breakdown, final viscosity และ setback ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เนื่องจากกระบวนการหุงสุกเร็วทำให้เม็ดสตาร์ชสามารถสูญเสียลักษณะโครงร่างผลึก โมเลกุลน้ำจึงเข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ระหว่างโมเลกุลอะไมโลสได้ง่าย ทำให้เมล็ดสตาร์ชพองตัวได้ง่าย และเกิดเจลาติไนเซชันอย่างสมบูรณ์ (Ozai-Durrani, 1948) นอกจากนี้ ไขมันซึ่งเป็นตัวยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ชโดยเป็นเกราะป้องกันไม่ให้น้ำแพร่เข้าสู่สตาร์ช เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโมเลกุลอะไมโลส จึงมีปริมาณสิ่งกีดขวางการดูดซึมน้ำของสตาร์ชน้อยลง เม็ดสตาร์ชของข้าวกล้องหุงสุกเร็วจึงพองตัวได้ดีและเกิดลักษณะข้นหนืดได้ง่ายกว่าตัวอย่างข้าวกล้องควบคุม (Siswoyo and Morita, 2003) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Prasert and Suwannaporn (2009) โดยพบว่าสมบัติด้านความหนืดของข้าวหุงสุกเร็วมีค่าน้อยกว่าข้าวหุงสุกธรรมดา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.11 สมบัติด้านความหนืดของข้าวกล้องควบคุมและข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry และ dry heat treatment

ตัวอย่าง	peak viscosity (RVU)	breakdown (RVU)	final viscosity (RVU)	setback (RVU)
Soak-boil-dry	1360.50^{b}±13.44	-10.00^{b}±1.41	2227.00^{c}±5.66	866.50^{b}±19.09
Dry heat treatment	1339.50^{b}±41.72	-5.50^{b}±0.71	2276.50^{b}±7.78	937.00^{b}±33.94
Control	1735.00^{a}±22.63	172.00^{a}±14.14	3097.50^{a}±12.02	1362.50^{a}±10.61

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ns หมายถึง ข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

4.3.3 สมบัติทางด้านเนื้อสัมผัส

สมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของข้าวกล้อง แสดงดังตารางที่ 4.12 พบว่าข้าวกล้องหุงสุกที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยวิธีหุงสุกเร็วทั้ง 2 ตัวอย่างมีค่าความแข็ง ค่าความเหนียวติดกัน และค่าความเกาะติดกันลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวกล้องควบคุมหุงสุก โดยข้าวกล้องหุงสุกเร็วทั้ง 2 วิธีและข้าวกล้องควบคุม มีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 8.34-9.41 นิวตัน ค่าความเหนียวติดกันอยู่ระหว่าง (-0.21) กับ (-0.24) นิวตัน และค่าความเกาะติดกันอยู่ระหว่าง 0.33-0.37 นิวตัน วินาที จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสดังตารางที่ 4. แสดงให้เห็นว่าข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็วมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวกล้องควบคุม Rewthong *et al.* (2011) ศึกษาการผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธีต่าง ๆ พบว่า ข้าวกล้องหุงสุกเร็วที่ผ่านการเตรียมด้วยการต้มในน้ำเดือด ส่งผลให้อะไมโลสและอะไมโลเพกตินสายสั้นหลุดออกมาจากเมล็ดข้าว โดยอะไมโลสและอะไมโลเพกตินส่งผลต่อความแข็งและความเหนียวของข้าวหุงสุกตามลำดับ จึงทำให้ข้าวกล้องหุงสุกเร็วที่ได้ มีความแข็งและความเหนียวลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.12 สมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องควบคุมและข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry และ dry heat treatment

ตัวอย่าง	hardness^{ns} (นิวตัน)	Adhesiveness (นิวตัน วินาที)	cohesiveness^{ns}
Soak-boil-dry	9.07±1.82	-0.22^{ab} ±0.03	0.35 ±0.07
Dry heat treatment	8.34±1.55	-0.21^{b} ±0.03	0.37 ±0.08
control	9.41±1.14	-0.24^{a} ±0.03	0.33±0.04

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ns หมายถึง ข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

4.3.4 สมบัติทางเคมี

สมบัติทางเคมีของข้าวกล้อง แสดงดังตารางที่ 4.13 จากการปรับความชื้นของข้าวกล้องในขั้นตอนการอบแห้งของกระบวนการหุงสุกเร็วให้มีความชื้นประมาณ ร้อยละ 10 จึงส่งผลให้ความชื้นของข้าวกล้องหุงสุกเร็วทั้ง 2 วิธี มีปริมาณความชื้นน้อยกว่าข้าวกล้องควบคุม อย่างมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ปริมาณกรดไขมันอิสระ พบว่าข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็วทั้ง 2 วิธี มีปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงอย่างมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เนื่องจากในระหว่างกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วที่ได้รับทั้งความร้อนและความชื้น โครงร่างผลึกของอะไมโลสในโมเลกุลสตาร์ชจะถูกทำลาย เกิดเป็นโครงร่างผลึกขึ้นใหม่กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสและไขมัน (Prasert and Suwannaporn, 2009) ดังนั้นข้าวกล้องหุงสุกเร็วทั้ง 2 วิธี จึงมีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ระหว่างร้อยละ 0.0146 – 0.0150 ขณะที่ตัวอย่างข้าวกล้องควบคุมมีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ ร้อยละ 0.176

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.13 สมบัติทางเคมีของข้าวกล้องควบคุมและข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการหุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry และ dry heat treatment

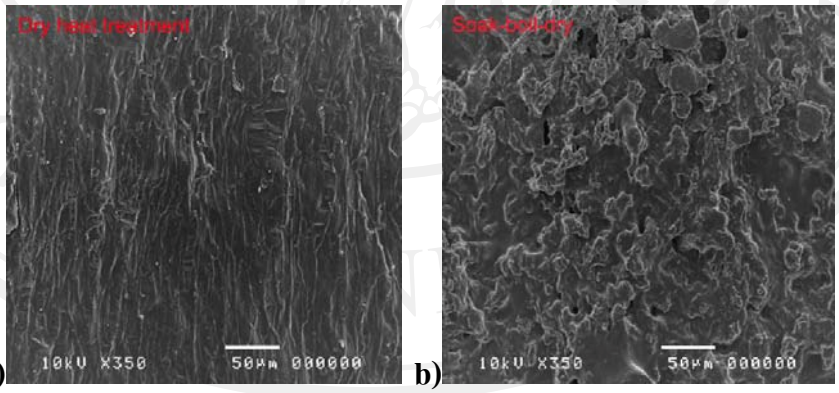
ตัวอย่าง	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)
Soak-boil-dry	10.11^{b} ±0.13	0.0150^{ab}±0.02
Dry heat treatment	10.25^{b} ±0.13	0.0146^{b}±0.02
Control	12.28^{a} ±0.30	0.0176^{a}±0.00

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ns หมายถึง ข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

4.3.5 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของข้าวกล้อง

จากการศึกษาการดัดแปรเนื้อสัมผัสข้าวกล้องด้วยวิธีหุงสุกเร็ว 2 วิธี คือวิธี dry heat treatment และวิธี soak-boil-dry สังเกตการเปลี่ยนแปลงโดยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ที่กำลังขยาย 50 ไมโครเมตรพบว่าเมล็ดข้าวกล้องมีการเปลี่ยนแปลงดังภาพที่ 4.7



a) b)

ภาพที่ 4.7 ลักษณะผิวของเมล็ดข้าวกล้องหุงสุกเร็ว a) วิธี dry heat treatment b) วิธี soak-boil-dry

จากภาพที่ 4.7 พบว่าเมล็ดข้าวกล้องหุงสุกเร็ว ด้วยวิธี dry heat treatment มีลักษณะผิวเหี่ยวย่นขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผิวของตัวอย่างข้าวกล้องควบคุม เนื่องจากตัวอย่างข้าวกล้องถูกอบด้วยอุณหภูมิสูงเพื่อให้มีความชื้นร้อยละ10 จึงทำให้เมล็ดข้าวแห้งและหดตัว ผิวด้านนอกจึงมีลักษณะย่นเข้าหากัน ขณะที่ข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry พบว่าเมล็ดข้าวมีลักษณะผิวขรุขระคล้ายถูกกัดเซาะและหลอมละลาย เนื่องจากวิธี soak-boil-dry เมล็ดข้าวจะถูกแช่น้ำเป็นเวลานาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลายชั่วโมง จึงทำให้ผิวของเมล็ดข้าวเปื่อยยุ่ยและหลุดลอกได้ง่ายขึ้นเมื่อถูกต้ม รวมทั้งการแช่ข้าวจะทำให้เมล็ดข้าวสามารถดูดซับน้ำไว้ได้เต็มที่และสามารถเกิดเจลได้ดีขึ้นเมื่อเมล็ดข้าวได้รับความร้อน (อรสุดา, 2550) ในขั้นตอนการต้มและการอบแห้ง โดยความร้อนจะทำให้เม็ดสตาร์ชบริเวณผิวนอกของเมล็ดข้าวเกิดการพองตัวและเจลาติไนเซชันขึ้น ดังนั้นหลังจากเมล็ดข้าวแห้งผิวด้านนอกจึงมีลักษณะคล้ายเจลและรอยแตกขรุขระกระจายทั่วทั้งเมล็ด ซึ่งทำให้เมล็ดข้าวสามารถดูดซับน้ำได้ดีและเกิดการหุงสุกที่เร็วขึ้น (พรทิพย์และคณะ, 2550) แต่ในขณะเดียวกันถ้าหากเมล็ดข้าวมีรอยแตกที่มากเกินไปก็จะทำให้เมล็ดข้าวสุกแตกบาน ไม่เป็นที่พึงประสงค์ของผู้บริโภคได้ (วุฒิชัยและสุภาภรณ์, 2548)

4.3.6 คุณภาพด้านประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-point hedonic scale test โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน แสดงดังตารางที่ 4.14 พบว่าข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry, วิธี dry heat treatment และข้าวกล้องควบคุม ได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส ความนุ่ม ความเหนียว เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยได้รับคะแนนความชอบด้านสี อยู่ระหว่าง 6.62-6.77 (ชอบเล็กน้อย) ด้านกลิ่นรส มีคะแนนอยู่ระหว่าง 6.62-6.65 (ชอบเล็กน้อย) ด้านความนุ่มมีคะแนนอยู่ระหว่าง 5.81-6.08 (บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ-ชอบเล็กน้อย) ด้านเนื้อสัมผัสมีคะแนนอยู่ระหว่าง 6.12-6.27(ชอบเล็กน้อย) และด้านความชอบรวมมีคะแนนอยู่ระหว่าง 6.12-6.42 (ชอบเล็กน้อย)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวกล้องหุงสุกที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยวิธีหุงสุกเร็ว เปรียบเทียบกับข้าวกล้องควบคุม

ตัวอย่างข้าวกล้อง	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส					
	สี[ns]	กลิ่นรส[ns]	ความนุ่ม[ns]	ความเหนียว[ns]	เนื้อสัมผัส[ns]	ความชอบรวม[ns]
Soak-boil-dry	6.77±1.21	6.62±0.89	5.81±1.49	5.92±1.19	6.12±1.17	6.12±0.99
Dry heat treatment	6.62±1.09	6.65±1.01	6.08±1.12	6.04±1.18	6.27±1.00	6.19±0.89
Control	6.62±1.20	6.62±1.02	5.96±1.28	6.31±1.12	6.23±1.30	6.42±1.13

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ns หมายถึง สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.7 วิธีการผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็วที่เหมาะสม

จากการศึกษาการผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry และ วิธี dry heat treatment สรุปได้ว่าข้าวกล้องที่ผ่านการผลิตด้วยวิธีการหุงสุกเร็วจะมีคุณภาพการหุงที่ดีขึ้น เมื่อเทียบกับตัวอย่างข้าวกล้องควบคุม โดยข้าวกล้องหุงสุกเร็วทั้ง 2 วิธี มีค่า OTC น้อยกว่า ข้าวกล้องควบคุม 2.0 เท่า แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธี soak-boil-dry และ วิธี dry heat treatment จากการพิจารณาสมบัติด้านกายภาพ เคมี เนื้อสัมผัส และคุณภาพการหุง พบว่าข้าวกล้องหุงสุกเร็วทั้ง 2 วิธี มีสมบัติด้านเคมี เนื้อสัมผัส และคุณภาพการหุงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ยกเว้นสมบัติด้านกายภาพ ซึ่งข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธี dry heat treatment มีลักษณะปรากฏด้านสีที่ดีกว่าข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธี soak-boil-dry รวมทั้งมีขั้นตอนในการเตรียมที่สะดวกมากกว่าวิธี soak-boil-dry เนื่องจากไม่ต้องแช่ข้าวกล้องก่อนนำไปหุงสุก ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการเตรียมลงได้ถึง 5 ชั่วโมง ดังนั้นการผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็วด้วยวิธี dry heat treatment จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด

4.4 สมบัติของข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสที่ผลิตโดยวิธีการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ และวิธีหุงสุกเร็ว (Dry heat treatment)

จากการผลิตข้าวกล้องหุงสุกเร็วโดยวิธีการใช้เอนไซม์ที่ระดับความเข้มข้น 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ร่วมกับไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 850 วัตต์ เวลา 90 วินาที และการหุงสุกเร็ว ด้วยวิธี Dry heat treatment เมื่อเปรียบเทียบสมบัติด้านต่างๆของข้าวกล้องดัดแปร พบว่าได้ผลดังต่อไปนี้

สมบัติทางกายภาพและคุณภาพการหุง (ตารางที่ 4.15) ด้านค่าสี พบว่า ข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟมีค่าความสว่าง (L) และค่าสีเหลือง (b) สูงกว่าข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยวิธีหุงสุกเร็ว แบบ dry heat treatment อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ส่วนค่าสีแดง (a) พบว่าข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสทั้ง 2 วิธี มีค่าสีแดงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ด้านคุณภาพการหุง พบว่าข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสทั้ง 2 วิธี มีคุณภาพการหุงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ยกเว้นค่า OTC ซึ่งพบว่าข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยวิธีหุงสุกเร็ว แบบ dry heat treatment มีค่า OCT น้อยกว่าข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.15 สมบัติทางกายภาพและคุณภาพการหุงของข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยวิธีการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ และวิธีหุงสุกเร็ว (dry heat treatment)

วิธีการดัดแปรเนื้อสัมผัส	ปริมาณ						
	L	a[ns]	b	OCT (นาที)	WUR[ns]	LER[ns]	VER[ns]
เอนไซม์และไมโครเวฟ	65.76[a] ±0.15	1.68 ±0.05	17.07[a] ±0.03	15.5[a] ±0.71	1.94 ±0.03	1.11 ±0.02	2.06 ±0.00
หุงสุกเร็ว (dry heat treatment)	53.04[b] ±1.16	1.48 ±0.23	11.90[b] ±0.29	10.0[b] ±0.00	1.92 ±0.02	1.12 ±0.00	2.06 ±0.01

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ns หมายถึง สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.16 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสและความหนืดของข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยวิธีการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ และวิธีหุงสุกเร็ว (dry heat treatment)

วิธีการดัดแปรเนื้อสัมผัส	ปริมาณ						
	hardness[ns] (นิวตัน)	adhesiveness[ns] (นิวตัน วินาที)	cohesiveness[ns]	peak viscosity[ns] (RVU)	breakdown[ns] (RVU)	final viscosity[ns] (RVU)	setback[ns] (RVU)
เอนไซม์และไมโครเวฟ	7.45 ±0.51	-0.34 ±0.12	0.44 ±0.02	1423.00 ±7.07	63.00[a] ±2.83	2468.00 ±110.31	1045.00 ±117.38
หุงสุกเร็ว (dry heat treatment)	8.79 ±1.40	-0.22 ±0.05	0.34 ±0.08	1339.50 ±41.72	-5.50[b] ±0.71	2276.50 ±7.78	937.00 ±33.94

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ns หมายถึง สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 4.16 พบว่าข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟและข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยวิธีหุงสุกเร็ว แบบ dry heat treatment มีสมบัติด้านเนื้อสัมผัส (ความแข็ง ความเหนียวติดกัน และความเกาะติดกัน) และสมบัติด้านความหนืด (peak viscosity, breakdown, final viscosity และ setback) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 4.17 สมบัติทางเคมีของข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยวิธีการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ และวิธีหุงสุกเร็ว (dry heat treatment)

วิธีการดัดแปรเนื้อสัมผัส	ปริมาณ	
	ความชื้น (ร้อยละ)	กรดไขมันอิสระ^{ns} (ร้อยละ)
เอนไซม์และไมโครเวฟ	17.29^{a} ±0.11	0.0112 ±0.0000
หุงสุกเร็ว (dry heat treatment)	10.26^{b} ±0.18	0.0151 ±0.0019

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ns หมายถึง สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สมบัติทางเคมี (ตารางที่ 4.17) พบว่าข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยวิธีหุงสุกเร็ว แบบ Dry heat treatment มีปริมาณความชื้นน้อยกว่าข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระ พบว่าข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสทั้ง 2 วิธี มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

สมบัติด้านประสาทสัมผัส แสดงดังตารางที่ 4.18 พบว่าข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสี, ความนุ่ม และความชอบรวม สูงกว่าข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยวิธีหุงสุกเร็ว แบบ dry heat treatment อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ส่วนคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรส, ความเหนียว และเนื้อสัมผัส พบว่าข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสทั้ง 2 วิธี ได้คะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.18 สมบัติด้านประสาทสัมผัสของข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยวิธีการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ และวิธีหุงสุกเร็ว (dry heat treatment)

วิธีการดัดแปรเนื้อสัมผัส	คะแนนการยอมรับ					
	สี	กลิ่นรส^{ns}	ความนุ่ม	ความเหนียว^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	ความชอบรวม
เอนไซม์และไมโครเวฟ	7.27^{a} ±1.08	6.73 ±0.96	6.96^{a} ±1.31	6.46 ±1.21	6.69 ±1.16	7.08^{a} ±1.06
หุงสุกเร็ว (dry heat treatment)	6.62^{b} ±1.10	6.65 ±1.02	6.08^{b} ±1.13	6.04 ±1.18	6.27 ±1.00	6.19^{b} ±0.90

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ns หมายถึง สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.19 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องควบคุม ข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยวิธีการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ และวิธีหุงสุกเร็ว (dry heat treatment)

องค์ประกอบ	ตัวอย่างควบคุม	ดัดแปรเนื้อสัมผัสด้วยเอนไซม์และไมโครเวฟ	ดัดแปรเนื้อสัมผัสด้วยวิธีหุงสุกเร็ว (dry heat treatment)
	ปริมาณ (ร้อยละ)		
ความชื้น	$12.23^{B} \pm 0.41$	$16.22^{A} \pm 0.13$	$10.26^{C} \pm 0.18$
โปรตีน	$6.31^{A} \pm 0.14$	$5.98^{A} \pm 0.07$	$5.55^{B} \pm 0.13$
ไขมัน	$2.38^{A} \pm 0.25$	$0.82^{B} \pm 0.05$	$0.71^{B} \pm 0.07$
เถ้า	$1.12^{A} \pm 0.16$	$0.48^{B} \pm 0.02$	$0.38^{B} \pm 0.06$
เส้นใย	$0.81^{A} \pm 0.10$	$0.44^{B} \pm 0.02$	$0.44^{B} \pm 0.06$
คาร์โบไฮเดรต	$76.62^{B} \pm 0.54$	$75.64^{B} \pm 0.53$	$82.67^{A} \pm 0.01$
วิตามิน บี1	$142.56^{A} \pm 0.41$	$120.62^{B} \pm 0.30$	$0.00^{C} \pm 0.00$

หมายเหตุ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.20 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องควบคุม ข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยวิธีการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ และวิธีหุงสุกเร็ว (dry heat treatment) หลังจากหุงสุก

องค์ประกอบ	ตัวอย่างควบคุม	ดัดแปรเนื้อสัมผัสด้วยเอนไซม์และไมโครเวฟ	ดัดแปรเนื้อสัมผัสด้วยวิธีหุงสุกเร็ว (dry heat treatment)
	ปริมาณ (ร้อยละ)		
ความชื้น^{ns}	86.10 ± 2.88	89.88 ± 0.74	89.22 ± 1.54
โปรตีน	$2.08^{A} \pm 0.05$	$1.92^{B} \pm 0.02$	$1.50^{C} \pm 0.04$
ไขมัน	$0.71^{A} \pm 0.07$	$0.25^{B} \pm 0.01$	$0.38^{B} \pm 0.04$
เถ้า	$0.34^{A} \pm 0.05$	$0.16^{B} \pm 0.01$	$0.16^{B} \pm 0.02$
เส้นใย	$0.42^{A} \pm 0.05$	$0.21^{B} \pm 0.01$	$0.14^{B} \pm 0.02$
คาร์โบไฮเดรต^{ns}	10.36 ± 3.00	7.58 ± 0.78	8.62 ± 1.47
วิตามิน บี1	$54.60^{A} \pm 0.21$	$28.85^{B} \pm 0.18$	$0.00^{C} \pm 0.00$

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรที่แตกต่างกันบ่งบอกถึงสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ns หมายถึง สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องก่อนหุงสุก (ตารางที่ 4.19) พบว่าข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยการใช้เอนไซม์ร่วมไมโครเวฟและข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยวิธีหุงสุกเร็ว ด้วยวิธี dry heat treatment มีคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และวิตามินบี 1 ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้หลุดออกไปพร้อมส่วนของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด นิวเซลลัส ชั้นแอลิวโรน (อรอนงค์, 2550) เมื่อข้าวถูกย่อยด้วยเอนไซม์และความร้อนจากไมโครเวฟ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Park *et al.* (2001) และ Mohapatra and Bal (2006) ที่พบว่าเมื่อข้าวถูกขัดสีชั้นแอลิวโรน เยื่อหุ้มผล และเยื่อหุ้มเมล็ดออก ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยของข้าวมีปริมาณลดลง แต่อย่างไรก็ตามคุณค่าทางโภชนาการที่ลดลงของข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสด้วยการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบกับคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขัดขาวโดยทั่วไป (กรมอนามัย, 2535) ขณะที่ข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสด้วยวิธี dry heat treatment เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการในระหว่างการอบที่อุณหภูมิสูงและต้มในน้ำเดือด โดยเฉพาะวิตามินบี 1 ซึ่งเกิดการสูญเสียทั้งหมดระหว่างการแปรรูป เนื่องจากวิตามิน บี 1 เป็นวิตามินที่ละลายได้ในน้ำและถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน (นิธิยา, 2549)

หลังจากการหุงสุกแล้ว (ตารางที่ 4.20) พบว่าข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองมีคุณค่าทางโภชนาการต่าง ๆ ลดลง เมื่อเทียบกับข้าวกล้องก่อนหุงสุก โดยข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟและข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยวิธีหุงสุกเร็ว ด้วยวิธี dry heat treatment มีคุณค่าทางโภชนาการ น้อยกว่าตัวอย่างข้าวกล้องควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ดังนั้นการผลิตข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสด้วยการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เพราะนอกจากคุณค่าทางโภชนาการแล้ว ข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ มีสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านสี, ความนุ่มและความชอบโดยรวมสูงกว่าข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยวิธีหุงสุกเร็ว แบบ dry heat treatment จึงเลือกข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสด้วยการใช้เอนไซม์ร่วมกับไมโครเวฟ เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษา

จากการนำข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส โดยการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสระดับความเข้มข้น 3.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เวลา 3 นาที และให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 850 วัตต์ เวลา 90 วินาที (Texture Modified Brown Rice : TMBR) และข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร (control) บรรจุในถุงพอลิเอทิลีนชนิดเคลือบ (Aluminium laminated polyethylene : ALPET) และไม่เคลือบอะลูมิเนียม (Non-laminated polyethylene : NLPET) โดยปิดผนึกแบบธรรมดา (Normal : N) และแบบสุญญากาศ (Vacuum : V) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และสุ่มตัวอย่างทุก 1 เดือน เป็นเวลา 6 เดือน ได้ผลดังต่อไปนี้

4.5.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

พบว่าข้าวกล้องมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านสีดังนี้ ค่า L ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร (control) (ตารางที่ 4.21) มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่าง 4 เดือน ของการเก็บรักษา แต่ในเดือนที่ 5 และ 6 พบว่า สภาวะการเก็บรักษามีผลให้ค่า L ลดลงอย่างมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยการปิดผนึกแบบสุญญากาศทำให้ข้าวกล้องมีค่า L สูงกว่าการปิดผนึกแบบธรรมดา แต่ชนิดของบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า L อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อพิจารณาร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บ พบว่าให้ผลสอดคล้องกันคือช่วง 1 - 5 เดือน ค่า L ของข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ในเดือนที่ 6 พบว่าข้าวกล้องที่บรรจุในถุงเคลือบอะลูมิเนียมแบบสุญญากาศ มีค่า L สูงที่สุด เท่ากับ 53.84 รองลงมาคือข้าวกล้องที่บรรจุในถุงไม่เคลือบอะลูมิเนียมแบบสุญญากาศ ซึ่งมีค่า L เท่ากับ 53.74

และจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีของข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัส ระหว่างการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์และสภาวะการบรรจุที่ต่างกัน พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการบรรจุไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า L อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 4.22) แต่เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น พบว่าค่า L มีแนวโน้มลดลง โดยสภาวะการเก็บรักษาแบบสุญญากาศสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงของค่า L ได้ดีกว่าตัวอย่างทดลองที่บรรจุในสภาวะธรรมดา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จากการพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษา พบว่าข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองมีการเปลี่ยนแปลงค่า L ที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างการเก็บรักษา โดยมีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา และในแต่ละเดือนไม่พบความแตกต่างของค่า L ของข้าวกล้องที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์และสภาวะการบรรจุที่ต่างกัน ($P > 0.05$) ในเดือนที่ 6 พบว่าข้าวกล้องมีค่า L แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทางสถิติ (P≤0.05) โดยข้าวกล้องที่มีค่า L สูง คือข้าวกล้องซึ่งบรรจุในถุงไม่เคลือบอะลูมิเนียมแบบสุญญากาศ และเคลือบอะลูมิเนียมแบบสุญญากาศ มีค่า L เท่ากับ 62.79 และ 62.77ตามลำดับ

และพบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า a (ตารางที่ 4.23 และตารางที่ 4.24) ในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) และสภาวะการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า a (P>0.05) ในระหว่างการเก็บรักษาเมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษา พบว่าในเดือนที่ 1 ข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองมีค่า a ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่ในเดือนที่ 2 - 6 พบว่าค่า a ของข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) โดยข้าวกล้องที่บรรจุแบบสุญญากาศมีการเปลี่ยนแปลงของค่าสี a น้อยกว่าการบรรจุแบบธรรมดา

การวิเคราะห์ค่า b พบว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร (ตารางที่ 4.25) และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร (ตารางที่ 4.26) ซึ่งบรรจุในบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดกันมีการเปลี่ยนแปลงของค่า b อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่พบว่าสภาวะการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า b ของข้าวกล้องมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) พบว่าการเก็บรักษาโดยการบรรจุแบบสุญญากาศสามารถรักษาค่าสี b ไม่ให้เกิดเปลี่ยนแปลงได้มากกว่าการบรรจุแบบธรรมดา

จากการศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทั้งข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร ทุกตัวอย่างทดลองมีค่า L ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) โดยข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร มีค่า L สูงกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร ส่วนค่า a พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทุกตัวอย่างทดลองมีค่า a ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) โดยในเดือนที่ 1 ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร มีค่า a อยู่ระหว่าง 2.03 – 2.10 และ 1.65 – 1.67 ตามลำดับ และเมื่อเก็บรักษาครบ 6 เดือน พบว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร มีค่า a อยู่ระหว่าง 1.92 - 1.94 และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรมีค่า a อยู่ระหว่าง 1.57 - 1.59 และค่า b พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทุกตัวอย่างทดลองมีค่า b เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) โดยในเดือนที่ 1 ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร มีค่า b อยู่ระหว่าง 19.99 – 20.09 และ 17.46 – 17.58 และเมื่อเก็บรักษาครบ 6 เดือน พบว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร มีค่า b อยู่ระหว่าง 22.00 - 22.25 และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรมีค่า b อยู่ระหว่าง 19.14 - 19.31

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อเก็บรักษาข้าวกล้องไว้นานขึ้น ข้าวกล้องจะมีสีเหลืองคล้ำขึ้น โดยสีที่คล้ำขึ้นของข้าวกล้องระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดโดยมีสารประกอบคาร์บอนิลและกรดอะมิโน เป็นสารตั้งต้น (Chrastil, 1990) ซึ่ง สารประกอบคาร์บอนิลและกรดอะมิโน เป็นผลิตผลที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของพันธะไกลโคซิดิกและเพปไทด์ในข้าว (Sirisoontaralak and Noomhorm, 2006) นอกจากนี้สีคล้ำของข้าวยังเกิดได้จากการที่โปรตีนในข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยโปรตีนจะเกิดการออกซิไดส์โดยอากาศทำให้เกิดการแตกตัวของสารประกอบที่มีพันธะซัลฟ์ไฮดริล (SH-) เป็นสารประกอบที่มีพันธะไดซัลไฟด์ (S-S) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดสีคล้ำ (ทักษอร, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.21 ค่า L ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	57.65^{Aa}±0.40	57.26^{Ba}±0.35	56.41^{Ca}±0.14	55.28^{Da}±0.23	54.46^{Ea}±0.16	53.43^{Fa}±0.32
เคลือบอะลูมิเนียม	57.67^{Aa}±0.28	56.95^{Bb}±0.29	56.46^{Ca}±0.24	55.39^{Da}±0.26	54.50^{Ea}±0.11	53.51^{Fa}±0.34
สภาวะ						
ธรรมดา	57.56^{Aa}±0.15	56.91^{Bb}±0.40	56.35^{Ca}±0.11	55.21^{Da}±0.30	54.39^{Eb}±0.04	53.11^{Fb}±0.18
สุญญากาศ	57.79^{Aa}±0.49	57.35^{Ba}±0.29	56.50^{Ca}±0.11	55.42^{Da}±0.29	54.58^{Ea}±0.16	53.79^{Fa}±0.17
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	57.53^{Aa}±0.12	57.10^{Aab}±0.51	56.40^{Ba}±0.10	55.12^{Ca}±0.34	54.37^{Da}±0.05	53.11^{Eb}±0.17
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	57.80^{Aa}±0.60	57.54^{Aa}±0.09	56.44^{Ba}±0.10	55.39^{Ca}±0.17	54.55^{Da}±0.13	53.74^{Eab}±0.22
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	57.59^{Aa}±0.20	56.73^{Bb}±0.18	56.29^{Ca}±0.10	55.30^{Da}±0.28	54.40^{Ea}±0.03	53.12^{Fb}±0.23
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	57.79^{Aa}±0.47	57.15^{Bab}±0.31	56.56^{Ca}±0.10	55.44^{Da}±0.42	54.61^{Ea}±0.10	53.84^{Ea}±0.14

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า L เดือน 0 เท่ากับ 57.32

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.22 ค่า L ของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	64.99^{Aa}±0.19	64.78^{Aa}±0.28	64.41^{Ba}±0.13	64.06^{Ca}±0.18	63.69^{Da}±0.26	62.63^{Ea}±0.22
เคลือบอะลูมิเนียม	65.00^{Aa}±0.20	64.73^{Aa}±0.27	64.43^{Ba}±0.13	64.10^{Ca}±0.15	63.66^{Da}±0.17	62.61^{Ea}±0.23
สภาวะ						
ธรรมดา	64.90^{Aa}±0.23	64.60^{Bb}±0.14	64.35^{Cb}±0.11	64.02^{Da}±0.02	63.47^{Eb}±0.06	62.34^{Fb}±0.08
สุญญากาศ	65.08^{Aa}±0.13	64.95^{Aa}±0.32	64.51^{Ba}±0.13	64.17^{Ca}±0.14	63.91^{Ca}±0.16	62.78^{Da}±0.06
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	64.91^{Aa}±0.21	64.61^{Bb}±0.17	64.32^{Ba}±0.08	64.02^{Ca}±0.27	63.47^{Dc}±0.08	62.36^{Eb}±0.10
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	65.05^{Aa}±0.19	65.09^{Aa}±0.22	64.55^{Ba}±0.11	64.09^{Ca}±0.14	63.98^{Ca}±0.23	62.79^{Da}±0.09
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	64.89^{Aa}±0.30	64.60^{Ab}±0.14	64.37^{Aa}±0.16	64.02^{Ba}±0.16	63.48^{Cc}±0.05	62.31^{Db}±0.05
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	65.10^{Aa}±0.07	64.80^{Aab}±0.37	64.47^{Ba}±0.17	64.25^{Ba}±0.08	63.85^{Cab}±0.03	62.77^{Da}±0.03

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า L เดือน 0 เท่ากับ 65.28

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.23 ค่าสี a ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	2.06^{Aa}±0.02	2.02^{Ba}±1.17	1.99^{Ca}±0.03	1.97^{CDa}±1.80	1.95^{DEa}±0.01	1.93^{Ea}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม	2.07^{Aa}±0.04	2.03^{Ba}±1.86	1.99^{Ca}±0.02	1.98^{CDa}±1.01	1.95^{DEa}±0.01	1.93^{Ea}±0.01
สภาวะ						
ธรรมดา	2.05^{Ab}±0.03	2.01^{Bb}±0.02	1.97^{Cb}±0.01	1.96^{Ca}±0.01	1.94^{Db}±0.01	1.92^{Db}±0.01
สุญญากาศ	2.09^{Aa}±0.04	2.04^{Ba}±0.01	2.01^{Ca}±0.02	1.98^{Da}±0.01	1.96^{DEa}±0.01	1.94^{Ea}±0.00
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	2.06^{Aab}±0.01	2.01^{Bb}±0.01	1.96^{Cc}±0.01	1.96^{Ca}±0.01	1.93^{Dc}±0.01	1.92^{Db}±0.01
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	2.08^{Aab}±0.03	2.03^{Bab}±0.01	2.00^{Bab}±0.02	1.97^{Ca}±0.02	1.95^{CDab}±0.01	1.94^{Da}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	2.03^{Ab}±0.04	2.02^{Aab}±0.03	1.97^{Bbc}±0.01	1.97^{Ba}±0.01	1.94^{BCbc}±0.02	1.92^{Cb}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	2.10^{Aa}±0.04	2.04^{Ba}±0.01	2.01^{BCa}±0.02	1.98^{CDa}±0.01	1.97^{DEa}±0.01	1.94^{Fa}±0.00

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า a เดือน 0 เท่ากับ 2.07

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.24 ค่าสี a ของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	1.66^{Aa}±1.69	1.65^{Aa}±0.01	1.63^{Ba}±0.01	1.63^{Ba}±0.01	1.61^{Ca}±0.01	1.58^{Da}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม	1.66^{Aa}±1.51	1.65^{Aa}±0.01	1.63^{Ba}±0.01	1.63^{Ca}±0.01	1.60^{Db}±0.01	1.57^{Ea}±0.01
สภาวะ						
ธรรมดา	1.65^{Aa}±0.02	1.65^{Aa}±0.01	1.63^{Ba}±0.00	1.63^{Ba}±0.01	1.60^{Cb}±0.01	1.57^{Db}±0.01
สุญญากาศ	1.67^{Aa}±0.01	1.66^{Aa}±0.01	1.64^{Ba}±0.01	1.63^{Ba}±0.01	1.62^{Ca}±0.01	1.58^{Da}±0.01
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1.65^{Ab}±0.02	1.65^{Aa} ±0.01	1.63^{Bb} ±0.00	1.63^{Ba}±0.01	1.60^{Cb}±0.01	1.57^{Db}±0.01
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1.67^{Aa} ±0.00	1.66^{Aa} ±0.01	1.63^{Bb} ±0.01	1.63^{Ba} ±0.01	1.62^{Ba} ±0.01	1.58^{Ca} ±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1.65^{Ab} ±0.03	1.65^{Aa} ±0.01	1.63^{ABb} ±0.01	1.62^{Ba} ±0.01	1.60^{Cb} ±0.01	1.57^{Db} ±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1.66^{Aab} ±0.01	1.65^{ABa} ±0.01	1.64^{Ba} ±0.01	1.63^{Ca} ±0.01	1.61^{Dab} ±0.00	1.58^{Ea} ±0.01

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า a เดือน 0 เท่ากับ 1.66

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.25 ค่าสี b ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	20.07^{Ea}±0.06	20.27^{Da}±0.13	20.88^{Ca}±0.10	20.92^{Ca}±0.21	21.41^{Aa}±0.13	22.16^{Aa}±0.08
เคลือบอะลูมิเนียม	20.05^{Da}±0.07	20.15^{Db}±0.09	20.87^{Ca}±0.11	20.86^{Ca}±0.23	21.41^{Ba}±8.88	22.12^{Aa}±0.12
สภาวะ						
ธรรมดา	20.09^{Ea}±0.06	20.32^{Da}±0.13	20.93^{Ca}±0.10	20.94^{Ca}±0.22	21.50^{Ba}±0.10	22.24^{Ab}±0.04
สุญญากาศ	20.01^{Ea}±0.07	20.13^{Db}±0.09	20.81^{Ca}±0.08	20.84^{Ca}±0.27	21.33^{Bb}±0.07	22.04^{Aa}±0.09
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	20.09^{Ea}±0.08	20.40^{Da}±0.13	20.95^{Ca}±0.11	21.02^{Ca}±0.11	21.51^{Ba}±0.14	22.25^{Aa}±0.06
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	20.03^{Da}±0.06	20.18^{Dbc}±0.08	20.82^{Ca}±0.08	20.85^{Ca}±0.29	21.33^{Bb}±0.09	22.09^{Abc}±0.05
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	20.08^{Da}±0.06	20.24^{Dab}±0.09	20.91^{Ca}±0.11	20.86^{Ca}±0.29	21.49^{Bab}±0.07	22.23^{Aa}±0.04
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	19.99^{Da}±0.09	20.07^{Dc}±0.04	20.79^{Ca}±0.10	20.83^{Ca}±0.31	21.32^{Bb}±0.05	22.00^{Ac}±0.11

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า b เดือน 0 เท่ากับ 19.93

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.26 ค่าสี b ของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	17.53^{Ea}±0.14	17.83^{Da}±0.10	18.15^{Ca}±0.10	18.27^{Ca}±0.06	18.57^{Ba}±0.16	19.21^{Aa}±0.07
เคลือบอะลูมิเนียม	17.51^{Fa}±0.15	17.81^{Ea}±0.14	18.08^{Da}±0.13	18.25^{Ca}±0.06	18.54^{Ba}±0.08	19.20^{Aa}±0.01
สภาวะ						
ธรรมดา	17.57^{Fa}±0.14	17.90^{Ea}±0.18	18.20^{Da}±0.07	18.31^{Ca}±0.04	18.67^{Ba}±0.05	19.31^{Aa}±0.01
สุญญากาศ	17.47^{Fa}±0.15	17.76^{Ea}±0.06	18.02^{Db}±0.08	18.22^{Cb}±0.06	18.41^{Bb}±0.06	19.13^{Ab}±0.01
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	17.58^{Ea}±0.12	17.90^{Da}±0.13	18.21^{Ca}±0.10	18.31^{Ca}±0.05	18.71^{Ba}±0.04	19.30^{Aa}±0.01
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	17.49^{Ea}±0.21	17.78^{Da}±0.09	18.06^{Cab}±0.05	18.25^{Bab}±0.07	18.36^{Bd}±0.02	19.14^{Ab} ±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	17.55^{Ea}±0.18	17.90^{Da}±0.24	18.18^{Ca}±0.02	18.30^{Cab}±0.04	18.63^{Bb}±0.01	19.31^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	17.46^{Fa}±0.12	17.74^{Ea}±0.01	17.97^{Db}±0.09	18.19^{Cb}±0.05	18.46^{Bc}±0.05	19.12^{Ab}±0.04

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า b เดือน 0 เท่ากับ 16.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5.2 การเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพการหุง

จากการการวิเคราะห์ค่า optimum cooking time (OCT) ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร และที่ผ่านการดัดแปรระหว่างการเก็บรักษา ดังแสดงในตารางที่ 4.27 และ 4.28 พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า OCT อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า OCT โดยข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทุกตัวอย่างทดลองมีค่า OCT เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ซึ่งในเดือนที่ 1 ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร มีค่า OCT อยู่ระหว่าง 19.0 – 19.7 และ 16.3 – 16.7 และเมื่อเก็บรักษาครบ 6 เดือน พบว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร มีค่า OCT อยู่ระหว่าง 21.3-21.7 และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรมีค่า OCT อยู่ระหว่าง 19.7 – 20.3 ซึ่งค่า OCT ที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเก็บรักษาข้าวกล้องไว้เป็นเวลานานอะไมโลสไขมันและโปรตีนจะเกิดการจับกัน เป็นโมเลกุลเชิงซ้อนขนาดใหญ่ จึงต้องใช้ระยะเวลานานขึ้นในการเกิดเจลาติไนซ์ (Juliano, 1985) โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sodhi *et al.* (1963) ซึ่งรายงานว่าข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาระยะเวลาหนึ่งจะมีอัตราการหุงสุกที่ช้าลงและมีค่า OCT เพิ่มขึ้น

การศึกษาค่า water uptake ratio (WUR) ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรระหว่างการเก็บรักษา ดังแสดงในตารางที่ 4.29 และ 4.30 พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า WUR อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า WUR โดยเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองมีค่า WUR เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ซึ่งในเดือนที่ 1 ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร มีค่า WUR อยู่ระหว่าง 1.78 – 180 และ 1.90 – 1.91 และเมื่อเก็บรักษาครบ 6 เดือน พบว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร มีค่า WUR อยู่ระหว่าง 1.82 – 1.85 และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรมีค่า WUR อยู่ระหว่าง 1.90 – 1.95 ค่า WUR ที่เพิ่มขึ้น เกิดจากในระหว่างการเก็บรักษาโปรตีนในข้าวจำพวก oryzenin (Cass Mutter, 2003) เกิดรวมตัวกับสตาร์ช (protein-starch interaction) ทำให้เกิดเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และส่งผลให้ข้าวมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้มากขึ้น (อรอนงค์, 2547) และในระหว่างการเก็บรักษาอะไมโลสในข้าวมีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการสลายตัวของสตาร์ช (Strach degradation) (Chrastil, 1990) ซึ่งสามารถทำให้ข้าวกล้องสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.27 ค่า optimum cooking time (นาที) ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	19.2^{Da}±0.40	19.4^{Da}±0.50	19.6^{Da}±0.50	20.6^{Ca}±0.50	21.1^{Ba}±0.60	21.6^{Aa}±0.50
เคลือบอะลูมิเนียม	19.4^{Da}±0.50	19.6^{Da}±0.50	19.6^{Da}±0.50	20.6^{Ca}±0.50	21.0^{Ba}±0.50	21.4^{Aa}±0.50
สภาวะ						
ธรรมดา	19.3^{Ca}±0.52	19.5^{Ca}±0.55	19.5^{Ca}±0.55	20.7^{Ba}±0.52	21.2^{Aa}±0.41	21.5^{Aa}±0.55
สุญญากาศ	19.2^{Ca}±0.41	19.3^{Ca}±0.52	19.5^{Ca}±0.55	20.5^{Ba}±0.55	20.7^{Ba}±0.52	21.3^{Aa}±0.52
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	19.3^{Ca}±0.58	19.3^{Ca}±0.58	19.7^{BCa}±0.58	20.7^{ABa}±0.58	21.3^{Aa}±0.58	21.7^{Aa}±0.58
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	19.0^{Ca}±0.00	19.3^{Ca}±0.58	19.3^{Ca}±0.58	20.3^{Ba}±0.58	20.7^{ABa}±0.58	21.3^{Aa}±0.58
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	19.3^{Ba}±0.58	19.7^{Ba}±0.58	19.3^{Ba}±0.58	20.7^{Aa}±0.58	21.0^{Aa}±0.58	21.3^{Aa}±0.58
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	19.3^{Ca}±0.58	19.3^{Ca}±0.58	19.7^{BCa}±0.58	20.7^{ABa}±0.58	20.7^{ABa}±0.58	21.3^{Aa}±0.58

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า OTC เดือน 0 เท่ากับ 18.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.28 ค่า optimum cooking time (นาที) ของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	16.4^{Da}±0.50	16.6^{Da}±0.50	17.2^{Ca}±0.40	17.6^{Ca}±0.50	18.6^{Ba}±0.50	19.8^{Aa}±0.60
เคลือบอะลูมิเนียม	16.3^{Ea}±0.50	16.6^{Ea}±0.50	17.2^{Da}±0.40	17.6^{Ca}±0.50	18.6^{Ba}±0.50	20.1^{Aa}±0.60
สภาวะ						
ธรรมดา	16.3^{Fa}±0.52	16.7^{Ea}±0.52	17.3^{Da}±0.52	17.7^{Ca}±0.52	18.7^{Ba}±0.52	20.2^{Aa}±0.75
สุญญากาศ	16.3^{Ea}±0.52	16.3^{Ea}±0.52	17.0^{Da}±0.00	17.3^{Ca}±0.52	18.3^{Ba}±0.52	19.8^{Aa}±0.75
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	16.3^{Da}±0.58	16.7^{CDa}±0.58	17.3^{CDa}±0.58	17.7^{BCa}±0.58	18.7^{Ba}±0.58	20.0^{Aa}±1.00
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	16.3^{Ca}±0.58	16.3^{Ca}±0.58	17.0^{Ca}±0.00	17.3^{Ca}±0.58	18.3^{Ba}±0.58	19.7^{Aa}±0.58
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	16.3^{Da}±0.58	16.7^{CDa}±0.58	17.3^{CDa}±0.58	17.7^{BCa}±0.58	18.7^{Ba}±0.58	20.3^{Aa}±0.58
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	16.3^{Ca}±0.58	16.3^{Ca}±0.58	17.0^{Ca}±0.58	17.3^{BCa}±0.58	18.3^{Ba}±0.58	20.0^{Aa}±1.00

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า OTC เดือน 0 เท่ากับ 16.0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.29 ค่า water uptake ratio (อัตราส่วน) ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	1.78^{Da}±0.02	1.78^{Da}±0.03	1.80^{Ca}±0.05	1.81^{BCa}±0.01	1.82^{ABa}±0.02	1.83^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม	1.79^{Ca}±0.04	1.78^{Ca}±0.04	1.81^{Ba}±0.03	1.81^{BCa}±0.02	1.82^{ABa}±0.02	1.83^{Aa}±0.02
สภาวะ						
ธรรมดา	1.79^{CDa}±0.04	1.78^{Da}±0.05	1.80^{BCDa}±0.02	1.81^{ABCa}±0.02	1.82^{ABa}±0.01	1.83^{Aa}±0.01
สุญญากาศ	1.79^{Ca}±0.03	1.79^{Ca}±0.02	1.82^{ABa}±0.07	1.82^{ABa}±0.01	1.83^{ABa}±0.02	1.84^{Aa}±0.01
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1.78^{Aa}±0.03	1.79^{Aa}±0.05	1.80^{Aa}±0.03	1.80^{Aa}±0.02	1.83^{Aa}±0.02	1.83^{Aa}±0.01
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1.78^{Aa}±0.02	1.79^{Aa}±0.03	1.81^{Aa}±0.10	1.82^{Aa}±0.01	1.82^{Aa}±0.03	1.83^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1.80^{Aa}±0.05	1.78^{Aa}±0.06	1.81^{Aa}±0.02	1.82^{Aa}±0.02	1.82^{Aa}±0.01	1.83^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1.79^{ABa}±0.04	1.78^{Ba}±0.03	1.82^{ABa}±0.05	1.82^{ABa}±0.02	1.83^{ABa}±0.02	1.85^{Aa}±0.02

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า WUR เดือน 0 เท่ากับ 1.79

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.30 ค่า water uptake ratio (อัตราส่วน) ของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	1.90^{Ca}±0.01	1.91^{Ca}±0.01	1.93^{Ba}±0.01	1.94^{Aa}±0.03	1.94^{Aa}±0.01	1.95^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม	1.90^{Ea}±0.02	1.92^{Da}±0.01	1.92^{Da}±0.02	1.93^{Ca}±0.01	1.94^{Ba}±0.01	1.95^{Aa}±0.01
สภาวะ						
ธรรมดา	1.91^{Ea}±0.02	1.92^{Da}±0.01	1.93^{CDa}±0.01	1.93^{ABa}±0.02	1.94^{ABa}±0.01	1.95^{Aa}±0.02
สุญญากาศ	1.90^{Da}±0.02	1.92^{CDa}±0.01	1.93^{BCa}±0.02	1.94^{ABCa}±0.02	1.94^{ABa}±0.01	1.96^{Aa}±0.01
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1.91^{Ba}±0.01	1.92^{Ba}±0.02	1.93^{ABa}±0.00	1.94^{ABa}±0.02	1.94^{ABa}±0.02	1.95^{Aa}±0.02
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1.90^{Ba}±0.02	1.91^{Ba}±0.02	1.94^{Aa}±0.02	1.94^{Aa}±0.01	1.95^{Aa}±0.01	1.95^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1.90^{Ca} ±0.03	1.92^{BCa}±0.02	1.92^{ABCa}±0.01	1.93^{ABCa}±0.01	1.94^{ABa}±0.01	1.95^{Aa}±0.02
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1.90^{Ca}±0.02	1.92^{BCa}±0.00	1.92^{BCa}±0.02	1.93^{BCa}±0.02	1.94^{ABa}±0.01	1.95^{Aa}±0.01

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า WUR เดือน 0 เท่ากับ 1.91

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การศึกษาค่า length expansion ratio (LER) ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรระหว่างการเก็บรักษา ดังแสดงในตารางที่ 4.31 และ 4.32 พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า LER อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า LER ($P\leq0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองมีค่า LER เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ซึ่งในเดือนที่ 1 ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร มีค่า LER อยู่ระหว่าง 1.09 – 1.10 และ 1.10 - 1.11 ตามลำดับ และเมื่อเก็บรักษาครบ 6 เดือน พบว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร มีค่า LER อยู่ระหว่าง 1.33 – 1.34 และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร มีค่า LER อยู่ระหว่าง 1.33 – 1.34

การศึกษาค่า volume expansion ratio (VER) ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรระหว่างการเก็บรักษา ดังแสดงในตารางที่ 4.33 และ 4.34 พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า VER อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า VER ($P\leq0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองมีค่า VER เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ซึ่งในเดือนที่ 1 ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร มีค่า VER อยู่ระหว่าง 1.83 – 1.85 และ 2.07 - 2.09 ตามลำดับ และเมื่อเก็บรักษาครบ 6 เดือน พบว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร มีค่า VER อยู่ระหว่าง 1.95 – 1.96 และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร มีค่า VER อยู่ระหว่าง 2.16 – 2.17

ซึ่งค่า LER และ VER ที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เป็นผลสืบเนื่องจากค่า WUR หรือ ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้น ทำให้เมล็ดข้าวสามารถขยายตัวได้เพิ่มขึ้น โดยให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhou *et al.* (2007) พบว่าเมื่อเก็บรักษาข้าวเป็นระยะเวลา 16 เดือน ค่า WUR ของข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมถึง 2 เท่า และเมล็ดข้าวมีการขยายตัวได้ดีขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่าเมื่อเก็บรักษาข้าวกล้องเป็นเวลา 6 เดือน ทั้งข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสและข้าวกล้องตัวอย่างควบคุมมีค่า WUR เพิ่มขึ้น 1 เท่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.31 ค่า length expansion ratio (อัตราส่วน) ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	1.10^{Da}±0.01	1.10^{Da}±0.01	1.11^{CDa}±0.01	1.11^{BCa}±0.01	1.13^{Aa}±0.01	1.13^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม	1.10^{Da}±0.01	1.11^{CDa}±0.01	1.11^{BCa}±0.01	1.12^{Ba}±0.01	1.13^{Aa}±0.01	1.13^{Aa}±0.01
สภาวะ						
ธรรมดา	1.10^{Da}±0.01	1.11^{Da}±0.01	1.10^{Ca}±0.01	1.12^{Ba}±0.01	1.13^{Aa}±0.01	1.13^{Aa}±0.01
สุญญากาศ	1.10^{Da}±0.00	1.11^{Ca}±0.01	1.11^{Ca}±0.01	1.12^{Ba}±0.01	1.13^{Aa}±0.01	1.14^{Aa}±0.01
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1.10^{Ca}±0.01	1.11^{BCa}±0.01	1.11^{BCa}±0.01	1.12^{ABa}±0.01	1.13^{Aa}±0.02	1.13^{Aa}±0.01
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1.10^{Da}±0.00	1.11^{CDa}±0.01	1.11^{BCDa}±0.01	1.12^{BCa}±0.01	1.13^{ABa}±0.01	1.13^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1.10^{Ca}±0.01	1.11^{Ca}±0.01	1.10^{BCa}±0.01	1.12^{ABa}±0.01	1.13^{Aa}±0.01	1.13^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1.10^{Ba}±0.01	1.11^{Ba}±0.00	1.11^{Ba}±0.01	1.12^{Ba}±0.01	1.13^{Aa}±0.01	1.14^{Aa}±0.01

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า LER เดือน 0 เท่ากับ 1.09

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.32 ค่า length expansion ratio (อัตราส่วน) ของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	1.11^{Ca}±0.01	1.11^{Ca}±0.01	1.12^{Ba}±0.01	1.13^{ABa}±0.01	1.13^{ABa}±0.01	1.13^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม	1.10^{Ca}±0.01	1.11^{BCa}±0.01	1.12^{ABa}±0.01	1.13^{Aa}±0.01	1.14^{Aa}±0.01	1.13^{Aa}±0.01
สภาวะ						
ธรรมดา	1.11^{Ca}±0.01	1.12^{Ba}±0.01	1.12^{Bb}±0.01	1.13^{ABa}±0.01	1.14^{Aa}±0.01	1.14^{Aa}±0.01
สุญญากาศ	1.11^{Ca}±0.01	1.12^{Ba}±0.01	1.13^{ABa}±0.01	1.14^{Aa}±0.01	1.14^{Aa}±0.01	1.14^{Aa}±0.01
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1.11^{Ba}±0.01	1.12^{Ba}±0.01	1.12^{ABa}±0.01	1.13^{ABa}±0.01	1.13^{Aa}±0.01	1.14^{Aa}±0.01
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1.11^{Ba}±0.00	1.11^{Bb}±0.01	1.13^{Aa}±0.01	1.13^{Aa}±0.01	1.13^{Aa}±0.01	1.14^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1.10^{Cb}±0.01	1.12^{Ba}±0.01	1.12^{Ba}±0.01	1.13^{Aa}±0.01	1.14^{Aa}±0.00	1.14^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1.10^{Cb}±0.01	1.12^{BCa}±0.00	1.13^{ABa}±0.01	1.14^{Aa}±0.01	1.14^{Aa}±0.01	1.13^{Aa}±0.01

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า LER เดือน 0 เท่ากับ 1.12

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.33 ค่า volume expansion ratio (อัตราส่วน) ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	1.84^{Da}±0.02	1.88^{Ca}±0.02	1.91^{Ba}±0.01	1.95^{Aa}±0.01	1.95^{Aa}±0.01	1.96^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม	1.84^{Ea}±0.01	1.88^{Da}±0.02	1.91^{Ca}±0.01	1.95^{Ba}±0.02	1.95^{Ba}±0.01	1.96^{Aa}±0.01
สภาวะ						
ธรรมดา	1.85^{Ea}±0.02	1.88^{Da}±0.01	1.91^{Ca}±0.01	1.94^{Ba}±0.02	1.95^{Aa}±0.01	1.96^{Aa}±0.01
สุญญากาศ	1.84^{Da}±0.01	1.88^{Ca}±0.02	1.92^{Ba}±0.01	1.95^{Aa}±0.02	1.95^{Aa}±0.01	1.96^{Aa}±0.01
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1.85^{Da}±0.02	1.89^{Ca}±0.01	1.92^{Ba}±0.01	1.94^{ABa}±0.02	1.96^{Aa}±0.01	1.96^{Aa}±0.02
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1.84^{Da}±0.02	1.89^{Ca}±0.01	1.91^{Ba}±0.01	1.96^{Aa}±0.01	1.95^{Aa}±0.00	1.96^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1.84^{Da}±0.02	1.88^{Ca}±0.01	1.91^{Ba}±0.01	1.94^{Aa}±0.02	1.95^{Aa}±0.02	1.96^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1.84^{Da}±0.00	1.88^{Ca}±0.00	1.92^{Ba}±0.01	1.95^{ABa}±0.03	1.95^{Aa}±0.01	1.96^{Aa}±0.01

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า VER เดือน 0 เท่ากับ 1.83

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.34 ค่า volume expansion ratio (อัตราส่วน) ของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	2.08^{Fa}±0.01	2.10^{Ea}±0.01	2.11^{Da}±0.01	2.13^{Ca}±0.02	2.15^{Ba}±0.01	2.16^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม	2.08^{Ea}±0.01	2.10^{Da}±0.01	2.12^{Ca}±0.01	2.14^{Ba}±0.01	2.14^{Ba}±0.01	2.16^{Aa}±0.01
สภาวะ						
ธรรมดา	2.07^{Ea}±0.02	2.10^{Da}±0.01	2.12^{Ca}±0.01	2.14^{Ba}±0.01	2.15^{Ba}±0.01	2.16^{Aa}±0.01
สุญญากาศ	2.08^{Da}±0.01	2.10^{Da}±0.01	2.12^{Ca}±0.01	2.14^{Ba}±0.01	2.15^{ABa}±0.01	2.17^{Aa}±0.01
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	2.07^{Da}±0.01	2.09^{Ca}±0.01	2.12^{Ba}±0.01	2.13^{Ba}±0.02	2.15^{Aa}±0.01	2.16^{Aa}±0.01
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	2.08^{Da}±0.01	2.10^{CDa}±0.02	2.11^{Ca}±0.01	2.14^{Ba}±0.02	2.15^{ABa}±0.01	2.17^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	2.07^{Da}±0.01	2.10^{Ca}±0.01	2.12^{BCa}±0.01	2.14^{ABa}±0.02	2.14^{ABa}±0.01	2.16^{Aa}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	2.09^{Da}±0.01	2.10^{Da}±0.00	2.13^{Ca}±0.02	2.15^{Ba}±0.01	2.15^{ABa}±0.01	2.16^{Aa}±0.01

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า VER เดือน 0 เท่ากับ 2.07

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.35 ค่า hardness (นิวตัน) ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	9.49^{Fa}±0.20	11.32^{Ea}±0.38	11.93^{Da}±0.25	12.75^{Ca}±0.25	14.01^{Ba}±0.17	14.35^{Ab}±0.14
เคลือบอะลูมิเนียม	9.60^{Fa}±0.14	10.99^{Ea}±0.24	12.04^{Da}±0.10	12.66^{Ca}±0.17	13.89^{Ba}±0.11	14.65^{Aa}±0.32
สภาวะ						
ธรรมดา	9.51^{Eb}±0.18	11.13^{Da}±0.15	12.07^{Ca}±0.17	12.72^{Ba}±0.23	14.07^{Aa}±0.14	14.60^{Aa}±0.48
สุญญากาศ	9.70^{Fa}±0.13	11.18^{Ea}±0.35	11.93^{Da}±0.23	12.74^{Ca}±0.25	13.92^{Bb}±0.05	14.45^{Aa}±0.15
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	9.39^{Eb}±0.07	11.13^{Da}±0.12	11.99^{Ca}±0.22	12.77^{Ba}±0.26	14.16^{Aa}±0.13	14.26^{Ab}±0.18
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	9.72^{Fa}±0.18	11.41^{Ea}±0.24	11.91^{Da}±0.35	12.81^{Ca}±0.32	13.95^{Bab}±0.05	14.38^{Ab}±0.16
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	9.64^{Fab}±0.18	11.14^{Ea}±0.21	12.14^{Da}±0.10	12.67^{Ca}±0.24	13.99^{Bab}±0.11	14.95^{Aa}±0.44
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	9.67^{Fab}±0.09	10.94^{Ea}±0.30	11.96^{Da}±0.04	12.67^{Ca}±0.19	13.88^{Bb}±0.03	14.53^{Ab}±0.12

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า hardness เดือน 0 เท่ากับ 9.41

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.36 ค่า hardness (นิวตัน) ของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	8.21^{Fa}±0.10	8.81^{Ea}±0.10	11.09^{Da}±0.22	11.35^{Ca}±0.13	12.09^{Ba}±0.13	12.64^{Aa}±0.17
เคลือบอะลูมิเนียม	8.13^{Fa}±0.18	8.73^{Ea}±0.22	11.16^{Da}±0.18	11.40^{Ca}±0.15	12.08^{Ba}±0.11	12.69^{Aa}±0.13
สภาวะ						
ธรรมดา	8.20^{Ea}±0.12	8.79^{Da}±0.07	11.18^{Ca}±0.23	11.34^{Ca}±0.19	12.05^{Ba}±0.15	12.75^{Aa}±0.15
สุญญากาศ	8.20^{Ea}±0.15	8.69^{Da}±0.22	11.15^{Ca}±0.19	11.37^{Ca}±0.11	12.10^{Ba}±0.11	12.66^{Aa}±0.16
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	8.17^{Ea}±0.05	8.76^{Da}±0.07	11.11^{Ca}±0.30	11.25^{Ca}±0.14	12.00^{Ba}±0.16	12.81^{Aa}±0.17
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	8.24^{Fa}±0.08	8.83^{Ea}±0.16	11.11^{Da}±0.22	$11. 39^{Ca}$±0.04	12.20^{Ba}±0.03	12.59^{Aa}±0.11
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	8.23^{Ea}±0.17	8.82^{Da}±0.06	11.24^{Ca}±0.17	11.43^{Ca}±0.21	12.11^{Ba}±0.16	12.70^{Aa}±0.15
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	8.16^{Ea}±0.21	8.54^{Da}±0.18	11.19^{Ca}±0.19	11.34^{Ca}±0.16	12.01^{Ba}±0.07	12.72^{Aa}±0.19

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า hardness เดือน 0 เท่ากับ 8.71

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.37 ค่า adhesiveness (นิวตัน วินาที) ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	$-0.22^{Aa}\pm0.01$	$-0.21^{Aa}\pm0.01$	$-0.21^{Aa}\pm0.02$	$-0.19^{Ba}\pm0.00$	$-0.17^{Ca}\pm0.01$	$-0.17^{Ca}\pm0.00$
เคลือบอะลูมิเนียม	$-0.23^{Aa}\pm0.02$	$-0.20^{Ba}\pm0.01$	$-0.20^{Ca}\pm0.01$	$-0.18^{Db}\pm0.00$	$-0.17^{Da}\pm0.01$	$-0.17^{Ea}\pm0.00$
สภาวะ						
ธรรมดา	$-0.22^{Aa}\pm0.01$	$-0.21^{ABa}\pm0.01$	$-0.20^{Ba}\pm0.01$	$-0.19^{Ca}\pm0.00$	$-0.17^{Da}\pm0.01$	$-0.17^{Da}\pm0.00$
สุญญากาศ	$-0.22^{Aa}\pm0.01$	$-0.21^{ABa}\pm0.01$	$-0.21^{ABa}\pm0.03$	$-0.18^{BCb}\pm0.00$	$-0.17^{Ca}\pm0.00$	$-0.17^{Ca}\pm0.00$
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	$-0.21^{Aa}\pm0.01$	$-0.21^{Aa}\pm0.00$	$-0.20^{ABab}\pm0.00$	$-0.19^{Ba}\pm0.00$	$-0.17^{Ca}\pm0.01$	$-0.17^{Ca}\pm0.00$
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	$-0.22^{Aa}\pm0.00$	$-0.21^{ABa}\pm0.00$	$-0.22^{Aa}\pm0.04$	$-0.19^{Ba}\pm0.00$	$-0.17^{Ca}\pm0.01$	$-0.17^{Ca}\pm0.00$
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	$-0.22^{Aa}\pm0.00$	$-0.21^{ABa}\pm0.02$	$-0.20^{ABab}\pm0.02$	$-0.18^{BCb}\pm0.00$	$-0.17^{Ca}\pm0.00$	$-0.16^{Ca}\pm0.00$
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	$-0.23^{Aa}\pm0.01$	$-0.20^{Bb}\pm0.02$	$-0.19^{BCb}\pm0.01$	$-0.18^{CDb}\pm0.00$	$-0.17^{Da}\pm0.00$	$-0.17^{Da}\pm0.00$

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า adhesiveness เดือน 0 เท่ากับ -0.24

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.38 ค่า adhesiveness (นิวตัน วินาที) ของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	$-0.30^{Aa}\pm0.03$	$-0.28^{Aa}\pm0.01$	$-0.23^{Ba}\pm0.01$	$-0.21^{BCa}\pm0.01$	$-0.20^{Ca}\pm0.00$	$-0.19^{Ca}\pm0.00$
เคลือบอะลูมิเนียม	$-0.29^{Aa}\pm0.03$	$-0.26^{Ba}\pm0.01$	$-0.21^{Cb}\pm0.01$	$-0.20^{CDb}\pm0.01$	$-0.20^{CDa}\pm0.00$	$-0.19^{Da}\pm0.00$
สภาวะ						
ธรรมดา	$-0.30^{Ab}\pm0.02$	$-0.27^{Ba}\pm0.01$	$-0.22^{Ca}\pm0.01$	$-0.21^{CDa}\pm0.00$	$-0.20^{Da}\pm0.00$	$-0.19^{Da}\pm0.00$
สุญญากาศ	$-0.32^{Aa}\pm0.01$	$-0.28^{Ba}\pm0.01$	$-0.22^{Ca}\pm0.01$	$-0.20^{CDa}\pm0.01$	$-0.20^{CDa}\pm0.00$	$-0.19^{Da}\pm0.00$
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	$-0.31^{Aa}\pm0.00$	$-0.27^{Bb}\pm0.00$	$-0.23^{Ca}\pm0.00$	$-0.21^{Da}\pm0.01$	$-0.20^{DEa}\pm0.01$	$-0.19^{Ea}\pm0.01$
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	$-0.32^{Aa}\pm0.01$	$-0.29^{Ba}\pm0.00$	$-0.22^{Cab}\pm0.00$	$-0.21^{Da}\pm0.00$	$-0.20^{Da}\pm0.01$	$-0.19^{Ea}\pm0.01$
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	$-0.29^{Aa}\pm0.03$	$-0.27^{Bb}\pm0.02$	$-0.21^{Cb}\pm0.01$	$-0.21^{Ca}\pm0.00$	$-0.19^{DEa}\pm0.00$	$-0.19^{Ea}\pm0.00$
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	$-0.31^{Aa}\pm0.01$	$-0.27^{Bb}\pm0.02$	$-0.21^{Cb}\pm0.00$	$-0.20^{Da}\pm0.01$	$-0.20^{DEa}\pm0.00$	$-0.19^{Ea}\pm0.00$

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า adhesiveness เดือน 0 เท่ากับ -0.32

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.39 ค่า cohesiveness (อัตราส่วน) ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการขัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	0.35^{Ca}±0.01	0.32^{Eb}±0.01	0.33^{Da}±0.04	0.36^{Ba}±0.05	0.35^{Ca}±0.06	0.40^{Aa}±0.06
เคลือบอะลูมิเนียม	0.34^{Ca}±0.01	0.33^{Da}±0.01	0.33^{Da}±0.09	0.36^{Ba}±0.06	0.36^{Ba}±0.11	0.39^{Aa}±0.02
สภาวะ						
ธรรมดา	0.35^{Ca}±0.06	0.32^{Ea}±0.06	0.33^{Da}±0.04	0.37^{Ba}±0.04	0.35^{Ca}±0.08	0.39^{Aa}±0.02
สุญญากาศ	0.34^{Ca}±0.08	0.33^{Da}±0.01	0.33^{Da}±0.05	0.36^{Ba}±0.03	0.36^{Ba}±0.02	0.40^{Aa}±0.04
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	0.35^{Ca}±0.24	0.32^{Eb}±0.06	0.33^{Da}±0.04	0.37^{Ba}±0.04	0.35^{Cb}±0.06	0.40^{Aa}±0.06
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	0.34^{Da}±0.06	0.32^{Fb}±0.02	0.33^{Ea}±0.03	0.35^{Cb}±0.03	0.36^{Ba}±0.02	0.40^{Aa}±0.06
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	0.34^{Da}±0.04	0.32^{Fb}±0.05	0.33^{Ea}±0.03	0.37^{Ba}±0.03	0.36^{Ca}±0.11	0.38^{Ab}±0.02
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	0.33^{Ea}±0.06	0.34^{Da}±0.01	0.34^{Da}±0.04	0.36^{Ca}±0.04	0.37^{Ba}±0.03	0.40^{Aa}±0.04

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า cohesiveness เดือน 0 เท่ากับ 0.33

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.40 ค่า cohesiveness (อัตราส่วน) ของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	0.41^{Da}±0.17	0.43^{Ca}±0.08	0.39^{Ea}±0.15	0.43^{Ca}±0.11	0.46^{Ba}±0.09	0.50^{Ab}±0.12
เคลือบอะลูมิเนียม	0.42^{Da}±0.15	0.43^{Ca}±0.06	0.40^{Ea}±0.06	0.43^{Ca}±0.07	0.47^{Ba}±0.14	0.51^{Aa}±0.06
สภาวะ						
ธรรมดา	0.42^{Da}±0.22	0.43^{Ca}±0.03	0.40^{Ea}±0.16	0.43^{Ca}±0.10	0.46^{Ba}±0.10	0.49^{Ab}±0.13
สุญญากาศ	0.41^{Da}±0.09	0.43^{Ca}±0.04	0.39^{Ea}±0.07	0.43^{Ca}±0.03	0.46^{Ba}±0.06	0.51^{Aa}±0.09
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	0.42^{Da}±0.06	0.43^{Ca}±0.07	0.41^{Ea}±0.19	0.43^{Ca}±0.16	0.46^{Bb}±0.19	0.48^{Ab}±0.14
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	0.41^{Da}±0.08	0.43^{Ca}±0.06	0.39^{Ea}±0.08	0.43^{Ca}±0.10	0.46^{Bb}±0.23	0.51^{Aa}±0.20
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	0.42^{Ea}±0.18	0.44^{Ca}±0.04	0.39^{Fa}±0.04	0.43^{Da}±0.10	0.46^{Bb}±0.14	0.50^{Aab}±0.01
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	0.41^{Ea}±0.11	0.44^{Ca}±0.03	0.40^{Fa}±0.03	0.43^{Da}±0.01	0.47^{Ba}±0.11	0.51^{Aa}±0.04

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า cohesiveness เดือน 0 เท่ากับ 0.40

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5.3 การเปลี่ยนแปลงทางด้านเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ค่าความแข็งของข้าวกล้องหุงสุกที่ไม่ผ่านการดัดแปร และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา ดังแสดงในตารางที่ 4.35 และ 4.36 พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์หรือสภาวะการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษา ทั้งข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรทุกตัวอย่างทดลองมีค่าความแข็งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในแต่ละช่วงเวลาการเก็บรักษา และเริ่มมีค่าความแข็งที่แตกต่างกันเมื่อเก็บรักษาไว้นาน 3 เดือน เป็นต้นไป เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลอง มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) โดยในเดือนที่ 1 ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรมีค่าความแข็ง อยู่ระหว่าง 9.38 – 9.49 และ 7.99 – 8.24 นิวตัน ตามลำดับ และเมื่อเก็บรักษาครบ 6 เดือน พบว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร มีค่าความแข็ง อยู่ระหว่าง 14.26 – 14.95 นิวตัน และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร มีค่าความแข็ง อยู่ระหว่าง 12.54 – 12.81 นิวตัน

จากการวิเคราะห์ค่า adhesiveness ของข้าวกล้องหุงสุกที่ไม่ผ่านการดัดแปร และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรระหว่างการเก็บรักษา ดังแสดงในตารางที่ 4.37 และ 4.38 พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์หรือสภาวะการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า adhesiveness อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อพิจารณาร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษา พบว่าให้ผลสอดคล้องกัน ทั้งข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรทุกตัวอย่างทดลองทีค่า adhesiveness ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในแต่ละช่วงเวลาของการเก็บรักษา แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องทุกตัวอย่าง มีค่า adhesiveness ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) โดยในเดือนที่ 1 ทั้งข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปร มีค่า adhesiveness อยู่ระหว่าง (- 0.21) กับ (-0.23) นิวตัน วินาที และเมื่อเก็บรักษาครบ 6 เดือน พบว่าทั้งข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปร มีค่า adhesiveness อยู่ระหว่าง (-0.16) – (-0.17) นิวตัน วินาที นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสมีค่า adhesiveness ใกล้เคียงกัน

จากการวิเคราะห์ค่า cohesiveness ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรและข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรระหว่างการเก็บรักษา ดังแสดงในตารางที่ 4.39 และ 4.40 พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์หรือสภาวะการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า cohesiveness อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษา พบว่าทั้งข้าว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสทุกตัวอย่างทดลองที่ค่า cohesiveness ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในแต่ละช่วงเวลาการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ข้าวกล้องมีค่า cohesiveness เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยในเดือนที่ 1 ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรและข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร มีค่า cohesiveness อยู่ระหว่าง 0.33 – 0.36 และ 0.40 – 0.42 ตามลำดับ และเมื่อเก็บรักษาครบ 6 เดือน พบว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร มีค่า cohesiveness อยู่ระหว่าง 0.33 – 0.40 และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร มีค่า cohesiveness อยู่ระหว่าง 0.40 – 0.51 นิวตัน จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องแข็งขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนในข้าวรวมตัวกับสตาร์ชเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโปรตีน-สตาร์ช (สุรศักดิ์, 2550) และเกิด sol-gel transformation ซึ่งเป็นสารเชิงซ้อนที่มีความคงตัวมากขึ้น (Sirisoontaralak and Noomhorm, 2006) จึงส่งผลให้เม็ดสตาร์ชมีความต้านทานต่อการทำลายด้วยความร้อนเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมล็ดข้าวจึงมีค่า hardness และ cohesiveness เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสโดยใช้เอนไซม์และทำให้คงตัวด้วยไมโครเวฟ มีค่า cohesiveness ที่สูงกว่าข้าวปกติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสมีลักษณะที่เหนียวเกาะติดกันมากกว่าข้าวกล้องปกติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.41 ค่า peak viscosity (RVU) ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	1713.67^{Aa}±54.05	1740.00^{Aa}±45.86	1703.50^{Aa}±33.34	1696.17^{Aa}±16.13	1598.33^{Ba}±32.08	1563.33^{Bb}±16.54
เคลือบอะลูมิเนียม	1699.00^{Aa}±46.67	1677.83^{Ab}±47.11	1683.33^{Aa}±24.19	1692.50^{Aa}±40.38	1607.50^{Ba}±33.94	1590.67^{Ba}±21.14
สภาวะ						
ธรรมดา	1730.67^{Aa}±42.38	1733.83^{Aa}±50.82	1683.00^{Aa}±32.05	1702.33^{Aa}±25.35	1607.00^{Ba}±38.05	1571.33^{Ba}±25.07
สุญญากาศ	1682.00^{Aa}±44.86	1684.00^{Aa}±50.68	1703.83^{Aa}±25.56	1686.33^{Aa}±33.21	1598.83^{Ba}±27.27	1582.67^{Ba}±21.52
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1754.00^{ABa}±30.51	1772.00^{Aa} ±24.27	1685.33^{Ca}±37.00	1710.00^{BCa}±8.00	1611.67^{Da}±36.23	1558.33^{Ea}±22.50
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1673.33^{Aa}±38.63	1708.00^{Aab}±39.95	1721.67^{Aa}±20.50	1682.33^{Aa} ±3.51	1585.00^{Ba}±26.96	1568.33^{Ba}±10.12
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1707.33^{Aa}±43.88	1695.67^{Aab}±38.70	1680.67^{Aa}±34.38	1694.67^{Aa}±36.96	1602.33^{Ba}±47.35	1584.33^{Ba}±23.63
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1690.67^{Aa}±57.55	1660.00^{ABb}±55.65	1686.00^{Aa}±16.09	1690.33^{Aa}±51.93	1612.67^{ABa}±23.63	1597.00^{Ba}±20.95

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า peak viscosity เดือน 0 เท่ากับ 1735.00 (RVU)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.42 ค่า peak viscosity (RVU) ของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	1441.00^{Aa} ±38.40	1436.67^{Aa}±28.34	1417.17^{Aa}±35.18	1360.17^{Ba}±30.33	1308.50^{BCa}±25.34	1300.67^{Ca}±27.24
เคลือบอะลูมิเนียม	1422.33^{Aa} ±36.35	1419.17^{Aa}±26.09	1394.17^{ABa}±24.68	1374.00^{Ba}±44.46	1313.17^{Ca}±29.39	1277.67^{Ca}±18.84
สภาวะ						
ธรรมดา	1439.33^{Aa} ±19.64	1430.17^{Aa}±17.72	1390.83^{Ba}±23.98	1376.17^{Ba}±38.08	1319.33^{Ca} ±23.95	1284.17^{Da}±22.91
สุญญากาศ	1424.00^{Aa} ±49.78	1425.67^{Aa}±36.63	1420.50^{Aa}±32.57	1358.00^{ABa}±36.92	1302.33^{Ba} ±27.79	1294.17^{Ba}±28.80
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม xธรรมดา	1429.33^{ABa} ±6.66	1435.67^{Aa}±14.84	1390.67^{BCb}±29.74	1378.00^{Ca}±36.39	1316.67^{Da}±13.58	1288.33^{Da}±23.86
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1452.67^{Aa}±56.87	1437.67^{Aa}±42.25	1443.67^{Aa}±10.12	1342.33^{Ba} ±4.62	1300.33^{Ba} ±34.95	1313.00^{Ba}±28.79
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1449.33^{Aa} ±24.91	1424.67^{ABa}±21.78	1391.00^{Bb}±23.52	1374.33^{BCa}±47.86	1322.00^{CDa}±35.04	1280.00^{Da}±26.29
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1395.33^{Aa} ±22.28	1413.67^{Aa}±33.71	1397.33^{Aab}±30.66	1373.67^{Aa}±51.48	1304.33^{Ba} ±26.41	1275.33^{Ba}±13.43

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า peak viscosity เดือน 0 เท่ากับ 1423.00 (RVU)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.43 ค่า breakdown (RVU) ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	176.67^{Aa}±13.48	163.17^{ABa}±17.05	149.17^{BCa}±13.85	146.17^{BCa}±11.27	138.17^{Ca}±13.79	140.50^{BCa}±4.04
เคลือบอะลูมิเนียม	173.33^{Aa}±18.24	154.50^{Ba}±25.10	153.50^{Ba}±13.35	154.83^{Ba} ±6.58	143.00^{BCa} ±4.29	137.50^{Ca}±6.95
สภาวะ						
ธรรมดา	170.00^{Aa}±14.31	156.50^{ABa}±12.52	153.83^{Ba}±15.48	149.17^{Ba}±11.25	141.00^{Ba}±11.38	140.67^{Ba}±4.37
สุญญากาศ	180.00^{Aa}±16.01	161.17^{ABa}±28.22	148.83^{BCa}±11.25	151.83^{BCa}±9.20	140.17^{BCa}±9.62	137.33^{Ca}±6.65
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	172.67^{Aa}±15.14	153.67^{ABa}±9.29	159.00^{ABa}±13.00	140.67^{Ba}±6.51	139.67^{Ba}±16.86	141.00^{Ba}±4.58
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	180.67^{Aa}±13.32	172.67^{ABa}±19.22	139.33^{Ca} ±4.51	151.67^{BCa}±13.58	136.67^{Ca}±13.58	140.00^{Ca}±4.36
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	167.33^{Aa}±16.16	159.33^{ABa}±16.77	148.67^{ABa}±18.72	157.67^{AB}±7.57	142.33^{AB} ±5.86	140.33^{B}±5.13
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	179.33^{Aa}±21.50	149.67^{ABa}±34.99	158.33^{ABa} ±5.03	152.00^{AB}±5.20	143.67^{B} ±3.21	134.67^{B}±8.39

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า breakdown เดือน 0 เท่ากับ 172.00 (RVU)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.44 ค่า breakdown (RVU) ของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	65.67^{Aa}±16.69	62.50^{Aa}±13.03	66.17^{Aa}±4.71	59.67^{Aa}±3.39	56.67^{Aa}±6.15	54.50^{Aa}±2.43
เคลือบอะลูมิเนียม	62.33^{Aa} ±13.18	58.33^{ABa} ±3.01	62.83^{Aa} ±6.52	59.00^{ABa} ±2.83	57.50^{ABa} ±3.39	50.83^{Ba}±5.04
สภาวะ						
ธรรมดา	68.50^{Aa} ±16.62	65.00^{ABa} ±8.39	62.50^{ABCa}±5.99	60.00^{ABCa} ±3.16	57.67^{BCa} ±4.68	53.17^{Ca} ±5.27
สุญญากาศ	59.50^{Ba} ±11.59	55.83^{CBa} ±8.28	66.50^{Aa}±5.09	58.67^{BCa}±2.94	56.50^{BCa} ±5.20	52.17^{Ca}±3.31
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	68.67^{Aa}±19.50	71.33^{Aa}±6.81	64.00^{Aa} ±5.57	59.67^{Aa}±4.51	57.00^{Aa} ±6.08	55.00^{Aa} ±2.64
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	62.67^{Aa}±17.01	53.67^{Ab}±12.01	68.33^{Aa} ±3.21	59.67^{Aa}±2.89	56.33^{Aa}±7.57	54.00^{Aa} ±2.64
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	68.33^{Aa}±17.62	58.67^{ABab}±3.06	61.00^{ABa}±7.21	60.33^{ABa}±2.08	58.33^{ABa} ±4.04	51.33^{Ba}±7.23
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	56.33^{Ba} ±4.04	58.00^{ABab} ±3.60	64.67^{Aa}±6.66	57.67^{ABa}±3.21	56.67^{Ba}±3.21	50.33^{Ba} ±3.21

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า breakdown เดือน 0 เท่ากับ 63.00 (RVU)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.45 ค่า final viscosity (RVU) ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	3092.33^{Aa}±59.42	3125.17^{Aa}±53.80	3104.33^{Aa}±60.34	3150.17^{Aa}±49.00	3105.00^{Aa}±30.12	3095.17^{Aa}±39.15
เคลือบอะลูมิเนียม	3059.67^{Ba}±58.44	3081.17^{ABa}±66.02	3102.33^{ABa}±50.76	3110.33^{ABa}±45.82	3115.67^{Aa}±63.55	3109.67^{ABa}±36.50
สภาวะ						
ธรรมดา	3104.83^{Aa}±36.26	3114.83^{Aa}±68.55	3102.17^{Aa}±70.48	3146.33^{Aa}±56.20	3106.17^{Aa}±48.56	3109.33^{Aa}±49.04
สุญญากาศ	3047.17^{Ba}±65.39	3091.50^{Aa}±58.22	3104.50^{Aa}±35.35	3114.17^{Aa}±40.90	3114.50^{Aa}±51.13	3095.50^{Aa}±21.71
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	3122.00^{Aa}±24.27	3161.67^{Aa}±31.56	3093.33^{Aa}±89.79	3189.00^{Aa} ±5.20	3108.33^{Aa}±42.57	3104.33^{Aa}±51.87
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	3062.67^{Aa}±74.81	3088.67^{Aa}±47.35	3115.33^{Aa}±26.02	3111.33^{Aab}±38.08	3101.67^{Aa}±20.55	3086.00^{Aa}±29.82
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	3087.67^{Aa}±42.60	3068.00^{Aa}±64.58	3111.00^{Aa}±64.21	3103.67^{Ab}±49.08	3104.00^{Aa}±63.79	3114.33^{Aa}±56.98
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	3031.67^{Aa}±66.12	3094.33^{Aa}±78.78	3093.67^{Aa}±45.76	3117.00^{Aab}±52.03	3127.33^{Aa}±74.97	3105.00^{Aa}±4.36

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า final viscosity เดือน 0 เท่ากับ 3097.50 (RVU)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.46 ค่า final viscosity (RVU) ของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	2547.50^{Aa} ±84.66	2558.67^{Aa}±62.70	2593.67^{Aa}±49.87	2570.67^{Aa}±46.44	2546.33^{Aa} ±10.11	2557.33$^{A\,a}$ ±44.87
เคลือบอะลูมิเนียม	2530.00^{Aa} ±28.61	2536.33^{Aa} ±57.81	2581.17^{Aa}±47.45	2590.50^{Aa}±58.19	2579.00^{Aa} ±38.74	2541.83$^{A\,a}$ ±31.92
สภาวะ						
ธรรมดา	2518.33^{Ba} ±48.87	2582.83^{ABa}±31.89	2573.67^{ABa}±48.00	2611.00^{Aa}±41.07	2568.17^{ABa}±41.07	2546.17$^{AB\,a}$ ±40.38
สุญญากาศ	2559.17^{ABa}±69.14	2512.17^{Bb}±59.66	2601.17^{Aa}±45.55	2550.17^{ABb}±43.27	2557.17^{ABa}±21.98	2553.00$^{AB\,a}$ ±38.96
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	2487.33^{Bb} ±49.05	2600.00^{Aa} ±19.00	2568.67^{Aa}±62.13	2607.00^{Aa}±31.24	2538.00^{ABb}±6.56	2560.67$^{AB\,a}$ ±49.12
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	2607.67^{Aa}±68.19	2517.33^{Ba} ±65.90	2618.67^{Aa}±21.96	2534.33^{ABa}±21.36	2554.67^{ABab}±2.08	2554.00$^{AB\,a}$ ±50.86
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	2549.33^{ABab}±26.10	2565.67^{ABa}±36.02	2578.67^{ABa}±42.71	2615.00^{Aa} ±56.51	2598.33^{ABa}±38.00	2531.67$^{B\,a}$ ±32.13
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	2510.67^{Ab}±15.63	2507.00^{Aa} ±66.90	2583.67^{Aa}±61.53	2566.00^{Aa} ±58.92	2559.67^{Aab}±34.43	2552.00$^{A\,a}$ ±34.70

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า final viscosity เดือน 0 เท่ากับ 2468.00 (RVU)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.47 ค่า setback (RVU) ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	1378.67^{Ca}±32.73	1385.17^{Ca}±29.28	1400.83^{Ca}±45.26	1454.00^{Ba}±36.93	1506.67^{Aa}±16.18	1531.83^{Aa}±32.47
เคลือบอะลูมิเนียม	1360.67^{Ba}±25.00	1403.33^{Ba}±52.85	1419.00^{Ba}±49.92	1417.83^{Ba}±32.91	1508.17^{Aa}±46.36	1519.00^{Aa}±27.24
สภาวะ						
ธรรมดา	1374.17^{Da}±19.92	1381.00^{Da}±40.34	1419.17^{CDa}±58.01	1444.00^{BCa}±40.90	1499.17^{ABa}±29.06	1538.00^{Aa}±30.57
สุญญากาศ	1365.17^{Ca}±38.01	1407.50^{BCa}±42.43	1400.67^{BCa}±34.18	1427.83^{Ba}±37.44	1515.67^{Aa}±37.47	1512.83^{Aa}±24.10
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1368.00^{Ca}±29.60	1389.67^{Ca}±32.96	1408.00^{Ca}±57.30	1479.00^{Ba} ±4.36	1496.67^{ABa}±12.34	1546.00^{Aa}±30.51
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1389.33^{Ba}±38.21	1380.67^{Ba}±31.56	1393.67^{Ba}±41.04	1429.00^{Bab}±38.94	1516.67^{Aa}±14.22	1517.67^{Aa}±33.20
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1380.33^{Ca} ±1.53	1372.33^{Ca}±52.50	1430.33^{BCa}±68.97	1409.00^{Cb}±22.11	1501.67^{ABa}±44.05	1530.00^{Aa}±34.83
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1341.00^{Ca}±20.00	1434.33^{Ba}±36.66	1407.67^{Ba}±33.00	1426.67^{Bab}±44.54	1514.67^{Aa}±57.49	1508.00^{Aa}±16.70

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า setback เดือน 0 เท่ากับ 1362.50 (RVU)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.48 ค่า setback (RVU) ของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	1106.50^{Ba} ±74.73	1122.00^{Ba}±57.88	1176.50^{ABa} ±26.64	1210.50^{ABa}±23.95	1237.83^{Aa} ±29.46	1256.67^{A}±30.22
เคลือบอะลูมิเนียม	1107.67^{Ca}±23.35	1117.17^{Ca}±38.04	1187.00^{Ba}±24.20	1216.50^{ABa}±34.17	1265.83^{Aa} ±27.74	1264.17^{A}±23.21
สภาวะ						
ธรรมดา	1079.00^{Da}±42.37	1152.67^{Ca}±29.30	1182.83^{BCa} ±27.38	1234.83^{ABa} ±9.20	1248.83^{Aa} ±39.04	1262.00^{A}±23.76
สุญญากาศ	1135.17^{Ca}±49.42	1086.50^{Db} ±36.41	1180.67^{Ba}±24.68	1192.17^{Bb}±24.21	1254.83^{Aa}±23.72	1258.83^{A}±30.24
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1058.00^{Db} ±51.73	1164.33^{Ca} ±32.35	1178.00^{BCa} ±37.47	1229.00^{ABab} ±5.29	1221.33^{ABCb} ±7.02	1272.33^{A}±25.89
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1155.00^{Ca} ±65.02	1079.67^{Db}±44.18	1175.00^{BCa} ±19.08	1192.00^{ABCb}±19.47	1254.33^{Aab} ±36.12	1241.00^{AB}±29.60
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	1100.00^{Cab} ±22.11	1141.00^{Cab} ±26.29	1187.67^{Ba}±20.01	1240.67^{Aa}±9.02	1276.33^{Aa} ±38.63	1251.67^{A}±20.53
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	1115.33^{Cab} ±26.41	1093.33^{Cb} ±34.96	1186.33^{Ba} ±32.59	1192.33^{Bba} ±32.96	1255.33^{Aab} ±10.07	1276.67^{A}±21.36

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า setback เดือน 0 เท่ากับ 1045.00 (RVU)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การวิเคราะห์ค่า peak viscosity ของข้าวกล้อง ระหว่างการเก็บรักษา พบว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส (control) (ตารางที่ 4.41) มีค่า peak viscosity ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ระหว่างเดือนที่ 5 และ 6 โดยบรรจุภัณฑ์หรือสภาวะการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า peak viscosity อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อพิจาณาร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บ พบว่าให้ผลสอดคล้องกันคือเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองมีค่า peak viscosity ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ซึ่งบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า peak viscosity อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยในเดือนที่ 6 ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส มีค่า peak viscosity ลดลงอยู่ระหว่าง 1558.33-1597.00 RVU จากเดิม 1673.33-1754.00 RVU (เดือนที่ 1)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า peak viscosity ของข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 4.42) พบว่าค่า peak viscosity ของข้าวกล้องลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยบรรจุภัณฑ์หรือสภาวะการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า peak viscosity อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อพิจาณาร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บ พบว่าให้ผลสอดคล้องกันคือเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองมีค่า peak viscosity ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ซึ่งบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า peak viscosity อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยในเดือนที่ 6 ข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส มีค่า peak viscosity ลดลงอยู่ระหว่าง 1275.33-1313.00 RVU จากเดิม 1395.33-1452.67 RVU (เดือนที่ 1) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ค่า breakdown ของข้าวกล้อง ระหว่างการเก็บรักษา พบว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส (control) (ตารางที่ 4.43) มีค่า breakdown ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยบรรจุภัณฑ์หรือสภาวะการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า breakdown อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อพิจาณาร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บ พบว่าให้ผลสอดคล้องกันคือเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองมีค่า breakdown ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ซึ่งบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า breakdown อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยในเดือนที่ 6 ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส มีค่า breakdown ลดลงอยู่ระหว่าง 134.67-141.00 RVU จากเดิม 167.33-180.67 RVU (เดือนที่ 1)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า breakdown ของข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัส สัมผัส (ตารางที่ 4.44) พบว่าค่า breakdown ของข้าวกล้องลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยบรรจุภัณฑ์หรือสภาวะการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า breakdown อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อพิจาณาร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บ พบว่าให้ผลสอดคล้องกันคือเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองมีค่า breakdown ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) ซึ่งบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า breakdown อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยในเดือนที่ 6 ข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส มีค่า breakdown ลดลงอยู่ระหว่าง 50.33-55.00 RVU จากเดิม 56.33-68.67 RVU (เดือนที่ 1) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ค่า final viscosity ของข้าวกล้อง ระหว่างการเก็บรักษา พบว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส (control) (ตารางที่ 4.45) ค่า final viscosity มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (P>0.05) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยบรรจุภัณฑ์หรือสภาวะการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า final viscosity อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อพิจาณาร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บ พบว่าให้ผลสอดคล้องกันคือเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองมีค่า final viscosity เพิ่มขึ้น (P>0.05) ซึ่งบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า final viscosity อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยในเดือนที่ 6 ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส มีค่า final viscosity เพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 3086.00-3114.33 RVU จากเดิม 3031.67-3122.00 RVU (เดือนที่ 1)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า final viscosity ของข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 4.46) พบว่าค่า final viscosity ของข้าวกล้องมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (P>0.05) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยบรรจุภัณฑ์หรือสภาวะการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า final viscosity อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อพิจาณาร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บ พบว่าให้ผลสอดคล้องกันคือเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองมีค่า final viscosity เพิ่มขึ้น (P>0.05) ซึ่งบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า final viscosity อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยในเดือนที่ 6 ข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส มีค่า final viscosity เพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 2531.67-2560.67 RVU จากเดิม 2487.33-2607.67 RVU (เดือนที่ 1) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการวิเคราะห์ค่า setback ของข้าวกล้อง ระหว่างการเก็บรักษา พบว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส (control) (ตารางที่ 4.47) มีค่า setback เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยบรรจุภัณฑ์หรือสภาวะการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า setback อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อพิจาณาร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บ พบว่าให้ผลสอดคล้องกันคือเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองมีค่า setback เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า setback อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยในเดือนที่ 6 ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส มีค่า setback เพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 1508.00-1546.00 RVU จากเดิม 1341.00-1389.33 RVU (เดือนที่ 1)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า setback ของข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 4.48) พบว่าค่า setback ของข้าวกล้องเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยบรรจุภัณฑ์หรือสภาวะการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า setback อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อพิจาณาร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บ พบว่าให้ผลสอดคล้องกันคือเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองมีค่า setback เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า setback อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยในเดือนที่ 6 ข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส มีค่า setback เพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 1241.00-1276.67 RVU จากเดิม 1058.00-1155.00 RVU (เดือนที่ 1) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส

การเปลี่ยนแปลงความหนืดระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากมีการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนออริซานินกับสตาร์ชเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างการเก็บรักษา ขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ช (วีระสิทธิ์และเมทินี, 2551) ทำให้ peak viscosity ของข้าวกล้องมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และยังส่งผลให้ค่า breakdown หรือความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดลดลงไปด้วยเช่นกัน ขณะที่ค่าความหนืดสูงสุดหรือ final viscosity และ ค่า setback ที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มในการเกิดเรโทรเกรเดชัน เนื่องจากการทำให้อุณหภูมิของระบบเย็นลง โมเลกุลขนาดเล็กของอะไมโลสสามารถจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนภายหลังเม็ดสตาร์ชแตกออกได้ดีขึ้น (Sowbhagya and Bhattacharyat, 2001) นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของอะไมโลเพคตินซึ่งปรับเปลี่ยนโครงสร้างจากโมเลกุลที่เป็นกิ่งก้านมาเป็นโมเลกุลที่เป็นสายตรงมากขึ้น จึงทำให้เกิด setback หรือการคืนตัวเพื่อให้เกิดความหนืดอีกครั้งทำได้ดีขึ้น (สุรศักดิ์, 2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.49 ปริมาณ lipase activity (หน่วย/กิโลกรัมข้าวกล้อง) ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	811.69^{Fa}±16.124	852.34^{Ea}±11.59	887.56^{Da}±12.41	933.12^{Ca} ±14.07	1036.18^{Ba}±15.39	1094.46^{Aa}±24.53
เคลือบอะลูมิเนียม	808.83^{Fa}±10.57	853.19^{Ea}±10.87	884.91^{Da}±11.09	932.15^{Ca} ±9.37	1031.26^{Ba}±10.61	1090.07^{Aa}±19.81
สภาวะ						
ธรรมดา	813.69^{Fa}±16.99	857.59^{Ea}±11.94	890.90^{Da}±7.52	935.40^{Cb}±7.48	1043.25^{Bb}±12.06	1118.98^{Aa}±8.76
สุญญากาศ	803.15^{Fa}±10.42	845.90^{Ea}±4.45	874.75^{Db}±6.06	922.20^{Ca}±9.30	1021.35^{Ba}±5.91	1075.20^{Ab}±4.07
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	814.65^{Fa}±22.04	856.82^{Ea}±9.28	893.23^{Da}±9.28	935.97^{Ca}±11.17	1046.14^{Ba}±17.20	1123.49^{Aa}±9.61
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	803.52^{Fa}±12.45	847.04^{Ea}9.08	875.79^{Dbc}±9.08	921.99^{Ca}±11.41	1022.09^{Bb}±8.97	1076.56^{Ab}±5.61
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	812.73^{Fa}±15.26	858.35^{Ea}±6.26	888.58^{Dab}±6.26	934.83^{Ca}±3.78	1040.35^{Bab}±6.54	1114.47^{Aa}±6.22
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	802.77^{Fa}±10.78	844.76^{Ea}±2.45	873.71^{Dc}±2.45	922.40^{Ca}±9.27	1020.62^{Bb}±2.28	1073.85^{Ab}±2.10

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า lipase activity เดือน 0 เท่ากับ 775.29 หน่วย/กิโลกรัมข้าวกล้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.50 ปริมาณ lipase activity (หน่วย/กิโลกรัมข้าวกล้อง) ของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	652.89^{Ea}±15.14	704.46^{Da}±12.96	719.88^{Da}±17.32	836.22^{Ca}±11.48	917.10^{Ba}±6.86	1041.74^{Aa}±26.77
เคลือบอะลูมิเนียม	651.57^{Ea}±15.22	702.08^{Da}±13.37	720.02^{Da}±17.28	835.65^{Ca}±13.41	918.54^{Ba}±10.07	1040.29^{Aa}±23.71
สภาวะ						
ธรรมดา	667.08^{Fa}±13.39	710.33^{Ea}±7.98	736.86^{Da}±14.09	836.62^{Ca}±11.79	921.15^{Ba}±8.69	1072.83^{Aa}±5.41
สุญญากาศ	643.08^{Fb}±8.26	694.89^{Ea}±13.64	707.76^{Db}±8.92	833.05^{Ca}±7.46	914.53^{Ba}±8.07	1020.90^{Ab}±10.36
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	668.91^{Fa}±11.77	709.64^{Ea}±8.07	738.60^{Da}±11.94	836.95^{Ca}±18.46	921.05^{Ba}±8.92	1075.49^{Aa}±4.10
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	643.66^{Eb}±4.21	694.73^{Da}±16.90	710.27^{Db}±10.73	834.74^{Ca}±4.46	912.49^{Ba}±3.03	1022.52^{Ab}±14.19
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	665.26^{Fab}±17.32	711.01^{Ea}±9.62	735.11^{Da}±18.57	836.29^{Ca}±2.48	921.25^{Ba}±10.45	1070.16^{Aa}±5.92
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	642.49^{Eb}±12.32	695.05^{Da}±13.40	705.24^{Db}±8.06	831.35^{Ca}±10.52	916.57^{Ba}±11.88	1019.28^{Ab}±7.67

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า lipase activity เดือน 0 เท่ากับ 642.80 หน่วย/กิโลกรัมข้าวกล้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.51 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละ) ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	0.0191^{Fa}±0.0007	0.0212^{Ea}±0.0015	0.0270^{Da}±0.0006	0.0338^{Ca}±0.0014	0.0406^{Ba}±0.0010	0.0486^{Aa}±0.0017
เคลือบอะลูมิเนียม	0.0191^{Fa}±0.0014	0.0212^{Ea}±0.0010	0.0270^{Da}±0.0006	0.0336^{Ca}±0.0016	0.0405^{Ba}±0.0009	0.0485^{Aa}±0.0012
สภาวะ						
ธรรมดา	0.0200^{Fa}±0.0006	0.0217^{Ea}±0.0005	0.0273^{Da}±0.0004	0.0349^{Ca}±0.0017	0.0413^{Ba}±0.0005	0.0498^{Aa}±0.0013
สุญญากาศ	0.0185^{Fb}±0.0013	0.0209^{Ea}±0.0014	0.0267^{Da}±0.0005	0.0327^{Cb}±0.0010	0.0398^{Bb}±0.0011	0.0472^{Ab}±0.0009
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	0.0198^{Ea}±0.0002	0.0216^{Ea}±0.0006	0.0273^{Da}±0.0006	0.0354^{Ca}±0.0013	0.0414^{Ba}±0.0006	0.0499^{Aa}±0.0020
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	0.0186^{Fa}±0.0004	0.0209^{Ea}±0.0017	0.0267^{Da}±0.0004	0.0328^{Cab}±0.0006	0.0399^{Bb}±0.0012	0.0472^{Ab}±0.0011
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	0.0202^{Ea}±0.0009	0.0217^{Ea}±0.0004	0.0273^{Da}±0.0003	0.0344^{Cab}±0.0023	0.0412^{Bab}±0.0005	0.0497^{Aa}±0.0006
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	0.0183^{Fa}±0.0021	0.0208^{Ea}±0.0014	0.0267^{Da}±0.0006	0.0325^{Cb}±0.0014	0.0397^{Bb}±0.0012	0.0471^{Ab}±0.0009

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า กรดไขมันอิสระ เดือน 0 เท่ากับ ร้อยละ 0.017

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.52 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละ) ของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	ระยะเวลาการเก็บ					
	1	2	3	4	5	6
บรรจุภัณฑ์						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม	0.0116^{Fa}±0.0008	0.0145^{Ea}±0.0005	0.0178^{Da}±0.0011	0.0214^{Ca}±0.0005	0.0250^{Ba}±0.0008	0.0360^{Aa}±0.0014
เคลือบอะลูมิเนียม	0.0115^{Fa}±0.0004	0.0145^{Ea}±0.0004	0.0174^{Da}±0.0010	0.0213^{Ca}±0.0006	0.0248^{Ba}±0.0007	0.0357^{Aa}±0.0014
สภาวะ						
ธรรมดา	0.0118^{Fa}±0.0004	0.0149^{Ea}±0.0002	0.0183^{Da}±0.0011	0.0217^{Ca}±0.0006	0.0256^{Ba}±0.0005	0.0374^{Aa}±0.0009
สุญญากาศ	0.0114^{Fa}±0.0010	0.0142^{Ea}±0.0004	0.0173^{Da}±0.0010	0.0212^{Ca}±0.0006	0.0244^{Bb}±0.0005	0.0348^{Ab}±0.0005
บรรจุภัณฑ์ x สภาวะ						
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	0.0117^{Fa}±0.0006	0.0149^{Ea}±0.0001	0.0188^{Da}±0.0002	0.0219^{Ca}±0.0006	0.0258^{Ba}±0.0001	0.0374^{Aa}±0.0013
ไม่เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	0.0115^{Fa}±0.0014	0.0142^{Ea}±0.0006	0.0175^{Da}±0.0015	0.0212^{Ca}±0.0002	0.0245^{Bb}±0.0006	0.0349^{b}±0.0006
เคลือบอะลูมิเนียม x ธรรมดา	0.0118^{Fa}±0.0003	0.0148^{Ea}±0.0002	0.0178^{Ca}±0.0015	0.0215^{Ca}±0.0006	0.0254^{Bab}±0.0008	0.0374^{Aa}±0.0006
เคลือบอะลูมิเนียม x สุญญากาศ	0.0113^{Fa}±0.0005	0.0142^{Ea}±0.0004	0.0172^{Ca}±0.0005	0.0211^{Ca}±0.0010	0.0243^{Bb}±0.0006	0.0346^{b}±0.0005

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ค่า กรดไขมันอิสระ เดือน 0 เท่ากับ ร้อยละ 0.010

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5.4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

ปริมาณ lipase activity ของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรและข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร ระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.49 และ 4.50) พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ lipase activity อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่สภาวะการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ lipase activity ($P\leq0.05$) หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษา พบว่า lipase activity ของตัวอย่างเริ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเท่ากับ 3 เดือน และพบว่าข้าวกล้องที่บรรจุแบบสุญญากาศมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ lipase activity น้อยกว่าการบรรจุแบบธรรมดา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) จากการศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองมีปริมาณ lipase activity เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ซึ่งในเดือนที่ 1 ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร มีปริมาณ lipase activity อยู่ระหว่าง 802.77 - 816.90 และ 642.49 - 668.91 หน่วย/กิโลกรัมข้าวกล้อง ตามลำดับ ซึ่งการดัดแปรเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องทำให้ lipase activity น้อยลง และเมื่อเก็บรักษาครบ 6 เดือน พบว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร มีปริมาณ lipase activity อยู่ระหว่าง 1073.85 - 1123.49 หน่วย/กิโลกรัมข้าวกล้อง และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร มีปริมาณ lipase activity อยู่ระหว่าง 1019.28 - 1075.49 หน่วย/กิโลกรัมข้าวกล้อง โดยมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 3 เท่า ของเดือนแรก

ซึ่ง lipase activity ที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากในงานวิจัยนี้การเก็บรักษาข้าวกล้อง ได้เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณ 20-35 องศาเซลเซียส (เดือนพฤศจิกายน-เมษายน) โดยช่วงอุณหภูมิที่เอนไซม์ไลเพสสามารถเกิดกิจกรรมได้สูงสุด คือที่ 35 องศาเซลเซียส และคงตัวอยู่ได้ที่อุณหภูมิ 20 – 45 องศาเซลเซียส (ศิริมา, 2547) ในงานวิจัยของ สุภาวดี (2542) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไขมันในข้าวกล้องหอมมะลิ เนื่องจาก lipase activity ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน โดยเก็บรักษาในถุงไนลอน ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าข้าวมี lipase activity เพิ่มสูงขึ้น จากเดิม 6.20 หน่วย/กิโลกรัมข้าวกล้อง เพิ่มเป็น 15.70 หน่วย/กิโลกรัมข้าวกล้อง คือเพิ่มขึ้น 2.5 เท่า ภายในระยะเวลา 6 เดือน ซึ่งมากกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของ lipase activity ในงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตามผลการวิจัยนี้พบ lipase activity ในปริมาณที่สูงกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องจากข้าวกล้องผ่านการย่อยเส้นใยจึงทำให้เกิดการปลดปล่อยของเอนไซม์ไลเพสออกจากชั้นรำข้าวมากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.51 และ 4.52) พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระ โดยเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องทุกตัวอย่างทดลองมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ซึ่งในเดือนที่ 1 ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรและข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร มีปริมาณกรดไขมันอิสระ อยู่ระหว่างร้อยละ 0.0183 - 0.0202 และ 0.0113 - 0.0118 ตามลำดับ และเมื่อเก็บรักษาครบ 6 เดือน พบว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปร มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.0471 - 0.0490 ซึ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 2.5 เท่า และข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.0346 - 0.0374 ซึ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 3.1 เท่าของเดือนแรก

กรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา เกิดจากการสลายตัวของไขมันในข้าวจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเพสและปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยตัวอย่างข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรพบปริมาณของกรดไขมันอิสระน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการดัดแปร เนื่องจากความร้อนจากไมโครเวฟสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลเพสได้ ดังนั้นข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรจึงมีการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระน้อยกว่า (Zhao *et al*., 2007)

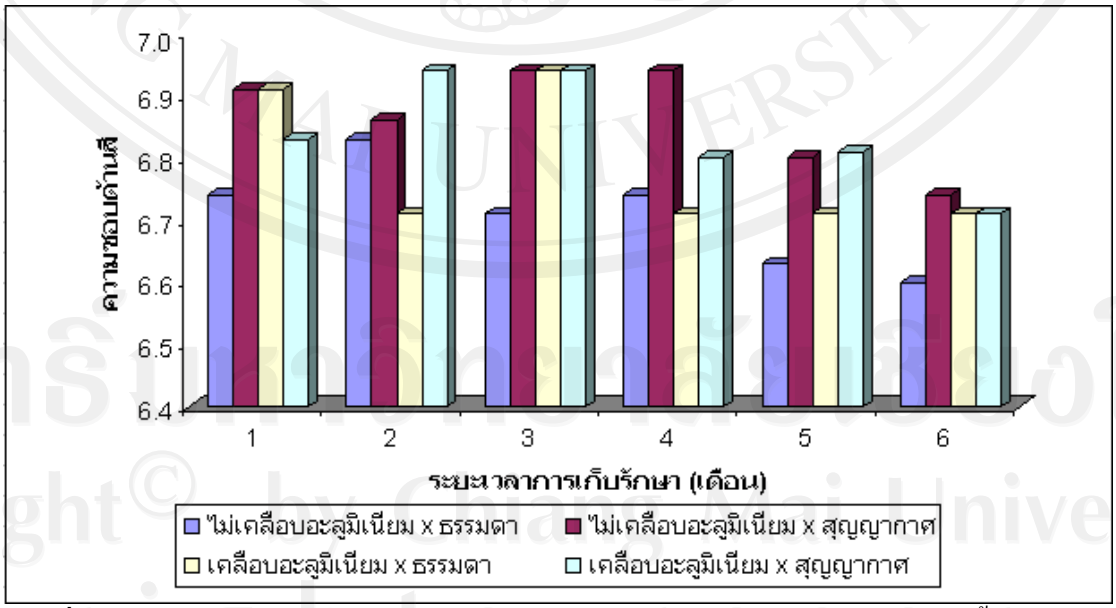
ในงานวิจัยของ Aibara *et al.* (1985) ซึ่งได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไขมันในชั้นรำข้าวของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 เดือน พบว่ากรดไขมันอิสระมีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยในเดือนที่ 6 พบกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.2 เป็น 0.5 (เพิ่มขึ้น 2.5 เท่า) และในเดือนที่ 15 พบปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงเหลือ ร้อยละ 0.3 และในงานวิจัยของ Jaisut *et al.* (2009) ได้ศึกษาปริมาณกรดไขมันอิสระในข้าวกล้องหอมมะลิ ที่ผ่านการให้ความร้อนสูงด้วยวิธีฟลูอิดไดเซชัน เมื่อเก็บรักษาระยะเวลา 7 เดือน พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.4 เป็น 0.6 (เพิ่มขึ้น 1.5 เท่า) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ramezanzadeh *et al.* (1999) ได้ศึกษาการยับยั้งกลิ่นหืนในรำข้าวโดยใช้ไมโครเวฟพบว่าเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 4 เดือน ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 2.5 เป็นร้อยละ 54.3 (เพิ่มขึ้น 21.72 เท่า) ส่วนตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 2.5 เป็นร้อยละ 9.3 (เพิ่มขึ้น 3.75 เท่า) เมื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าการใช้เอนไซม์ในการย่อยเส้นใยข้าวกล้องเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสและทำให้คงตัวด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไมโครเวฟ ทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่างานวิจัยอื่นๆ และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระที่ต่ำภายในระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน

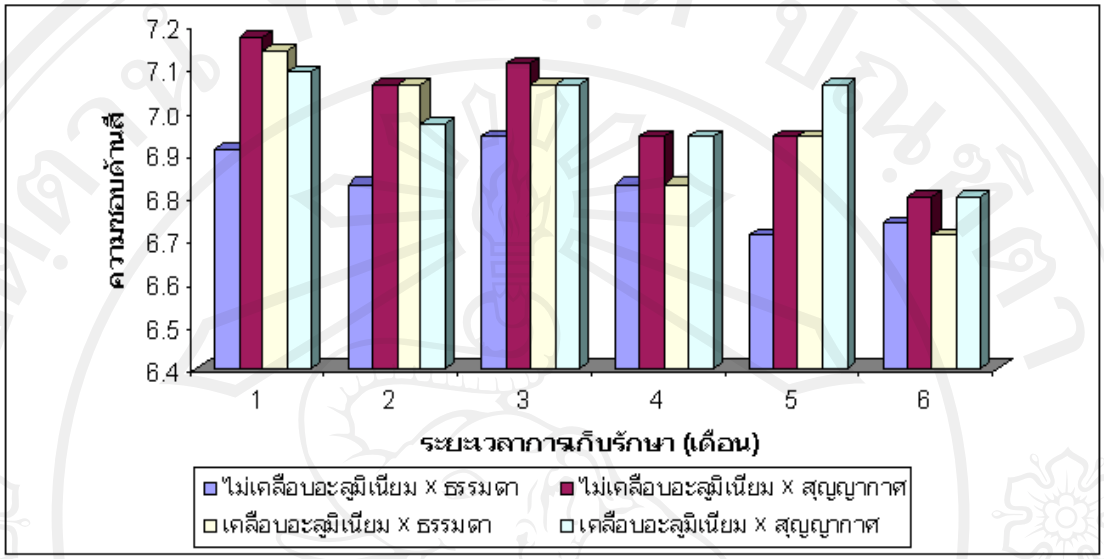
4.5.5 คุณภาพด้านประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-point hedonic scale test โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน วางแผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) พบว่าทั้งข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส ได้รับคะแนนความชอบด้านสี (ภาพที่ 4.8 และ 4.9) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเก็บไว้ในสภาวะการเก็บรักษาที่ต่างกัน การศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าตัวอย่างข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านสีแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ขณะที่ตัวอย่างข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสนั้น พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านสีลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อพิจารณาในแต่ละช่วงเวลาการเก็บรักษา พบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสี ($P>0.05$) โดยข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสได้รับการยอมรับมากกว่าข้าวกล้องปกติ ($P>0.05$) โดยมีคะแนนการยอมรับด้านสีสูงสุดหลังจากเก็บรักษาได้ 6 เดือน เท่ากับ 6.80 ± 0.80 สำหรับข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสซึ่งบรรจุในถุงเคลือบอะลูมิเนียมและบรรจุแบบสุญญากาศ



ภาพที่ 4.8 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา

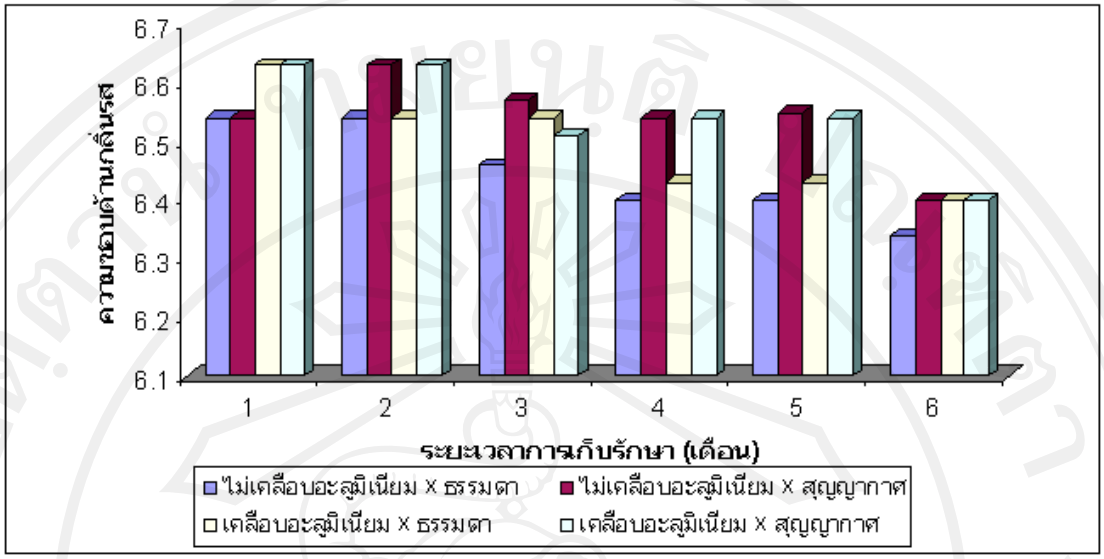
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



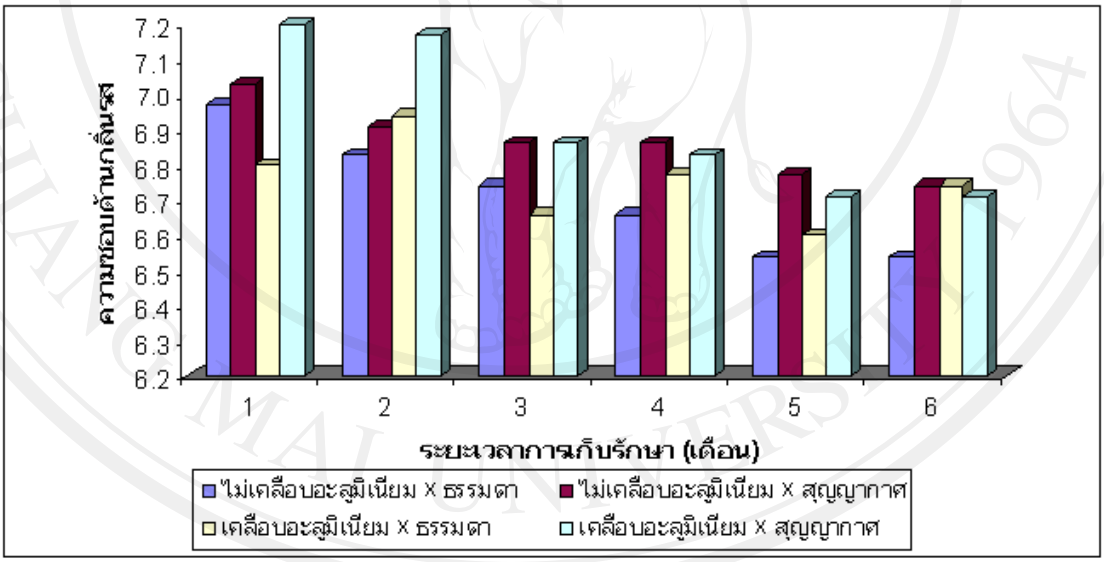
ภาพที่ 4.9 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสีของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา

ด้านกลิ่นรส (ภาพที่ 4.10และ 4.11) พบว่าทั้งข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเก็บไว้ในสภาวะการเก็บรักษาที่ต่างกัน การศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสของข้าวกล้องทั้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ชนิดของบรรจุภัณฑ์และวิธีการบรรจุไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับทางด้านกลิ่นรส ($P>0.05$) นอกจากนั้นยังพบว่า ข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสได้รับการยอมรับด้านกลิ่นรสมากกว่าข้าวกล้องปกติ ($P>0.05$) โดยได้รับคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสอยู่ในช่วง 6.54 – 6.74 หลังจากเก็บรักษาได้ 6 เดือน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.10 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา

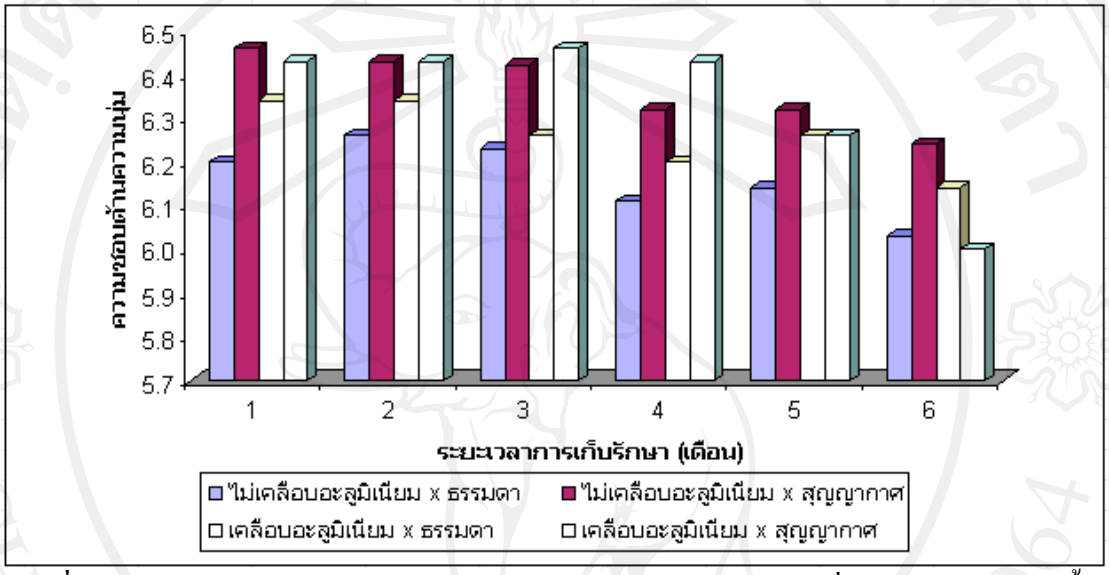


ภาพที่ 4.11 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา

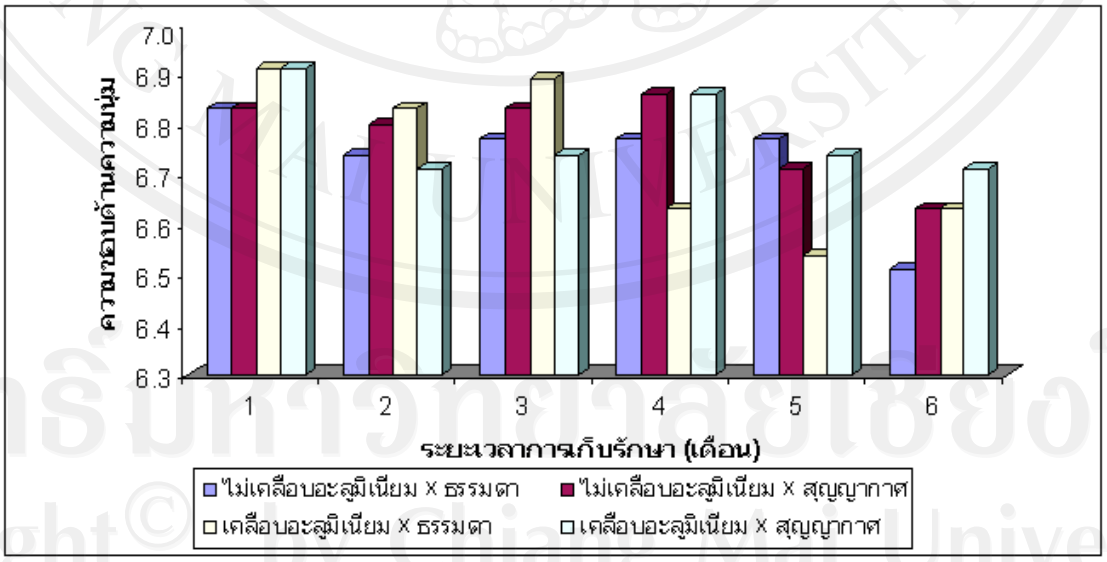
ด้านความนุ่ม (ภาพที่ 4.12 และ 4.13) พบว่าทั้งข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส ได้รับคะแนนความชอบด้านความนุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเก็บไว้ในสภาวะการเก็บรักษาที่ต่างกัน การศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าคะแนนความชอบด้านความนุ่มของข้าวกล้องทั้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น อย่างไม่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่ชนิดของบรรจุภัณฑ์และวิธีการบรรจุไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับทางด้านความนุ่ม (P>0.05) นอกจากนั้นยังพบว่า ข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสได้รับการยอมรับด้านความนุ่มมากกว่าข้าวกล้องปกติ (P>0.05) โดยได้รับคะแนนการยอมรับด้านความนุ่มอยู่ในช่วง 6.51 – 6.91 หลังจากเก็บรักษาได้ 6 เดือน



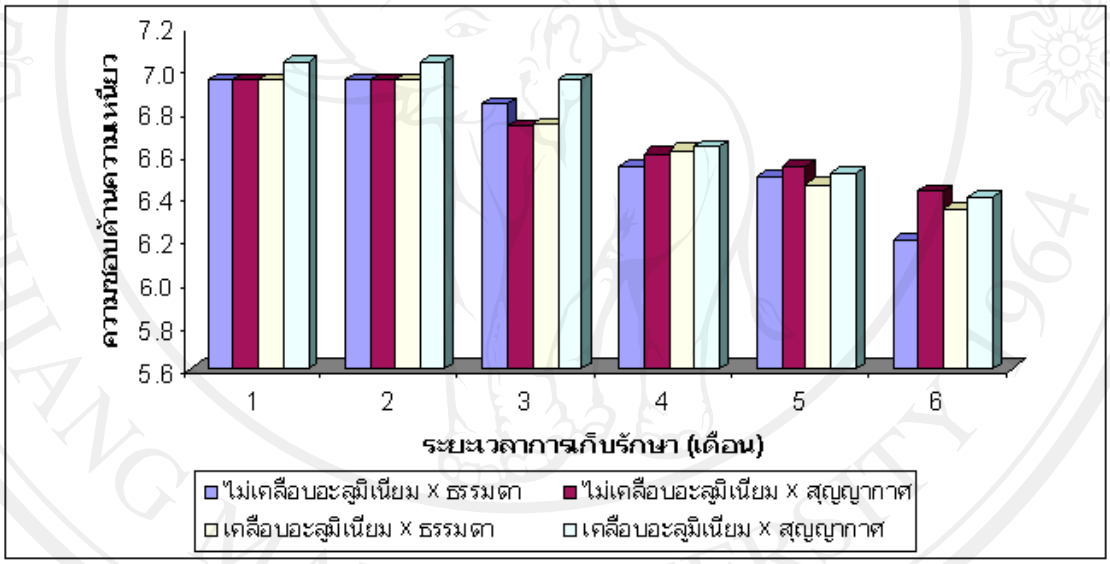
ภาพที่ 4.12 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.13 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา

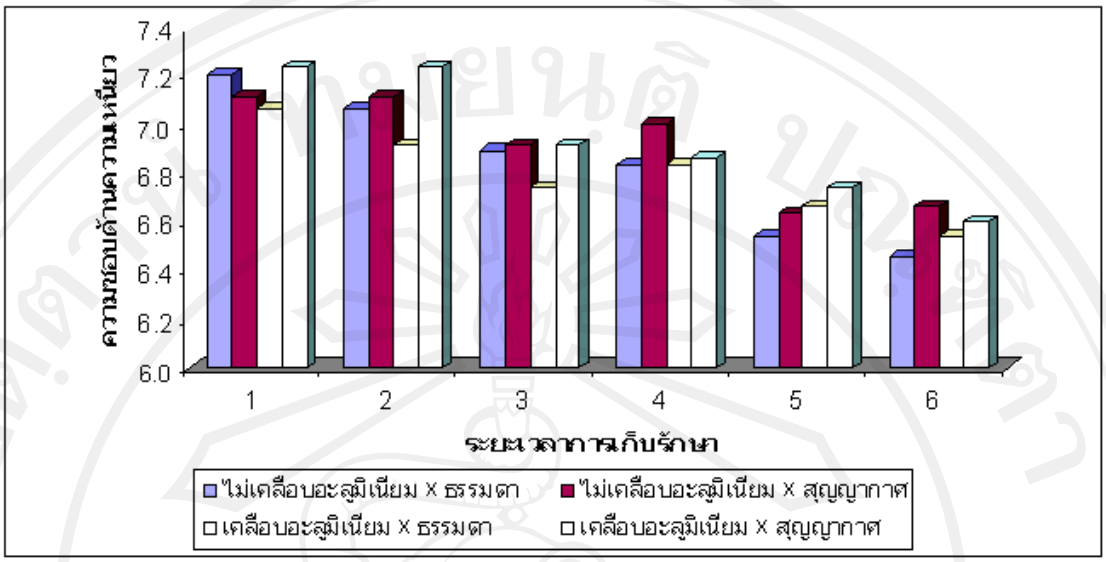
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ด้านความเหนียว (ภาพที่ 4.14 และ 4.15) พบว่าทั้งข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส ได้รับคะแนนความชอบด้านความเหนียวแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อเก็บไว้ในสภาวะการเก็บรักษาที่ต่างกัน การศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าคะแนนความชอบด้านความเหนียวของข้าวกล้องทั้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) แต่ชนิดของบรรจุภัณฑ์และวิธีการบรรจุไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับทางด้านความเหนียว (P>0.05) นอกจากนั้นยังพบว่า ข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสได้รับการยอมรับด้านความเหนียวมากกว่าข้าวกล้องปกติ (P>0.05) โดยได้รับคะแนนการยอมรับด้านความเหนียวอยู่ในช่วง 6.51 – 7.23 หลังจากเก็บรักษาได้ 6 เดือน



ภาพที่ 4.14 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา

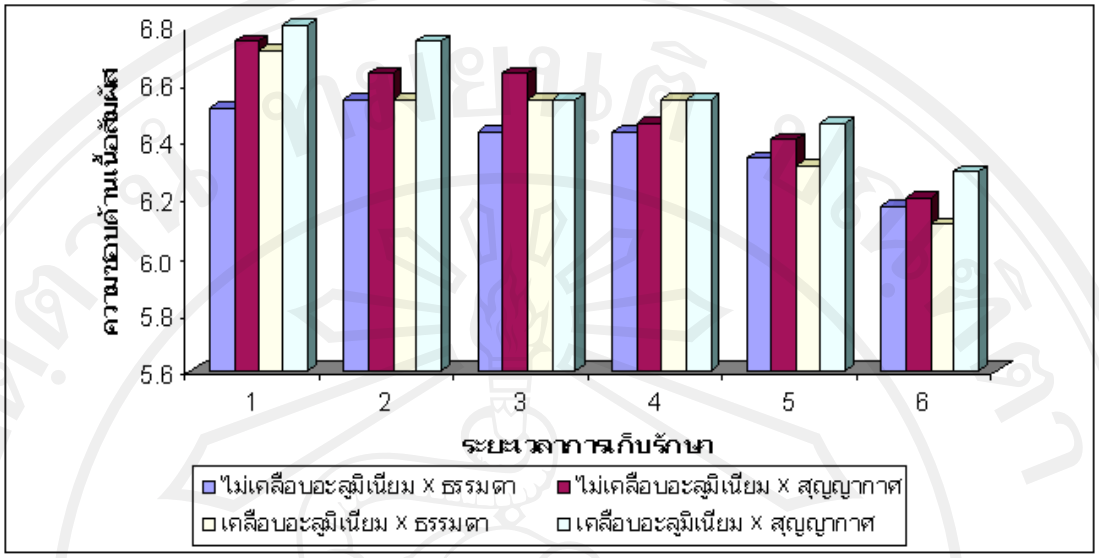
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



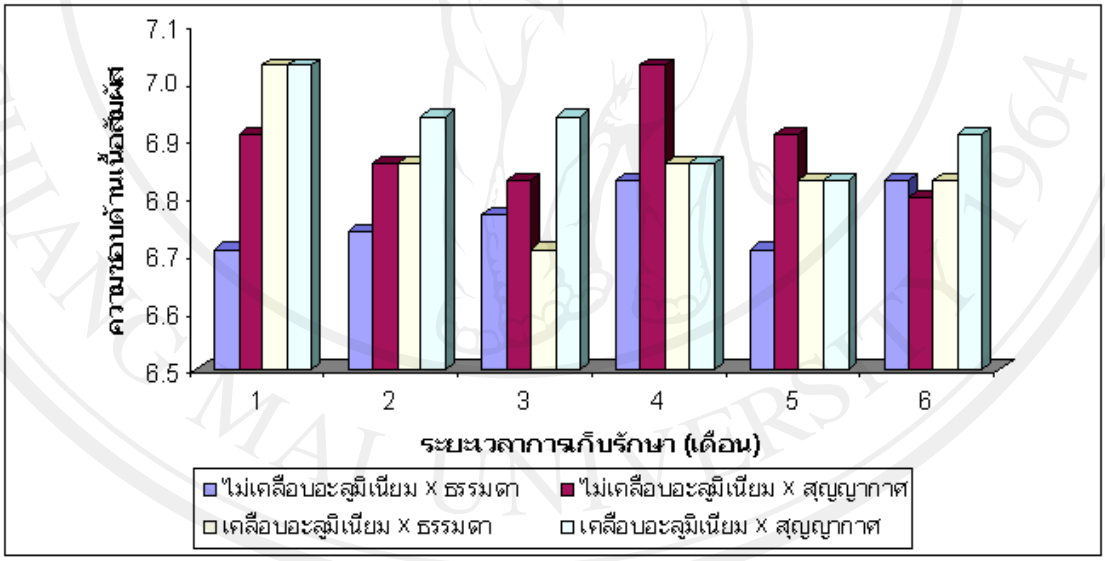
ภาพที่ 4.15 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเหนียวของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา

ด้านเนื้อสัมผัส (ภาพที่ 4.16 และ 4.17) พบว่าทั้งข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเก็บไว้ในสภาวะการเก็บรักษาที่ต่างกัน การศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ขณะที่ข้าวกล้องดัดแปรได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสลดลง อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และพบว่าชนิด, บรรจุภัณฑ์และวิธีการบรรจุไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัส ($P>0.05$) ข้าวกล้องดัดแปรเนื้อสัมผัสได้รับคะแนนการยอมรับ (6.80 – 6.91) สูงกว่าข้าวกล้องปกติ (6.11 – 6.29) ($P>0.05$) เมื่อผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.16 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา

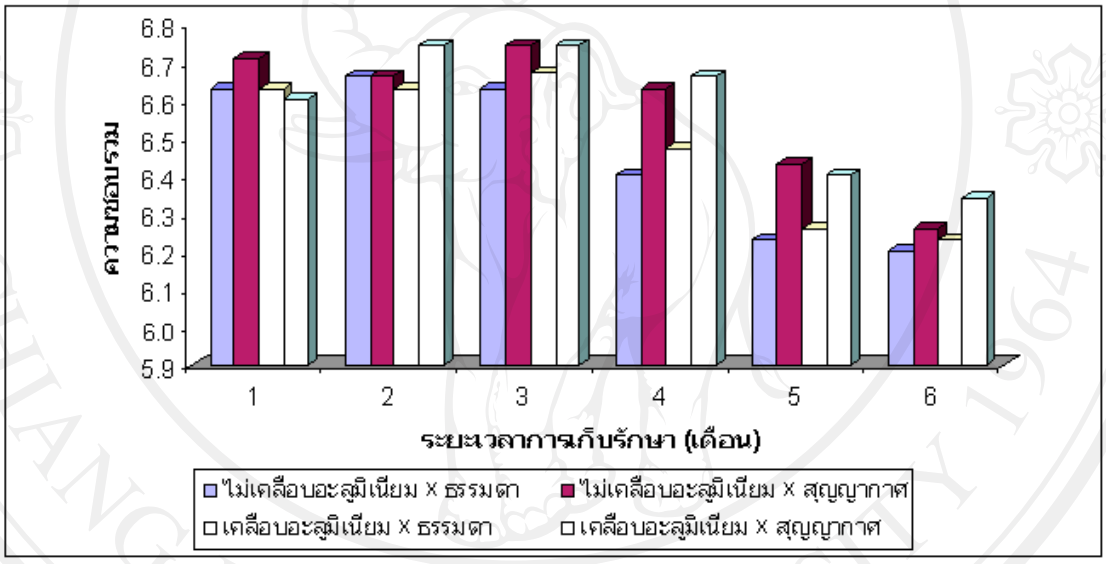


ภาพที่ 4.17 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา

ด้านความชอบรวม (ภาพที่ 4.18 และ 4.19) พบว่าทั้งข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส ได้รับคะแนนความชอบรวมแตกต่างกัน อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเก็บไว้ในสภาวะการเก็บรักษาที่ต่างกัน การศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าคะแนนความชอบรวม ของตัวอย่างข้าวกล้องทั้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลง ($P>0.05$) แต่ข้าวกล้องที่บรรจุในถุงแบบไม่เคลือบอะลูมิเนียมและบรรจุ

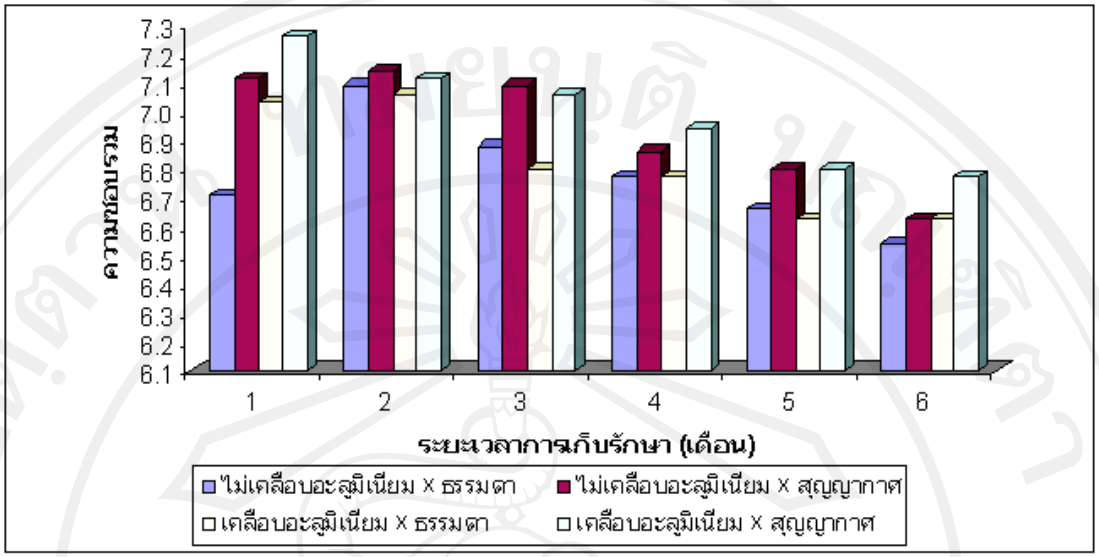
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบบธรรมดา และสุญญากาศ ได้รับคะแนนการยอมรับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเก็บรักษาไว้ 6 เดือน ส่วนข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสที่บรรจุในถุงเคลือบอะลูมิเนียมและบรรจุแบบธรรมดา มีคะแนนการยอมรับลดลงเล็กน้อย ($P>0.05$) ตัวอย่างอื่น ๆ พบว่ามีการลดลงของคะแนนการยอมรับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อเก็บรักษานานขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าคะแนนการยอมรับรวมของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส (6.54 – 6.77) สูงกว่าคะแนนการยอมรับสำหรับข้าวกล้องปกติ (6.20 – 6.34) ($P>0.05$) โดยข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสที่บรรจุในถุงเคลือบอะลูมิเนียมและบรรจุแบบสุญญากาศ ได้รับคะแนนการยอมรับสูงสุดที่ 6.77 ± 0.65



ภาพที่ 4.18 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมของข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.19 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบรวมของข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัสหุงสุกระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาสภาวะเก็บรักษาและระยะเวลาการเก็บรักษา สรุปได้ว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นข้าวกล้องมีคุณภาพเสื่อมลง โดยข้าวกล้องที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลานานจะมีค่า L และค่า a ลดลง ค่า b เพิ่มขึ้น หรือข้าวกล้องมีสีคล้ำขึ้น มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลเพสและกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ข้าวกล้องมีกลิ่นหืนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวกล้องมีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้น เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปรมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และคุณภาพการหุงในระหว่างการเก็บรักษาด้อยกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการดัดแปรเนื้อสัมผัส จากการศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์และสภาวะการบรรจุต่อคุณภาพข้าวกล้องระหว่างการเก็บรักษา พบว่าข้าวกล้องที่บรรจุในถุงเคลือบและไม่เคลือบอะลูมิเนียม ปิดผนึกแบบสุญญากาศ มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีและกายภาพน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่น เนื่องจากป้องกันการสัมผัสกับอากาศได้ดีกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved