สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของข้าวสารใหม่

ข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ได้จากการนำข้าวเปลือกที่ได้จากสถานีทดลองข้าว จ. ชัยนาท ไปสีเป็นข้าวสารที่ระดับการสีดีพิเศษที่ศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าวปทุมธานี จ.ปทุมธานี และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารได้แก่ ความชื้น ไขมัน เส้นใย โปรตีน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ปริมาณอะไมโลสที่ละลายในน้ำร้อน (%AM) ปริมาณอะไมโลสที่ไม่ละลายน้ำร้อน (%IM) ปริมาณกรดอะมิโน cysteine ปริมาณกรดอะมิโน cystine กิจกรรมของเอนไซม์ protease ค่าสี (E) ความกว้างและความยาวของข้าวสาร อัตราส่วนของความยาวต่อความกว้างของข้าวสาร (L/W) พื้นที่ผิวของเมล็ดข้าวสาร (s) % water uptake % solid loss เวลาที่เหมาะสมในการต้มข้าว (cooking time) และ % degree of gelatinization

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารใหม่

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารใหม่ พบว่าปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 10.29 $\pm$ 0.04 โดยน้ำหนักเปียก ปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 0.44 $\pm$ 0.07 โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณเส้นใยเท่ากับร้อยละ 0.33 $\pm$ 0.01 โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 8.42 $\pm$ 0.01 โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 0.52 $\pm$ 0.01โดยน้ำหนักแห้ง และปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 90.30 $\pm$ 0.04 โดยน้ำหนักแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารใหม่ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย $\pm$ เบี่ยงเบนมาตรฐาน*
ความชื้น (%โดยน้ำหนักเปียก)	10.29$\pm$ 0.04
ไขมัน (%)	0.44 $\pm$ 0.07
เส้นใย (%)	0.33 $\pm$ 0.01
โปรตีน (%)	8.42 $\pm$ 0.01
เถ้า (%)	0.52 $\pm$ 0.01
คาร์โบไฮเดรต (%)	90.30 $\pm$ 0.04

* ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวจะขึ้นกับอายุการเก็บเกี่ยว พันธุ์ข้าว พื้นที่และสภาพแวดล้อมในการปลูก และการดูแลรักษาในระหว่างการปลูก ซึ่งจากความแตกต่างของปัจจัยดังกล่าวทำให้องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ เหล่านี้ มีปริมาณไม่เท่ากัน แต่โดยทั่วไปจะไม่แตกต่างกันมากนัก

4.1.2 ปริมาณอะไมโลสในข้าวสารใหม่

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในข้าวสารใหม่ พบว่ามีปริมาณอะไมโลสที่ละลายน้ำร้อนเท่ากับร้อยละ 28.93 $\pm$ 0.04 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง และปริมาณอะไมโลสที่ไม่ละลายน้ำร้อนเท่ากับร้อยละ 2.82 $\pm$ 0.01 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณอะไมโลสในข้าวสารใหม่

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย $\pm$ เบี่ยงเบนมาตรฐาน*
ปริมาณอะไมโลสที่ละลายน้ำร้อน (%)	28.93 $\pm$ 0.04
ปริมาณอะไมโลสที่ไม่ละลายน้ำร้อน (%)	2.82 $\pm$ 0.01

* ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

4.1.3 ปริมาณกรดอะมิโน cysteine และกรดอะมิโน cystine ในข้าวสารใหม่

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโน cysteine และ กรดอะมิโน cystine พบว่ามีปริมาณกรดอะมิโน cysteine เท่ากับ 1.22 $\pm$ 0.01 mg /g rice flour และปริมาณกรดอะมิโน cystine 0.36 $\pm$ 0.01 mg /g rice flour ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณกรดอะมิโน cysteine และกรดอะมิโน cystine ในข้าวสารใหม่

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย $\pm$ เบี่ยงเบนมาตรฐาน*
ปริมาณกรดอะมิโน cysteine (mg /g rice flour)	1.22 $\pm$ 0.01
ปริมาณกรดอะมิโน cystine (mg /g rice flour)	0.36 $\pm$ 0.01

* ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

4.1.4 กิจกรรมของเอนไซม์ protease ในข้าวสารใหม่

จากผลการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ protease ในข้าวสารใหม่ พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ protease เท่ากับ 0.099 $\pm$ 0.003 unit / mg protein ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 กิจกรรมของเอนไซม์ protease ในข้าวสารใหม่

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย $\pm$ เบี่ยงเบนมาตรฐาน*
กิจกรรมของเอนไซม์ protease (unit / mg protein)	0.099 $\pm$ 0.003

* ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

4.1.5 สมบัติทางกายภาพของข้าวสารใหม่

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของข้าวสารใหม่ พบว่าค่าสี ได้แก่ ค่า L เท่ากับ 60.70 $\pm$ 0.34 ค่า a เท่ากับ (-) 0.17 $\pm$ 0.02 ค่า b เท่ากับ (+) 8.15 $\pm$ 0.30 ค่าสี (E) เท่ากับ 61.54 $\pm$ 11.28 ความกว้างของเมล็ดข้าวสารเท่ากับ 2.14 $\pm$ 0.16 มิลลิเมตร ความยาวของเมล็ดข้าวสารเท่ากับ 7.20 $\pm$ 0.27 มิลลิเมตร อัตราส่วนของความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวสารเท่ากับ 3.38 $\pm$ 1.82 พื้นที่ผิวของเมล็ดข้าวสารเท่ากับ 30.87 $\pm$ 0.06 ตารางมิลลิเมตร % water uptake เท่ากับ 72.66 $\pm$ 11.41 % solid loss เท่ากับ 1.32 $\pm$ 0.02 cooking time เท่ากับ 20 นาที และ % degree of gelatinization เท่ากับ 96.88 $\pm$ 0.20 แสดงผลในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สมบัติทางกายภาพของข้าวสารใหม่

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน *
ค่า L	60.70 ± 0.34
ค่า a	(-) 0.17 ± 0.02
ค่า b	(+) 8.15 ± 0.30
ค่า E	61.54 ± 11.28
ความกว้างของเมล็ดข้าวสาร (m.m.)	2.14 ± 0.16
ความยาวของเมล็ดข้าวสาร (m.m.)	7.20 ± 0.27
อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวสาร	3.38 ± 1.82
น้ำหนักข้าวสาร 100 เมล็ด (กรัม)	2.00 ± 0.05
พื้นที่ผิวของเมล็ดข้าวสาร $(m.m.)^2$	30.87 ± 0.06
% water uptake	72.66 ± 11.41
% solid loss	1.32 ± 0.02
cooking time (min)	20.00 ± 0.00
% degree of gelatinization	96.88 ± 0.20

* ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

4.1.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกใหม่

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกใหม่พบว่า hardness เท่ากับ 285.72 ± 23.61 g แสดงผลในตารางที่ 4.6

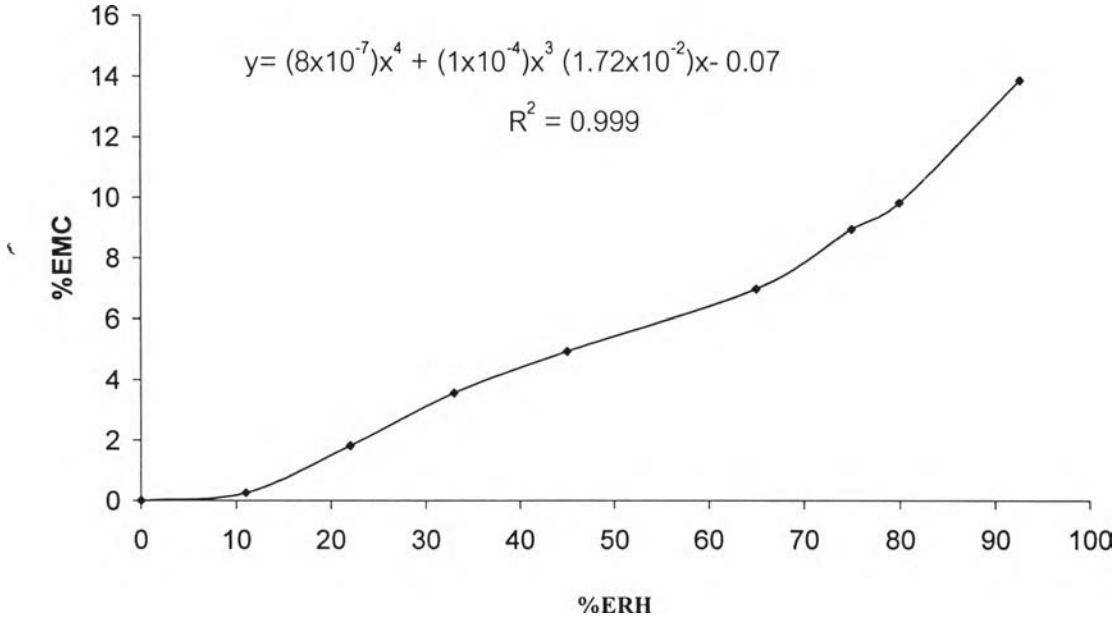
ตารางที่ 4.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกใหม่

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน *
ค่า hardness (g)	285.72 ± 23.61

* ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และความชื้นสมดุลของข้าวสาร

รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (% Equilibrium Relative Humidity, %ERH) และความชื้นสมดุลของข้าวสาร (% Equilibrium Moisture Content , %EMC)



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (% Equilibrium relative humidity, %ERH) และ ความชื้นสมดุล (% Equilibrium moisture content, %EMC) ของข้าวสารที่เก็บในสภาวะที่ปรับความชื้นโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวที่มีค่า a_w ต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.1 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %ERH และ %EMC ให้อยู่ในรูปสมการความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$y= (8x10^{-7})x^4 + (1x10^{-4})x^3 (1.72x10^{-2})x- 0.07,\ R^2 = 0.999 \quad \text{.....(1)}$$

จากเส้นสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถกำหนดภาวะที่ใช้ปรับความชื้นของข้าวสารเป็นประมาณร้อยละ 9 12 และ 15 โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว NaCl (a_w = 0.75), KCl (a_w = 0.842) และ K_2SO_4 (a_w = 0.975) ตามลำดับ เก็บข้าวสารในตู้เก็บข้าวที่ควบคุม %RH ที่อุณหภูมิ 30 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวสารที่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาในการเก็บเป็นเวลา 6 เดือน

4.3 การเปลี่ยนแปลงของข้าวสารตลอดระยะเวลาในการเก็บ

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของข้าวสาร

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสาร พบว่าที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศร้อยละ 75 84.2 และ 97.5 ข้าวสารจะมีความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87 12.22 และ 14.15 ตามลำดับ เมื่อเก็บเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของข้าวที่เก็บโดยมีความชื้นต่างๆ มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.7 -4. 9

ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารที่เก็บรักษาในระหว่าง 0-6 เดือน ที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87 โดยใช้สารละลายอิ่มตัวของ NaCl ($a_w = 0.75$) ในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

เดือน	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักแห้ง)				
	ไขมัน^{ns}	เส้นใย^{ns}	โปรตีน^{ns}	เถ้า^{ns}	คาร์โบไฮเดรต^{ns}
ข้าวสารใหม่	0.44 ± 0.03	0.33 ± 0.01	8.42 ± 0.01	0.52 ± 0.01	90.30 ± 0.04
1	0.44 ± 0.01	0.33 ± 0.01	8.44 ± 0.01	0.52 ± 0.01	90.28 ± 0.03
2	0.44 ± 0.06	0.33 ± 0.01	8.44 ± 0.01	0.52 ± 0.01	90.27 ± 0.01
3	0.44 ± 0.01	0.34 ± 0.01	8.44 ± 0.01	0.52 ± 0.01	90.26 ± 0.01
4	0.45 ± 0.01	0.33 ± 0.01	8.43 ± 0.02	0.52 ± 0.01	90.27 ± 0.04
5	0.44 ± 0.06	0.33 ± 0.01	8.43 ± 0.01	0.51 ± 0.01	90.29 ± 0.03
6	0.43 ± 0.01	0.33 ± 0.01	8.43 ± 0.01	0.51 ± 0.01	90.30 ± 0.03

หมายเหตุ : a,b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

: ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารที่เก็บรักษาในระหว่าง 0-6 เดือน ที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 12.22 โดยใช้สารละลายอิ่มตัวของ KCl (a_w = 0.842) ในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

เดือน	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน (%โดยน้ำหนักแห้ง)				
	ไขมัน^{ns}	เส้นใย^{ns}	โปรตีน^{ns}	เถ้า^{ns}	คาร์โบไฮเดรต^{ns}
ข้าวสารใหม่	0.44 ± 0.03	0.33 ± 0.01	8.42 ± 0.01	0.52 ± 0.01	90.30 ± 0.04
1	0.42 ± 0.01	0.32 ± 0.01	8.44 ± 0.08	0.52 ± 0.02	90.28 ± 0.09
2	0.44 ± 0.01	0.33 ± 0.01	8.42 ± 0.01	0.54 ± 0.01	90.28 ± 0.02
3	0.44 ± 0.01	0.33 ± 0.01	8.43 ± 0.01	0.52 ± 0.01	90.27 ± 0.01
4	0.44 ± 0.01	0.33 ± 0.01	8.42 ± 0.01	0.51 ± 0.01	90.30 ± 0.01
5	0.44 ± 0.01	0.33 ± 0.01	8.44 ± 0.01	0.51 ± 0.01	90.29 ± 0.02
6	0.42 ± 0.01	0.32 ± 0.01	8.43 ± 0.01	0.52 ± 0.01	90.30 ± 0.01

หมายเหตุ : a,b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

: ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4.9 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารที่เก็บรักษาในระหว่าง 0-6 เดือน ที่ความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 14.15 โดยใช้สารละลายอิ่มตัวของ K_2SO_4 (a_w = 0.975) ในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

เดือน	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนักแห้ง)				
	ไขมัน^{ns}	เส้นใย^{ns}	โปรตีน^{ns}	เถ้า^{ns}	คาร์โบไฮเดรต^{ns}
ข้าวสารใหม่	0.44 ± 0.03	0.33 ± 0.01	8.42 ± 0.01	0.52 ± 0.01	90.30 ± 0.04
1	0.45 ± 0.01	0.33 ± 0.01	8.42 ± 0.09	0.51 ± 0.01	90.28 ± 0.15
2	0.44 ± 0.01	0.32 ± 0.01	8.43 ± 0.01	0.52 ± 0.01	90.28 ± 0.01
3	0.45 ± 0.01	0.33 ± 0.01	8.43 ± 0.01	0.52 ± 0.01	90.27 ± 0.01
4	0.44 ± 0.01	0.33 ± 0.01	8.42 ± 0.01	0.52 ± 0.01	90.28 ± 0.03
5	0.43 ± 0.01	0.33 ± 0.01	8.43 ± 0.01	0.52 ± 0.01	90.29 ± 0.03
6	0.42 ± 0.03	0.32 ± 0.01	8.44 ± 0.03	0.52 ± 0.01	90.30 ± 0.01

หมายเหตุ : a,b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

: ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของข้าวที่เก็บที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87, 12.22 และ 14.15 ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Chrastil (1990b) ซึ่งพบว่าปริมาณโปรตีนในข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 เดือน มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในระหว่างการเก็บข้าวที่อุณหภูมิต่างกัน

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลสที่ละลายน้ำร้อน และปริมาณอะไมโลสที่ไม่ละลายน้ำร้อนในข้าวสาร

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณอะไมโลสที่ละลายน้ำร้อน (%AM) และปริมาณอะไมโลสที่ไม่ละลายน้ำร้อน (%IM) ในข้าวสารที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87 12.22 และ 14.15 และเก็บเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าความชื้นของข้าวสารและระยะเวลาในการเก็บมีอิทธิพลร่วมกันในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลสที่ละลายน้ำร้อนและปริมาณอะไมโลสที่ไม่ละลายน้ำร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังผลการวิเคราะห์ทางสถิติในตาราง Anova ที่ จ1 และ จ2 (ภาคผนวก จ) โดยเมื่อเก็บข้าวสารที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยเพิ่มขึ้นที่เวลาการเก็บเท่ากัน พบว่าปริมาณอะไมโลสที่ละลายน้ำร้อนในข้าวสารนี้มีค่าเท่ากับ 28.93 ± 0.04 % ในเดือนแรกและมีแนวโน้มลดลงในเดือนที่ 6 เป็น 28.63 ± 0.01 % 28.47 ± 0.01 % และ 28.41 ± 0.02 % ในข้าวสารที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87 12.22 และ 14.15 ตามลำดับ ส่วนปริมาณอะไมโลสที่ไม่ละลายน้ำร้อนในข้าวสารใหม่มีค่าเท่ากับ 2.82 ± 0.01 % และในเดือนที่ 6 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความชื้นเป็น 3.26 ± 0.00 % 3.28 ± 0.00 % และ 3.33 ± 0.01 % ในข้าวสารที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ย 3 ระดับดังกล่าวตามลำดับ และเมื่อเก็บข้าวสารที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยคงที่ที่เวลาเก็บเพิ่มขึ้น พบว่าปริมาณอะไมโลสที่ละลายน้ำร้อนในข้าวสารมีค่าลดลง ส่วนปริมาณอะไมโลสที่ไม่ละลายน้ำร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.10 และ 4.11

ตารางที่ 4.10 ปริมาณอะไมโลสที่ละลายในน้ำร้อน (%AM) ของข้าวสารที่ระดับความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87, 12.22 และ 14.15 เก็บเป็นเวลานาน 6 เดือน

เดือน	ปริมาณอะไมโลสที่ละลายน้ำร้อน (%)		
	9.87 ± 0.15 %	12.22 ± 0.23 %	14.15 ± 0.64 %
ข้าวสารใหม่^{ns}	28.93 ± 0.04^{a}	28.93 ± 0.04^{a}	28.93 ± 0.04^{a}
1	28.84 ± 0.02^{bA}	28.78 ± 0.01^{bB}	28.75 ± 0.01^{bB}
2	28.81 ± 0.02^{cA}	28.78 ± 0.01^{bB}	28.74± 0.01^{bC}
3	28.79 ± 0.01^{cA}	28.74 ± 0.01^{bcB}	28.69 ± 0.02^{cC}
4	28.73 ± 0.01^{dA}	28.71 ± 0.02^{cA}	28.62 ± 0.01^{dB}
5	28.67 ± 0.02^{eA}	28.57 ± 0.01^{dC}	28.62 ± 0.02^{dB}
6	28.63 ± 0.01^{eA}	28.47 ± 0.01^{eB}	28.41 ± 0.02^{eC}

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

A,B,..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4.11 ปริมาณอะไมโลสที่ไม่ละลายน้ำร้อน (%IM) ของข้าวสารที่ระดับความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87, 12.22 และ 14.15 เก็บเป็นเวลานาน 6 เดือน

เดือน	ปริมาณอะไมโลสที่ไม่ละลายน้ำร้อน (%IM)		
	9.87 ± 0.15 %	12.22 ± 0.23 %	14.15 ± 0.64 %
ข้าวสารใหม่^{ns}	2.82 ± 0.01^{f}	2.82 ± 0.00^{f}	2.82 ± 0.00^{g}
1	2.96 ± 0.01^{eB}	2.97 ± 0.00^{eB}	3.00 ± 0.00^{fA}
2	2.96 ± 0.00^{eC}	3.01 ± 0.00^{dB}	3.02 ± 0.00^{eA}
3	2.99 ± 0.00^{dC}	3.01 ± 0.00^{dB}	3.06 ± 0.00^{dA}
4	3.02 ± 0.00^{cC}	3.04 ± 0.01^{cB}	3.13 ± 0.00^{cA}
5	3.19 ± 0.06^{bB}	3.18 ± 0.01^{bB}	3.30 ± 0.01^{bA}
6	3.26 ± 0.00^{aC}	3.28 ± 0.00^{aB}	3.33 ± 0.01^{aA}

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

A,B,..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

Bhattacharya และคณะ (1978) รายงานผลการวัดปริมาณอะไมโลสที่ละลายน้ำได้ โดยวัดจากค่าสีของสารประกอบเชิงซ้อน amylose-iodine complex ซึ่งมีสีน้ำเงิน อะไมโลสที่ไม่ละลายในน้ำร้อน (Hot water insoluble amylose) มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก โดยข้าวสุกที่ได้จากข้าวสารที่มีปริมาณอะไมโลสที่ไม่ละลายในน้ำร้อนสูงจะมีเนื้อสัมผัสแข็งมากกว่าข้าวสุกที่ได้จากข้าวสารที่มีปริมาณอะไมโลสที่ไม่ละลายในน้ำร้อนต่ำกว่า จากผลการศึกษาของ Indudhara Swamy และคณะ (1978) พบว่าแป้งที่ได้จากข้าวที่ผ่านการเก็บ จะมีปริมาณอะไมโลสที่ละลายในน้ำร้อนได้ลดลง และผลการศึกษาของ Ong และ Blanshard (1995a; 1995b) ที่รายงานว่าปริมาณอะไมโลสที่ถูกชะออกมาจากเม็ดสตาร์ชมีผลโดยตรงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก นั่นคือข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสที่ไม่ละลายในน้ำร้อนสูง มีค่า breakdown ต่ำ แต่ setback สูง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการคืนตัวของแป้งมีค่าสูง ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกมีความแข็งขึ้นและค่า stickiness ของข้าวลดลง และจากผลการศึกษาของ Chrastil (1990b) พบว่าสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสตาร์ชกับโปรตีนที่เกิดขึ้นในระหว่างเก็บข้าวเป็นเวลานาน มีผลทำให้การละลายของอะไมโลสลดลง เม็ดแป้งเกิดการพองตัวได้ต่ำลง ทำให้ peak viscosity และ breakdown มีค่าต่ำลง การเกิดเจลาติไนเซชั่นของแป้งจึงลดลง ส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกมีความแข็งมากขึ้น

4.3.3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดอะมิโน cysteine และ cystine ในข้าวสาร

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณกรดอะมิโน cysteine และกรดอะมิโน cystine ในโปรตีนจากข้าวสารที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87 12.22 และ 14.15 และเก็บเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าความชื้นของข้าวสารและระยะเวลาในการเก็บไม่มีอิทธิพลร่วมกันในการทำให้เกิดการปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอะมิโน cysteine ในข้าวสารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนความชื้นของข้าวสารและระยะเวลาในการเก็บมีอิทธิพลร่วมกันในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอะมิโน cystine อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเมื่อเก็บข้าวสารที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยเพิ่มขึ้นที่เวลาการเก็บเท่ากัน พบว่าปริมาณกรดอะมิโน cysteine มีค่าเพิ่มขึ้นในข้าวสารที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยสูงขึ้นจนถึงเดือนที่ 4 และปริมาณกรดอะมิโนมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเก็บข้าวสารเป็นเวลา 5 เดือนขึ้นไป ส่วนปริมาณกรดอะมิโน cystine เพิ่มขึ้นเป็น 0.54 ± 0.01 mg/g rice flour 0.55 ± 0.00 mg/g rice flour และ 0.61 ± 0.03 mg/g rice flour ในข้าวสารที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87 12.22 และ 14.15 ตามลำดับ และเมื่อเก็บข้าวสารที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยคงที่ที่เวลาการเก็บเพิ่มขึ้น พบว่าปริมาณกรดอะมิโน cysteine ของข้าวสารใหม่มีค่าลดลงในเดือนที่ 6 เป็น 0.93 ± 0.01 mg/g rice flour 0.92 ± 0.01 mg/g rice flour และ 0.92 ± 0.01 mg/g rice flour ที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87 12.22 และ 14.15 ตามลำดับ ส่วนปริมาณกรดอะมิโน cystine ของข้าวสารมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.54 ± 0.01 mg/g rice flour 0.55 ± 0.00 mg/g rice flour และ 0.61 ± 0.03 mg/g rice flour เมื่อเก็บข้าวสารเป็นเวลา 6 เดือน ที่ความชื้นเฉลี่ยสมดุล 3 ระดับดังกล่าว ตามลำดับ ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.12 และ 4.13

ตารางที่ 4.12 ปริมาณกรดอะมิโน cysteine ของข้าวที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87, 12.22 และ 14.15 เก็บข้าวเป็นเวลานาน 6 เดือน

เดือน	cysteine (mg/g rice flour)		
	9.87 ± 0.15 %	12.22 ± 0.23 %	14.15 ± 0.64 %
ข้าวสารใหม่^{ns}	1.22 ± 0.01^{a}	1.22 ± 0.01^{a}	1.22 ± 0.01^{a}
1	1.04 ± 0.03^{bB}	1.07 ± 0.00^{bAB}	1.08 ± 0.02^{bA}
2	1.00 ± 0.00^{cB}	1.07 ± 0.01^{bA}	1.06 ± 0.01^{bcA}
3	0.98 ± 0.03^{cB}	0.97 ±0.01^{cB}	1.05 ± 0.02^{cA}
4	0.96 ± 0.03^{cdB}	0.96 ± 0.02^{cB}	1.01 ± 0.01^{dA}
5^{ns}	0.93 ± 0.03^{d}	0.95 ± 0.03^{c}	0.94 ± 0.01^{e}
6^{ns}	0.93 ± 0.01^{d}	0.92 ± 0.01^{d}	0.92 ± 0.01^{f}

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

A,B,..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4.13 ปริมาณ cystine ของข้าวที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87, 12.22 และ 14.15 เก็บข้าวเป็นเวลา 6 เดือน

เดือน	cystine (mg/g rice flour)		
	9.87 ± 0.15 %	12.22 ± 0.23 %	14.15 ± 0.64 %
ข้าวสารใหม่^{ns}	0.36 ± 0.01^{f}	0.36 ± 0.01^{d}	0.36 ± 0.00^{e}
1	0.41 ± 0.01^{cC}	0.48 ± 0.00^{cB}	0.51 ± 0.01^{dA}
2	0.43 ± 0.02^{dB}	0.54 ± 0.02^{aA}	0.53 ± 0.02^{cdA}
3	0.45 ± 0.00^{cC}	0.51 ± 0.01^{bB}	0.55 ± 0.02^{bcA}
4	0.51 ± 0.00^{bB}	0.51 ± 0.00^{bB}	0.58 ± 0.02^{abA}
5	0.53 ± 0.02^{aB}	0.54 ± 0.01^{aB}	0.59 ± 0.01^{aA}
6	0.54 ± 0.01^{aB}	0.55 ± 0.00^{aB}	0.61 ± 0.03^{aA}

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

A,B,..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าข้าวที่มีความชื้นโดยเฉลี่ยร้อยละ 12-14 และเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 เดือน มีปริมาณกรดอะมิโน cysteine ลดลง แต่ปริมาณกรดอะมิโน cystine เพิ่มขึ้น (Chrastil, 1990b) และจากการผลศึกษาของ Chrastil และ Zarins (1992) พบว่าข้าวที่มีขนาดความยาวของเมล็ดปานกลางและเมล็ดยาวมากที่เก็บที่ความชื้นเพิ่มขึ้นและเก็บเป็นเวลานานขึ้น จะเกิดพันธะ disulfide (-SS-) มากขึ้น โดยพันธะ sulfhydryl ในกรดอะมิโน cysteine ถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนเป็นพันธะ disulfide ในกรดอะมิโน cystine ซึ่งเป็นพันธะที่มีความแข็งแรงมากกว่า sulfhydryl bond ทำให้การละลายของโปรตีนลดลง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Barber (1972); Iwasaki และคณะ (1972); Villareal และคณะ (1976) ซึ่งพบว่าการละลายของโปรตีนที่ละลายในน้ำและเกลือมีปริมาณลดลง โดยเฉพาะโปรตีน Albumin ซึ่งเป็นโปรตีนที่ละลายในน้ำ เนื่องจากการละลายของโปรตีนที่ลดลงดังกล่าวส่งผลให้เม็ดแป้งมีการพองตัวและการเกิดเจลาติไนเซชั่นของแป้งลดลง ดังนั้นเนื้อสัมผัสของข้าวสุกจึงมีความแข็งมากขึ้น

4.3.4 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ protease

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ protease ในข้าวสารที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87, 12.22 และ 14.15 และเก็บที่เวลาการเก็บ 6 เดือน พบว่าความชื้นของข้าวสารและระยะเวลาในการเก็บไม่มีอิทธิพลร่วมกันที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ protease ในข้าวสารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยพบว่าข้าวสารที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยเพิ่มขึ้นที่เวลาการเก็บเท่ากัน กิจกรรมของเอนไซม์ protease มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในเดือนที่ 1 แต่เมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ protease มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความชื้น ดังจะเห็นได้จากกิจกรรมของเอนไซม์ protease ในข้าวสารที่เก็บเป็นเวลานาน 6 เดือน มีค่าเป็น 0.050 ± 0.002 unit/mg protein 0.069 ± 0.001 unit/mg protein และ 0.074 ± 0.003 unit/mg protein ในข้าวสารที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87, 12.22 และ 14.15 ตามลำดับ ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์ protease ของข้าวที่เก็บที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยคงที่ที่เวลาการเก็บเพิ่มขึ้น พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ protease มีแนวโน้มลดลงจาก 0.099 ± 0.003 unit/mg protein เป็น 0.050 ± 0.002 unit/mg protein 0.069 ± 0.001 unit/mg protein และ 0.074 ± 0.003 unit/mg protein ที่ระดับความชื้นสมดุลเฉลี่ย 3 ระดับดังกล่าวตามลำดับ ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ protease ของข้าวที่เก็บที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87, 12.22 และ 14.15 เป็นเวลา 6 เดือน

เดือน	กิจกรรมของเอนไซม์ protease (unit / mg protein)		
	9.87 ± 0.15 %	12.22 ± 0.23 %	14.15 ± 0.64 %
ข้าวสารใหม่^{ns}	0.099 ± 0.003^{a}	0.099 ± 0.003^{a}	0.099 ± 0.003^{b}
1^{ns}	0.103 ± 0.006^{a}	0.103 ± 0.006^{a}	0.109 ± 0.010^{a}
2	0.087 ± 0.001^{bC}	0.092 ± 0.000^{bB}	0.111 ± 0.002^{aA}
3	0.072 ± 0.000^{cC}	0.082 ± 0.000^{cB}	0.100 ± 0.000^{bA}
4	0.064 ± 0.001^{dC}	0.081 ± 0.001^{cB}	0.085 ± 0.002^{cA}
5	0.060 ± 0.003^{dC}	0.078 ± 0.000^{cC}	0.082 ± 0.000^{cA}
6	0.050 ± 0.002^{cC}	0.069 ± 0.001^{dB}	0.074 ± 0.003^{dA}

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

A,B,..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ผลการทดลองในตารางที่ 4.13 สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Barber (1972) ที่พบว่าในข้าวที่เก็บที่ความชื้นร้อยละ 13 14.3 และ 15.7 และเก็บที่อุณหภูมิ 5 25 และ 35 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของเอนไซม์ protease ในส่วนชั้นนอกของเมล็ดข้าว (outer layer) และส่วนนิวเคลียส (residual nucleus) ลดลง อธิบายได้ว่าเอนไซม์มีความสามารถจับกับ substrate ที่บริเวณ active site อย่างจำเพาะเจาะจงและสามารถผันกลับได้ (Chrastil, 1988) ดังนั้น การที่กิจกรรมของเอนไซม์ลดลง อาจเนื่องจากเกิด reversible substrate-receptor inhibitors ในระหว่างเก็บข้าว ซึ่งเป็น substrate ตัวอื่นที่มี receptors ที่ผันกลับได้เพิ่มขึ้น การเข้าจับของเอนไซม์กับ substrate ปกติจึงเกิดได้น้อยลงจนไม่สามารถทำงานได้ ซึ่งมีผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์และ substrate เกิดได้น้อยลง (Chrastil, 1990a) และนอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการเข้าจับของ substrate และ protein (substrate-binding protein) ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเข้าจับกับ substrate ได้จึงมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ protease ในข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาลดลง ส่วนในข้าวที่เก็บที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยเพิ่มขึ้นที่เวลาการเก็บเท่ากัน พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากที่ความชื้นในช่วงร้อยละ 12-15 เป็นระดับความชื้นที่ทำให้การทำงานของเอนไซม์ในการเข้าจับกับ substrate เกิดได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Dhaliwal และคณะ (1991) พบว่าในข้าวที่เก็บที่

ความชื้นร้อยละ 12 เป็นเวลา 12 เดือน มีกิจกรรมของเอนไซม์ protease และปริมาณกรดอะมิโนอิสระเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดอะมิโนอิสระ อาจเกิดเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสในข้าวสารที่เก็บที่สภาวะดังกล่าว มีผลต่อความสามารถในการตัดสายพันธะเปบไทด์ในโปรตีนมากขึ้น ทำให้เกิดปริมาณกรดอะมิโนอิสระในข้าวเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณกรดอะมิโนอิสระเป็นสารตั้งต้นตัวหนึ่งของการเกิดปฏิกิริยา Maillard's nonenzymatic browning ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีในข้าวสารที่ผ่านการเก็บรักษา

4.3.5 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของข้าวสาร

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของข้าวสารที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87 12.22 และ 14.15 และเก็บเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าความชื้นของข้าวสารและระยะเวลาในการเก็บไม่มีอิทธิพลร่วมกันในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า water uptake (%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่มีอิทธิพลร่วมกันในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อค่า solid loss (%) ระดับการเกิดเจลาติไนเซชั่นของข้าวสารและค่าความแตกต่างของสีในข้าวสารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตาราง Anova ที่ จ6 – จ9 ตามลำดับ (ภาคผนวก จ) โดยในข้าวสารที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยเพิ่มขึ้นที่เวลาการเก็บเท่ากันมีค่า water uptake (%) ที่ทุกความชื้นในเดือนที่ 3 และ 5 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนในเดือนที่ 1 2 4 และ 6 มีค่า water uptake ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่า solid loss (%) มีแนวโน้มลดลงตามความชื้น เมื่อหุงข้าวด้วยหม้อหุงข้าวอัตโนมัติโดยใช้ปริมาณข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1 : 2.4 (งามชื่น คงเสรี, 2545) และใช้เวลาในการหุงนาน 20 นาที พบว่า degree of gelatinization (%) ของข้าวมีแนวโน้มลดลง เวลาในการต้มข้าว (cooking time) ที่เหมาะสมที่ทำให้ข้าวสุกทั่วทั้งเมล็ดและค่าความแตกต่างของค่าสี (ΔE) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนข้าวสารที่เก็บที่ระดับความชื้นสมดุลเฉลี่ยใด ๆ ที่เวลาการเก็บเพิ่มขึ้น มีค่า water uptake (%) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ค่า solid loss (%) และ degree of gelatinization (%) ของข้าวมีแนวโน้มลดลง ส่วนเวลาในการต้มข้าวที่เหมาะสมและค่าความแตกต่างของค่าสี (ΔE) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.15-4.19

ตารางที่ 4.15 ค่า water uptake (%) ของข้าวสารที่เก็บเป็นเวลา 6 เดือน ที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87, 12.22 และ 14.15

เดือน	water uptake (%)		
	$9.87 \pm 0.15\%^{ns}$	$12.22 \pm 0.23\%^{ns}$	$14.15 \pm 0.64\%^{ns}$
ข้าวสารใหม่[ns]	72.66 ± 11.41	72.66 ± 11.41	72.66 ± 11.41
1	63.58 ± 4.57^{B}	70.69 ± 4.03^{AB}	75.48 ± 6.23^{A}
2	64.35 ± 6.62^{B}	70.93 ± 5.66^{AB}	76.36 ± 1.03^{A}
3[ns]	65.94 ± 5.45	72.36 ± 1.93	73.14 ± 3.39
4	63.91 ± 1.66^{B}	71.80 ± 1.77^{A}	71.07 ± 1.33^{A}
5[ns]	64.66 ± 0.47	65.78 ± 0.62	67.59 ± 3.49
6	62.56 ± 1.64^{B}	63.00 ± 1.36^{B}	69.35 ± 2.28^{A}

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

A,B,..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ผลการทดลองในตารางที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าค่า water uptake ของข้าวสารที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87 12.22 และ 14.15 ที่เก็บเป็นเวลา 6 เดือน ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และที่เวลาการเก็บเท่ากันในข้าวสารที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยเพิ่มขึ้น พบว่าค่า water uptake มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Villareal และคณะ (1976); Gujral และ Kumar (2003) ซึ่งพบว่าค่า water uptake ของข้าวเก็บที่ความชื้นร้อยละ 14 18 และ 22 เป็นเวลา 6 เดือน เพิ่มขึ้น

Bhattacharya และ Sowbhaya (1971) รายงานว่าเวลา 20 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมในการต้มข้าวและทำให้ข้าวสารในระหว่างการต้มสามารถดูดซับน้ำได้ประมาณร้อยละ 75 โดยน้ำหนักของข้าวสาร และจากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.15 ใช้เวลาในการหุงข้าวเท่ากับ 20 นาที โดยใช้หม้อหุงข้าวอัตโนมัติ พบว่า water uptake ของข้าวที่เก็บนานขึ้นมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับข้าวที่เก็บที่ระยะเวลาสั้นกว่า เนื่องจากสมบัติทางเคมีของข้าวที่ผ่านการเก็บเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีผลทำให้สมบัติทางกายภาพของข้าวมีการเปลี่ยนแปลงไป จากผลการศึกษาของ Charstil (1990b) พบว่าปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่เกิดในข้าวที่เก็บเป็นเวลานาน ทำให้เกิดการเปลี่ยนพันธะ sulfhydryl

(-SH-) ในกรดอะมิโน cysteine เป็นพันธะ disulfide (-SS-) ในกรดอะมิโน cystine โดยพันธะ disulfide ที่เกิดขึ้นดังกล่าวทำให้โปรตีนละลายน้ำได้น้อยลงและเป็นพันธะที่มีความแข็งแรง ดังนั้นทำให้เม็ดแป้งมีความทนทานต่อความร้อนและแรงเฉือนเพิ่มมากขึ้น การพองตัวของเม็ดแป้งต่ำลง ซึ่งมีผลทำให้การเกิดเจลาติไนเซชั่นของแป้งน้อยลง จึงทำให้ water uptake ของข้าวที่เก็บเป็นเวลานานขึ้นมีค่าลดลง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Hamaker (1994) ที่รายงานว่าโปรตีนที่อยู่ในสตาร์ชมีผลต่อลักษณะของเม็ดสตาร์ช กล่าวคือ โปรตีนทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวของเม็ดสตาร์ช ซึ่งมีผลกระทบต่อการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ช ทำให้สตาร์ชมีการดูดซับน้ำ การพองตัวและระดับการเกิดเจลาติไนเซชั่นของแป้งลดลง

ตารางที่ 4.16 ค่า solid loss (%) ของข้าวสารที่เก็บเป็นเวลา 6 เดือน ที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87, 12.22 และ 14.15

เดือน	solid loss (%)		
	9.87 ± 0.15 %	12.22 ± 0.23 %	14.15 ± 0.64 %
ข้าวสารใหม่^{ns}	1.32 ± 0.02^{a}	1.32 ± 0.02^{a}	1.32 ± 0.02^{a}
1	1.28 ± 0.02^{bA}	1.20 ± 0.01^{bB}	1.07 ± 0.02^{bC}
2	1.23 ± 0.02^{cA}	1.17 ± 0.02^{cB}	0.98 ± 0.02^{cC}
3	1.14 ± 0.02^{dA}	1.02 ± 0.02^{dB}	0.96 ± 0.02^{cC}
4	1.07 ± 0.02^{eA}	0.97 ± 0.02^{eB}	0.91 ± 0.02^{dC}
5	1.02 ± 0.01^{eA}	0.93 ± 0.02^{fB}	0.89 ± 0.01^{dC}
6	0.98 ± 0.01^{fA}	0.91 ± 0.01^{fB}	0.83 ± 0.04^{eC}

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

A,B,..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ผลการทดลองของค่า solid loss จากผลการทดลองในตารางที่ 4.16 พบว่าข้าวสารที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยทั้ง 3 ระดับและเก็บเป็นเวลานาน 6 เดือน มีแนวโน้มของค่า solid loss ลดลงตามเวลาในการเก็บ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Villareal และคณะ (1976) ที่พบว่า % extractable solids ของข้าวที่เก็บเป็นเวลา 6 เดือนมีค่าลดลง และผลการศึกษาของ Bhattacharya และ Sowbhaya (1971); Pushpamma และ Reddy (1979) ซึ่งพบว่า solid loss ในข้าวที่ผ่านการเก็บ

เป็นเวลา 1 ปี มีค่าลดลง และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Gujral และ Kumar (2003) พบว่าข้าวที่เก็บที่ความชื้นร้อยละ 14 18 และ 22 เป็นเวลานาน 6 เดือน มีค่า solid loss ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากข้าวที่เก็บนานขึ้นจะมีค่าการดูดซับน้ำลดลงและแป้งเกิดเจลาติไนเซชั่นได้น้อยลงดังสาเหตุที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงมีผล ทำให้ของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าลดลง

ตารางที่ 4.17 Degree of gelatinization ในข้าวสารที่เก็บที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87, 12.22 และ 14.15 เป็นเวลา 6 เดือน

เดือน	degree of gelatinization (%)		
	9.87 ± 0.15 %	12.22 ± 0.23 %	14.15 ± 0.64 %
ข้าวสารใหม่^{ns}	96.88 ± 0.20^{a}	96.88 ± 0.20^{a}	96.88 ± 0.20^{a}
1	92.93 ± 0.14^{bA}	87.90 ± 0.08^{bB}	87.53 ± 0.10^{bC}
2	86.96 ± 0.08^{cA}	85.02 ± 0.25^{cB}	84.98 ± 0.02^{cB}
3	84.78 ± 0.51^{dA}	83.07 ± 0.04^{dB}	83.00 ± 0.04^{dB}
4	82.57 ± 0.04^{eA}	80.25 ± 0.02^{eC}	81.36 ± 0.05^{eB}
5	80.57 ± 0.04^{fA}	78.25 ± 0.02^{fC}	79.57 ± 0.04^{fB}
6	79.45 ± 0.09^{gA}	77.11 ± 0.06^{gC}	79.01 ± 0.21^{gB}

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

A,B,..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

จากผลการศึกษา degree of gelatinization ในตารางที่ 4.17 พบว่า degree of gelatinization มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในข้าวเก็บที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87 ± 0.15 12.22 ± 0.23 และ 14.15 ± 0.64 เป็นเวลา 6 เดือน ข้าวสารใหม่จะมีระดับการเกิดเจลาติไนเซชั่นเท่ากันคือเท่ากับ 96.88 ± 0.20 % และระดับการเกิดเจลาติไนเซชั่นลดลงเมื่อเก็บข้าวนานเป็นเวลา 6 เดือน โดยข้าวสารที่เก็บเป็นเวลา 6 เดือน มีค่า degree of gelatinization เท่ากับ 79.45 ± 0.09 %, 77.11 ± 0.06 % และ 79.01 ± 0.21 % ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Noomhorm และคณะ (1997) พบว่า peak viscosity ของข้าวที่เก็บเป็นเวลา 7 เดือนและ 12 เดือน มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับข้าวสารใหม่ นั่นแสดงว่าการพองตัวของเม็ดแป้งในข้าวที่ผ่านการเก็บมีค่าต่ำกว่าการพองตัวของ

เม็ดแป้งในข้าวสารใหม่ โดยการพองตัวของเม็ดแป้งในข้าวสารที่เก็บเป็นเวลานานลดลงเนื่องจากความสามารถของสตาร์ชในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโปรตีนและไขมันมีมากขึ้น ทำให้การละลายของโปรตีนและอะไมโลสลดลง เม็ดแป้งมีความแข็งแรงและสามารถด้านทานต่อแรงเฉือนและความร้อนในขณะเกิดการเจลาติไนเซชั่นของแป้งได้เพิ่มขึ้น จึงมีผลทำให้ระดับการเกิดเจลาติ-ไนเซชั่นของแป้งในข้าวสารที่เก็บเป็นเวลานานขึ้นมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.18 Cooking time ในข้าวสารที่เก็บที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87, 12.22 และ 14.15 เป็นเวลา 6 เดือน

เดือน	cooking time (min)		
	9.87 $\pm$ 0.15 %	12.22 $\pm$ 0.23 %	14.15 $\pm$ 0.64 %
ข้าวสารใหม่	20	20	20
1	21	21	21
2	22	22	23
3	23	23	24
4	23	23	25
5	29	30	29
6	33	32	33

จากการศึกษา cooking time ที่ใช้ในการต้มข้าวในตารางที่ 4.18 พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นในข้าวที่เก็บที่ความชื้นต่างๆ เป็นเวลานาน 6 เดือน โดยในข้าวสารใหม่ที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87 12.22 และ 14.15 จะใช้เวลาในการต้มข้าวเท่ากันคือเท่ากับ 20 นาที เมื่อเก็บข้าวนานขึ้นเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า cooking time เพิ่มเป็น 33 32 และ 33 นาที ผลการทดลองนี้สามารถอธิบายได้ว่าเกิดจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสและกรดไขมัน และการเกิดพันธะ disulfide ในกรดอะมิโน cystine ดังมีรายละเอียดดังที่กล่าวแล้วข้างต้น

ตารางที่ 4.19 ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ในข้าวสารที่เก็บที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87, 12.22 และ 14.15 เป็นเวลา 6 เดือน

เดือน	ค่าความแตกต่างของสี (ΔE)		
	9.87 ± 0.15 %	12.22 ± 0.23 %	14.15 ± 0.64 %^{ns}
ข้าวสารใหม่^{ns}	*	*	*
1	11.28 ± 1.09^{bB}	13.99 ± 0.87^{cA}	15.43 ± 1.49^{A}
2	11.32 ± 1.05^{bB}	14.19 ± 0.46^{bcA}	15.75 ± 0.98^{A}
3	11.42 ± 1.13^{bC}	14.36 ± 0.12^{bcB}	16.85 ± 0.98^{A}
4	11.53 ± 0.10^{bC}	14.34 ± 0.12^{bcB}	16.94 ± 0.98^{A}
5	12.30 ± 1.28^{abB}	15.48 ± 1.12^{bA}	17.46 ± 1.05^{A}
6	13.43 ± 0.94^{aB}	16.94 ± 1.03^{aA}	17.54 ± 1.27^{A}

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

A,B,..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

* ไม่มีค่าความแตกต่างของสีในข้าวสารใหม่

ในข้าวสารที่เก็บที่ระดับความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87 12.22 และ 14.15 เป็นเวลา 6 เดือน มีค่าความแตกต่างของสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (แสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.20) โดยในข้าวสารที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87 มีค่าความแตกต่างของสีเพิ่มขึ้นจาก 11.28 ± 1.09 ในเดือนที่ 1 เป็น 13.43 ± 0.94 ในเดือนที่ 6 และในข้าวสารที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 12.22 มีค่าความแตกต่างของสีเพิ่มขึ้นจาก 13.99 ± 0.87 ในเดือนที่ 1 เป็น 16.94 ± 1.03 ในเดือนที่ 6 ส่วนค่าความแตกต่างของสีในข้าวสารที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 14.15 ที่เดือนที่ 1 และเดือนที่ 6 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) สันนิษฐานได้ว่าการเกิดการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นผลจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดได้สูงสุดในช่วง a_w ประมาณ 0.6 – 0.8 (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) และตัวอย่างในการทดลองนี้มีค่า a_w เท่ากับ 0.75 จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีในข้าวสารที่เก็บที่ความชื้นดังกล่าว จากผลการศึกษาของ Barber (1972) พบว่าข้าวที่เก็บที่ระดับความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 12.9 13.7 และ15.6 เป็นเวลานาน 10 เดือน มีค่า L ลดลง ส่วนค่า a และ b เพิ่มขึ้น ซึ่งการ

เปลี่ยนแปลงของสีในข้าวที่ผ่านการเก็บรักษานั้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา Maillard's nonenzymatic browning ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากหมู่เอมีนในกรดอะมิโนทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลในน้ำตาลรีดิวซ์ โดยความแตกต่างของสีที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นกับปริมาณของกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่ทำให้เกิดสี ซึ่งมีรายงานว่าข้าวที่ผ่านการเก็บจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของข้าวเล็กน้อย จากปฏิกิริยา hydrolysis หรือ degradation ซึ่งมีผลทำให้ reducing sugar เพิ่มขึ้น และ non-reducing sugar และ starch ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Barber et al, 1968; Pushpamma and Reddy, 1979) และจากการศึกษาของ Dhaliwal และคณะ (1991) พบว่าปริมาณกรดอะมิโนอิสระมีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บข้าวที่ความชื้นร้อยละ 12 เป็นเวลา 12 เดือน โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดอะมิโนอิสระ อาจเกิดเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสในระหว่างการเก็บข้าวสาร และทำให้สามารถตัดสายพันธะเปบไทด์ในโปรตีนมากขึ้น ทำให้เกิดปริมาณกรดอะมิโนอิสระในข้าวเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (Maillard's nonenzymatic browning) จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเพิ่มมากขึ้นในข้าวสารที่เก็บเป็นเวลานานขึ้น

4.3.6 การเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก ได้แก่ ค่า hardness ในข้าวสารที่เก็บที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87 12.22 และ 14.15 และเก็บเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าความชื้นของข้าวสารและระยะเวลาในการเก็บมีอิทธิพลร่วมกันในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า hardness ของข้าวสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่า hardness ของข้าวสารที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87 และเก็บนานเป็นเวลา 6 เดือน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนในข้าวสารที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 12.22 พบว่ามีค่า hardness เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาการเก็บ 0-3 เดือน และหลังการเก็บข้าวเป็นเวลา 3 เดือนขึ้นไป พบว่าค่า hardness มีแนวโน้มลดลง ส่วนในข้าวสารที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 14.15 พบว่าค่า hardness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาการเก็บ 0-3 เดือน และในเดือนที่ 5 แต่มีแนวโน้มลดลงในเดือนที่ 4 และ 6 ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงค่า hardness ของข้าวสุกที่ได้จากข้าวสารที่เก็บที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87, 12.22 และ 14.15 เป็นเวลา 6 เดือน

เดือน	ค่า hardness (g)		
	9.87 ± 0.15 %	12.22 ± 0.23 %	14.15 ± 0.64 ^{ns} %
ข้าวสารใหม่^{ns}	285.72 ± 23.61^{ab}	285.72 ± 23.61^{d}	285.72 ± 23.61^{c}
1	267.36 ± 10.70^{bB}	311.60 ± 26.98^{cdAB}	284.80 ± 23.70^{cA}
2^{ns}	309.30 ± 27.20^{ab}	335.40 ± 28.48^{c}	339.00 ± 50.57^{b}
3	304.13 ± 28.00^{abB}	425.10 ± 15.30^{aA}	382.40 ± 55.40^{aA}
4	332.70 ± 33.60^{aB}	411.80 ± 36.40^{abA}	262.70 ± 20.40^{cC}
5	331.70 ± 28.20^{aB}	382.00 ± 49.10^{bA}	370.40 ± 2.90^{aAB}
6^{ns}	314.00 ± 56.00^{ab}	292.82 ± 19.30^{cd}	280.30 ± 12.40^{c}

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

A,B,..ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.20 พบว่าค่า hardness ของข้าวสุกที่ได้จากข้าวสารที่เก็บที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87 12.22 และ 14.15 ที่เวลาการเก็บเป็นเวลา 6 เดือน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเก็บ และมีค่าลดลงเมื่อเวลาเก็บนานขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่า hardness ในช่วงแรกเกิดจากการลดลงของปริมาณอะไมโลสที่ละลายน้ำร้อน โดยการลดลงของอะไมโลสที่ละลายน้ำร้อนนั้น มีผลให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวได้ต่ำลง การเกิดเจลาติไนเซชั่นของแป้งจึงลดลง ส่งผลให้ข้าวสุกมีความแข็งมากขึ้น นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของพันธะ sulfhydryl ในกรดอะมิโน cystein ไปเป็นพันธะ disulfide ในกรดอะมิโน cystine ซึ่งมีผลทำให้โปรตีนละลายน้ำได้ลดลง ส่งผลให้ความแข็งแรงของเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น เม็ดแป้งจึงมีความทนทานต่อแรงเฉือนและความร้อนได้ดีในขณะแป้งเกิดเจลาติไนเซชั่น ระดับการเกิดเจลาติไนเซชั่นของแป้งเกิดได้น้อยลง มีผลให้ข้าวสุกมีความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนค่า hardness ที่มีแนวโน้มลดลงในช่วงหลังของการเก็บนั้น สันนิษฐานได้ว่าอาจเกิดจากการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ amylase โดยจากรายงานผลการวิจัยของ Barber (1972) พบว่าความเร็วเริ่มต้น (The apparent initial velocities) ของ

เอนไซม์ในข้าวมีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บ แต่ความจำเพาะเจาะจงของกิจกรรมของเอนไซม์มีค่าเท่าเดิม (Chrastil, 1990a; 1991) ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าในข้าวสารที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 12.22 และ 14.15 ที่เวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น มีเอนไซม์เข้าจับกับ substrate บริเวณ active site เพิ่มขึ้น กิจกรรมของเอนไซม์และการตัดสายพันธะ α-1,4-glycosidic จึงเกิดได้เพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลให้ค่าความแข็งของข้าวสุกลดลงและนอกจากนี้ยังพบว่า ข้าวสุกที่ได้จากข้าวสารที่เก็บที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 12.22 และ 14.15 ที่เวลาการเก็บข้าว 6 เดือน มีค่าความแข็งลดลง เมื่อเทียบกับข้าวสุกที่ได้จากข้าวสารที่มีความชื้นสมดุลเฉลี่ยร้อยละ 9.87 ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยเพิ่มขึ้น การทำงานของเอนไซม์เกิดได้ดีกว่าที่ความชื้นสมดุลเฉลี่ยต่ำกว่า ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Tamaki และคณะ (1993) ที่พบว่าข้าวสุกที่ได้จากข้าวสารที่เก็บที่ความชื้นร้อยละ 12 จะมีค่า hardness สูงกว่าข้าวสุกที่ได้จากข้าวสารที่เก็บที่ความชื้นร้อยละ 15 และ 18 และ Mellenet และคณะ (1999) ที่พบว่าข้าวสุกที่ได้จากข้าวสารที่เก็บที่ความชื้นเพิ่มขึ้นจะมีค่า hardness ลดลงจากข้าวสุกที่ได้จากข้าวสารที่เก็บที่ความชื้นต่ำกว่า