บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพบางประการของข้าวสาร

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการแสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าข้าวพันธุ์ ก.วก. 1 เป็นข้าวจาปอนิกาที่มีปริมาณอมัยโลสร้อยละ 17.12 จัดเป็นข้าวที่มีระดับอมัยโลสต่ำ ส่วนข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงเป็นข้าวอินดิกาที่มีปริมาณอมัยโลสร้อยละ 26.36 จัดเป็นข้าวที่มีระดับอมัยโลสสูง (Juliano, 1993) สำหรับปริมาณโปรตีนมีความใกล้เคียงกัน ได้แก่ ร้อยละ 8.07 และ 7.88 ตามลำดับ เช่นเดียวกับปริมาณไขมันซึ่งมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 0.68 และ 1.10 ตามลำดับ นอกจากนี้ข้าวทั้งสองพันธุ์ยังปริมาณไอโอดีนในระดับที่ต่ำมาก ได้แก่ 4.41 และ 6.92 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม ซึ่งนับเป็นปริมาณที่ต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการไอโอดีนของร่างกายมนุษย์ในหนึ่งวันซึ่งเท่ากับ 150 ไมโครกรัม (กรมอนามัย, 2532)

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมีบางประการ * ของข้าวสาร

คุณลักษณะ**	พันธุ์ข้าว	
	ก.วก. 1	เฉี้ยงพัทลุง
ความชื้น, ร้อยละ	9.02 ± 1.52	8.38 ± 0.81
โปรตีน, ร้อยละ	8.07 ± 0.10	7.88 ± 0.06
ไขมัน, ร้อยละ	0.68 ± 0.10	1.10 ± 0.13
อมัยโลส, ร้อยละ	17.12 ± 0.41	26.36 ± 0.62
ไอโอดีน, ร้อยละ (ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม)	4.41 ± 0.32	6.92 ± 0.11

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ

** ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยต่อน้ำหนักแห้งยกเว้นปริมาณความชื้น

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพบางประการแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าข้าวพันธุ์ ก.วก. 1 มีความยาวเมล็ด 4.96 มิลลิเมตร จัดเป็นข้าวเมล็ดสั้น ข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงมีความยาวเมล็ด 6.63 มิลลิเมตร จัดเป็นข้าวเมล็ดยาว

ค่าการสลายตัวในด่างของเมล็ดข้าวแบ่งออกได้เป็น 7 ระดับ (งามชื่น คงเสรี, 2545) ตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเมล็ดที่แช่ในด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.7 เป็นเวลา 23 ชั่วโมง ค่าการสลายตัวในด่างนี้มักใช้ในการประมาณค่าอุณหภูมิแป้งสุก จากการทดลองพบว่าข้าวพันธุ์ ก.วก. 1 มีระดับค่าการสลายตัวในด่างสูง คือ 6 ดังนั้นจะมีช่วงอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ คือ ต่ำกว่า 65 องศาเซลเซียส ข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง มีค่าการสลายตัวในด่างต่ำ คือ 3 ดังนั้นจะมีช่วงอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ คือ สูงกว่า 75 องศาเซลเซียส สำหรับค่าปริมาตรและค่าดัชนีความขาวของข้าวทั้งสองพันธุ์มีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพบางประการของข้าวสาร

คุณลักษณะ	พันธุ์ข้าว	
	ก.วก. 1	เฉี้ยงพัทลุง
ความยาวเมล็ด (มิลลิเมตร)	4.96 $\pm$ 0.23	6.63 $\pm$ 0.09
ปริมาตร (มิลลิลิตร/กรัม)	1.06 $\pm$ 0.02	1.15 $\pm$ 0.01
ค่าการสลายตัวในด่าง*	6	3
อุณหภูมิแป้งสุก (^{o}C)**	< 69	> 74
ค่าดัชนีความขาว***	68.83 $\pm$ 1.21	68.70 $\pm$ 0.51

* เกณฑ์การให้คะแนน, 1 = เมล็ดไม่เปลี่ยนแปลง, 2 = เมล็ดพองตัว, 3 = เมล็ดพองตัวและมีแป้งออกมาบางส่วน, 4 = เมล็ดพองตัวและมีแป้งออกมาเป็นบริเวณกว้าง, 5 = ผิวเมล็ดข้าวปริทางขวางหรือยาวและมีแป้งออกมาเป็นบริเวณกว้าง, 6 = เมล็ดข้าวสลายตัวตลอดเมล็ด มีลักษณะเป็นเมือกขุ่นขาว, 7 = เมล็ดข้าวสลายตัวตลอดเมล็ด มีลักษณะเป็นเมือกใส

** ค่าที่ได้จากการประมาณจากคะแนนการสลายตัวในด่าง, 1-3 = อุณหภูมิแป้งสุกสูง, > 74 องศาเซลเซียส, 4-5 = อุณหภูมิแป้งสุกปานกลาง, 70-74 องศาเซลเซียส และ 1-3 = อุณหภูมิแป้งสุกต่ำ, ต่ำกว่า 69 องศาเซลเซียส

*** ค่าที่ได้จากการคำนวณ, ดัชนีความขาว = $100 - \sqrt{(100-L)^2 + a^2 + b^2}$

4.2 สภาวะการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว

การเตรียมข้าวหุงสุกเร็วในงานวิจัยนี้ ใช้วิธี Soak-Boil/Steam-Dry ดัดแปลงจาก Smith และคณะ (1985) และ Ghosh และ Mukherjee (1988) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ได้แก่ การแช่ข้าว การให้ความร้อนโดยการต้มในน้ำเดือดและการทำแห้งโดยลมร้อน ในงานวิจัยนี้มุ่งหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวแต่ละพันธุ์ที่มีความแตกต่างทางด้านสมบัติทางเคมีและกายภาพ คือ พันธุ์ ก.วก. 1 และเฉี้ยงพัทลุง

4.2.1 สภาวะการแช่ข้าว

นำตัวอย่างข้าวสาร 50 กรัม มาแช่ในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร โดยควบคุมอุณหภูมิโดยแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ เมื่อครบกำหนดเวลา สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและอัตราการขยายตัว ผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ข้าวกว.ก. 1

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติพบว่า อุณหภูมิการแช่ เวลาการแช่ และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิการแช่และเวลาการแช่มีผลต่อปริมาณความชื้นและอัตราการขยายตัวของข้าวพันธุ์ ก.วก. 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ดังแสดงในตารางที่ 4.3

เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้น พบว่าที่ระดับอุณหภูมิการแช่เดียวกัน ปริมาณความชื้นจะสูงขึ้นตามระยะเวลาการแช่ข้าวที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อใช้ระยะเวลาการแช่เท่ากัน อุณหภูมิการแช่ที่สูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการเพิ่มของปริมาณความชื้นเมล็ดจะสูงขึ้นด้วย (รูปที่ 4.1) สอดคล้องกับการทดลองของ Li และคณะ (1976) และ Smith และคณะ (1985) ที่อุณหภูมิการแช่ 30 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณความชื้นจะเข้าสู่สมดุลที่ประมาณร้อยละ 30 ที่เวลาประมาณ 30 นาที สอดคล้องกับผลการทดลองของ Ozai และ Durrani (1948)

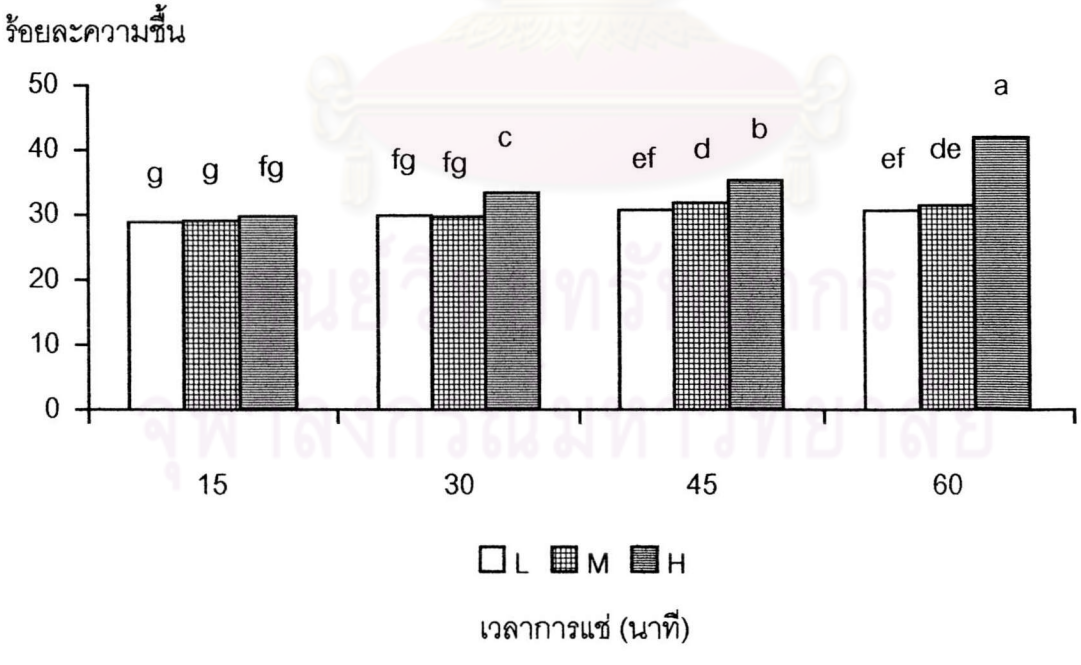
การแช่ข้าวในน้ำปริมาณเกินพอ น้ำจะแทรกตัวเข้าไปในเมล็ดข้าวผ่านทางรอยแตก (crack) ที่เกิดขึ้นในระหว่างการแช่น้ำ (Desikacher และ Subrahmanyan,1961) รอยแตกที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ (Lan และ Kunze, 1996) และรอยแตกที่เกิดในขั้นตอนการทำแห้งข้าวเปลือกเพื่อลดความชื้นเมล็ดก่อนการขัดสี (Horigane, 1999) น้ำจะเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลในบริเวณส่วนอสัณฐาน (amorphous) ในเม็ดสตาร์ช อย่างไรก็ตามน้ำจะแทรกตัวเข้าสู่ในเม็ด สตาร์ชได้อย่างจำกัดในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization

temperature) ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวโดยมีลักษณะแบบ reversible process ในขณะที่อุณหภูมิการแช่ข้าว 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเข้าใกล้อุณหภูมิแป้งสุกของข้าวพันธุ์ ก.วก.1 (ต่ำกว่า 65 องศาเซลเซียส) พบว่าข้าวจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นสูง โดยสภาวะการแช่ที่ 60 องศาเซลเซียส เป็น 60 นาที ข้าวจะมีปริมาณความชื้นสูงที่สุดคือร้อยละ 41.87 อาจเนื่องจากการแช่ข้าวที่ระดับอุณหภูมิแป้งสุกหรืออุณหภูมิใกล้เคียง พลังงานความร้อนจะเข้าไปทำลายพันธะไฮโดรเจนของพอลิเมอร์ภายในเม็ดสตาร์ชได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียส โมเลกุลน้ำจะเข้าไปแทนที่ได้มากขึ้นและสร้างพันธะกับพอลิเมอร์นั้นแทน

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นและอัตราการขยายตัวของข้าวสารพันธุ์ ก.วก.1 ที่แช่ในน้ำที่สภาวะแตกต่างกัน

SOV	ปริมาณความชื้น	อัตราการขยายตัว
อุณหภูมิการแช่ (A)	**	**
เวลาการแช่ (B)	**	**
A x B	**	**

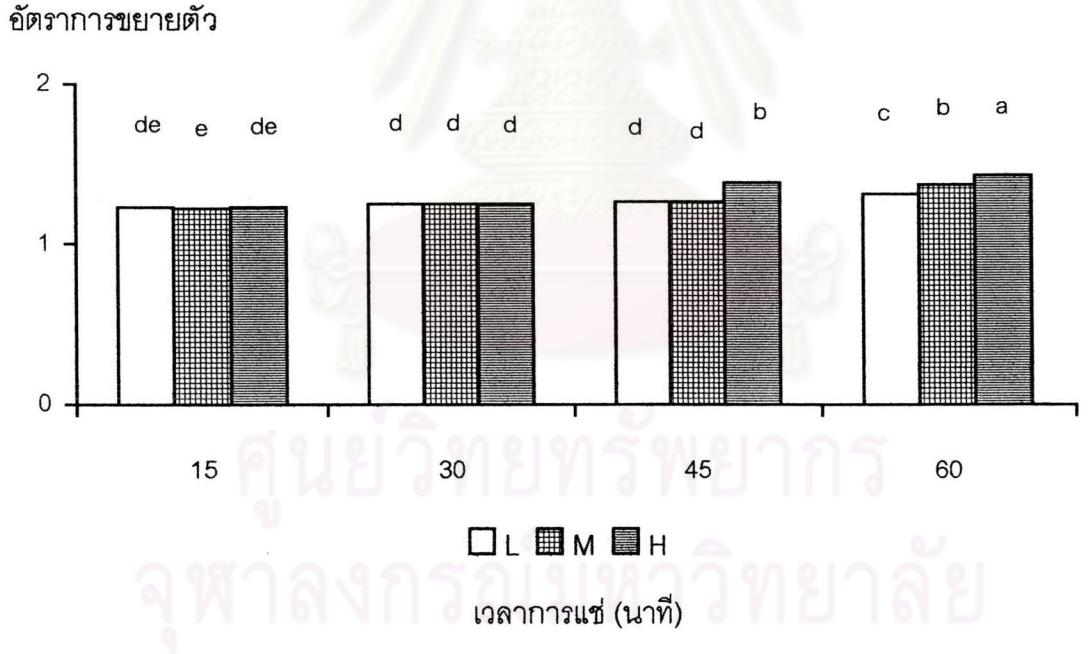
** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)



รูปที่ 4.1 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและเวลาการแช่ ต่อปริมาณความชื้นของข้าวสารพันธุ์ ก.วก. 1
L, M, H = อุณหภูมิการแช่ที่ 30 45 และ60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
a,b,...อักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและเวลาการแช่ต่ออัตราการขยายตัวของข้าวพันธุ์ ก.วก.1 แสดงดังรูปที่ 4.2 ที่เวลาการแช่ 15 และ 30 นาที จะไม่พบความแตกต่างของอุณหภูมิการแช่ ต่ออัตราการขยายตัว ขณะที่เมื่อใช้เวลาการแช่ 45 นาที อัตราการขยายตัวของข้าวพันธุ์ ก.วก.1 ที่แช่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะมีอัตราการขยายตัวเพิ่มสูงกว่าอีกสองอุณหภูมิ อาจเนื่องจากที่อุณหภูมิการแช่ต่ำที่กว่า น้ำจะเข้าไปเม็ดสตาร์ชได้อย่างจำกัด ทำให้เมล็ดข้าวขยายตัวออกได้น้อยกว่า ขณะที่การแช่ที่อุณหภูมิสูงน้ำสามารถเข้าไปเม็ดสตาร์ชได้มากกว่าเมล็ดข้าวจึงขยายตัวได้มากกว่า

จากผลการทดลองข้างต้นสภาวะการแช่สำหรับข้าวพันธุ์ก.วก.1 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ข้าวมีปริมาณความชื้นสูงถึง ร้อยละ 30 แต่เนื่องจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างเวลาการแช่ 15 และ 30 นาที จึงเลือกสภาวะการแช่ที่ 30 องศาเซลเซียส 15 นาที สำหรับแช่ข้าวพันธุ์ก.วก.1 เพื่อเป็นการเตรียมเมล็ดก่อนการให้ความร้อน



รูปที่ 4.2 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและเวลาการแช่ต่ออัตราการขยายตัวของข้าวสารพันธุ์ ก.วก. 1
L, M, H = อุณหภูมิการแช่ที่ 30 45 และ60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
a,b,...อักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวเฉี้ยงพัทลุง

ผลการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นและอัตราการขยายตัวของข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง ที่ใช้สภาวะการแช่ที่มีอุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าเวลาการแช่มีผลต่อปริมาณความชื้นของข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นและอัตราการขยายตัวของข้าวสารพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงที่แช่ในน้ำที่สภาวะแตกต่างกัน

SOV	ปริมาณความชื้น	อัตราการขยายตัว
อุณหภูมิการแช่ (A)	ns	ns
เวลาการแช่ (B)	*	ns
A x B	ns	ns

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

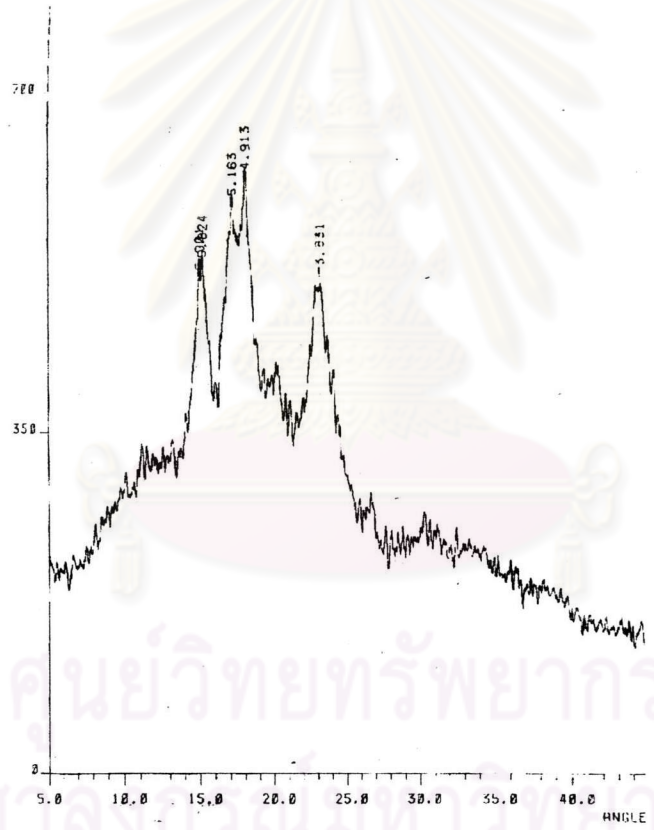
ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปริมาณความชื้นของข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง จะเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการแช่ (ตารางที่ 4.5) อย่างไรก็ตาม พบว่าปริมาณความชื้นในเมล็ดมีความแตกต่างตามระยะเวลาการแช่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น อาจเนื่องมาจากระดับอุณหภูมิการแช่ที่ใช้ในการทดลองนี้อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าอุณหภูมิแป้งสุกของข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง (สูงกว่า 75 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้โมเลกุลน้ำจึงซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดได้อย่างจำกัด ปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงจะเข้าสู่สมดุลที่ประมาณร้อยละ 26 ซึ่งต่ำกว่าผลการทดลองของ Ozai-Durrani (1948) และ Li และคณะ, 1976 อาจเนื่องมาจากข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงมีความเป็นผลึกสูงซึ่งดูได้จากผลการศึกษาโครงสร้างผลึก (crystalline structure) ดังรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.5 ผลของเวลาการแช่ที่มีต่อปริมาณความชื้นของข้าวสารพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง

เวลาการแช่	ปริมาณความชื้น[1]
15	25.51[b]
30	25.88[ab]
45	26.14[a]
60	26.16[a]
LSD (0.05)	0.46

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.3 โครงสร้างผลึกของข้าวสารพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง

สำหรับค่าอัตราการขยายตัวของข้าว พบว่าอุณหภูมิการแช่ เวลาการแช่ รวมทั้งอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิการแช่และเวลาการแช่ ไม่มีผลต่อค่าอัตราการขยายตัวของข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และค่าอัตราการขยายตัวที่ได้ค่อนข้างต่ำ (1.13 – 1.15) ซึ่งอาจเกิดจากการที่น้ำแทรกเข้าสู่เมล็ดได้น้อย จึงมีการขยายตัวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

I21939287

เมื่อพิจารณาค่าปริมาณความชื้นและอัตราการขยายตัวจากผลการทดลองซึ่งมีค่าแตกต่างกันน้อยมาก จึงเลือกสภาวะการแช่ ที่30 องศาเซลเซียส 15 นาทีสำหรับข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงในการเตรียมเมล็ดข้าวก่อนให้ความร้อนต่อไป

4.2.2 สภาวะให้ความร้อนข้าวโดยการต้ม

ข้าวสารพันธุ์ก.วก. 1 และเฉี้ยงพัทลุง 50 กรัม ที่ผ่านการแช่น้ำในสภาวะที่เลือก คือ แช่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำมาศึกษาสภาวะการให้ความร้อน โดยการต้มข้าวในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส 300 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 – 10 นาที ได้เป็น Precooked rice ที่มีระดับการสุกแตกต่างกัน สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์การเกิดเจลาติไนเซชันและสัดส่วนการดูดน้ำกลับ (Rehydration ratio)

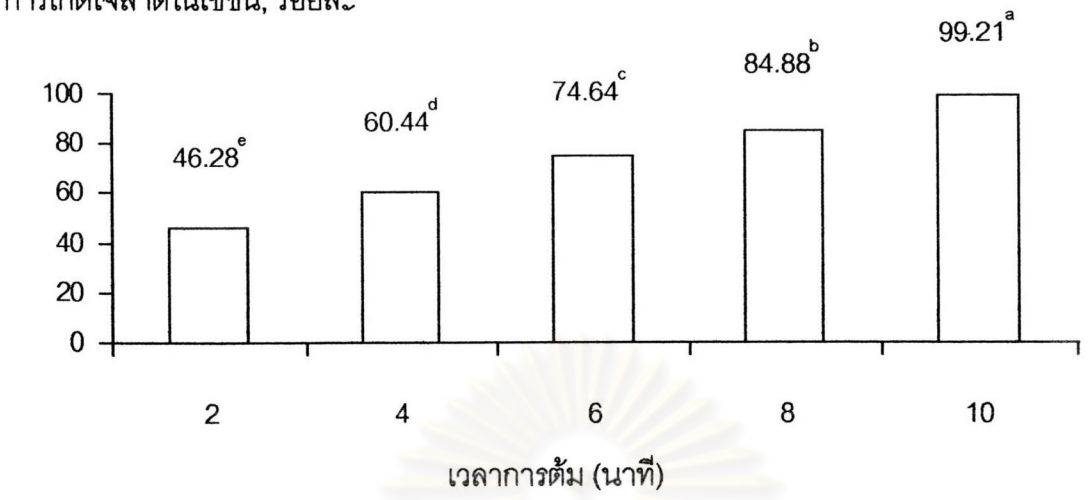
ข้าวกว.ก. 1

เมื่อพิจารณาค่าเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวพันธุ์ ก.วก.1 (รูปที่ 4.6) พบว่า เวลาการต้มมีผลต่อค่าเกิดการเจลาติไนเซชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าเกิดเจลาติไนเซชันจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการให้ความร้อนข้าว ดังรูปที่ 4.4 เมื่อต้มข้าวในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ข้าวจะสุกโดยสมบูรณ์ (ร้อยละค่าเกิดการเจลาติไนเซชัน เท่ากับ 99.21) เมื่อข้าวได้รับความร้อนนั้นสตาร์ชจะเกิดการเจลาติไนเซชัน และผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อที่ผิวเมล็ดบางส่วนจะถูกทำลาย (Pascual และ Juliano, 1983)

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการเกิดเจลาติไนเซชันและสัดส่วนการดูดน้ำกลับของข้าวพันธุ์ ก.วก.1 ที่ผ่านสภาวะการให้ร้อนโดยต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาแตกต่างกัน

SOV	ปริมาณความชื้น	อัตราการขยายตัว
เวลาการต้ม	**	**

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

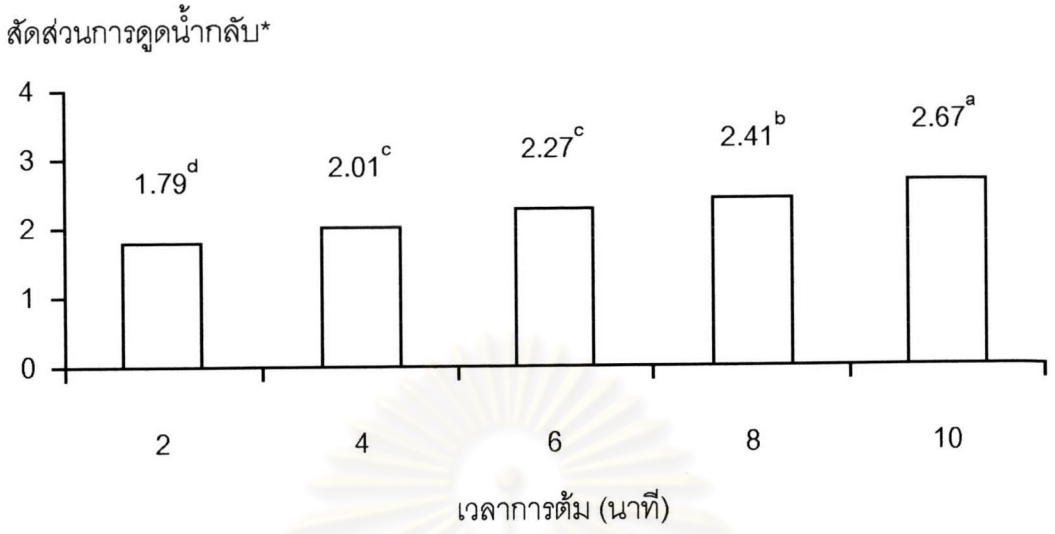


รูปที่ 4.4 ค่าการเกิดเจลาติไนเซชันของ Precooked rice พันธุ์ ก.วก.1 ที่ผ่านสภาวะการให้ร้อนโดยต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาแตกต่างกัน

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สำหรับค่าการดูดกลืนน้ำกลับซึ่งเป็นค่าที่แสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรเมล็ดข้าว พบว่าจะเพิ่มสูงขึ้นตามระยะ เวลาการต้มที่เพิ่มขึ้น จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าระยะเวลาการต้ม มีผลต่อค่าการดูดกลืนน้ำกลับของข้าวพันธุ์ก.วก. 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าการดูดกลืนน้ำกลับ จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการต้ม ดังรูปที่ 4.5

จากการทดลองของ Horigane และคณะ (1999) ซึ่งติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อให้ความร้อนโดยการต้มเมล็ดข้าวจาปอนิกาพันธุ์ koshihikari โดยศึกษาจากภาพถ่าย NMR micro image พบว่าในระหว่างการให้ความร้อนข้าว ที่อุณหภูมิ 45 และ 65 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิแป้งสุกของข้าว เมล็ดข้าวดูดซึมน้ำเข้าไปผ่านทางโดยรอยแตกของเมล็ด จากภาพถ่ายจะพบว่าน้ำจะอยู่ในส่วนของช่องว่างภายในเมล็ดและบางส่วนของเนื้อเมล็ดที่ติดกับส่วนบริเวณของคัภพะ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นที่ 85 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำที่อยู่ในเมล็ดจะถูกดูดซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อ และบริเวณส่วนผิวของเมล็ดจะเริ่มเกิดการเจลาติไนเซชัน โดยส่วนของข้าวที่การเกิดเจลาติไนเซชันจะเพิ่มมากขึ้นจากบริเวณผิวเมล็ดเข้าไปสู่ส่วนกลางเมล็ดตามเวลาการต้มที่เพิ่มขึ้น และยังพบว่ามีช่องว่าง (hollows) เกิดขึ้นภายในเมล็ดข้าว ซึ่งพัฒนาขึ้นมาจากรอยแตกของเมล็ดนั่นเอง (รูปที่ 4.6) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ogawa และคณะ (2003) ซึ่งศึกษาโครงสร้างเมล็ดข้าวที่ได้รับความร้อนโดยเทคนิค SEM



รูปที่ 4.5 สัดส่วนการดูดน้ำกลับของ Precooked rice พันธุ์ ก.วก.1 ที่ผ่านสภาวะการให้ร้อนโดยต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาแตกต่างกัน

* ค่าที่ได้จากการคำนวณ, สัดส่วนการดูดน้ำกลับ = น้ำหนักของ Precooked rice/น้ำหนักข้าวเริ่มต้น

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.6 ภาพถ่าย NMR micro image 2มิติ ของข้าวพันธุ์ Koshihikari ที่นำมาต้มและสุ่มมาวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส (ส่วนสีดำเป็นช่องว่างหรือโพรงภายในเมล็ดข้าว)

ที่มา Horigane และคณะ (1999)

<u>ข้าวเฉี้ยงพัทลุง</u>

ผลการทดลองการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวเฉี้ยงพัทลุงที่ต้มในน้ำเดือดเป็นเวลาต่าง ๆ พบว่า เวลาการต้มมีผลต่อเกิดการเจลาติไนเซชันของข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.7 โดยค่าการเกิดเจลาติไนเซชันเพิ่มสูงตามตามระยะเวลาการต้มที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.7) จากการทดลองเมื่อต้มข้าวในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ข้าวจะสุกโดยสมบูรณ์ (ร้อยละค่าเกิดการเจลาติไนเซชัน เท่ากับ 99.80) เช่นเดียวกับพันธุ์ ก.วก.1

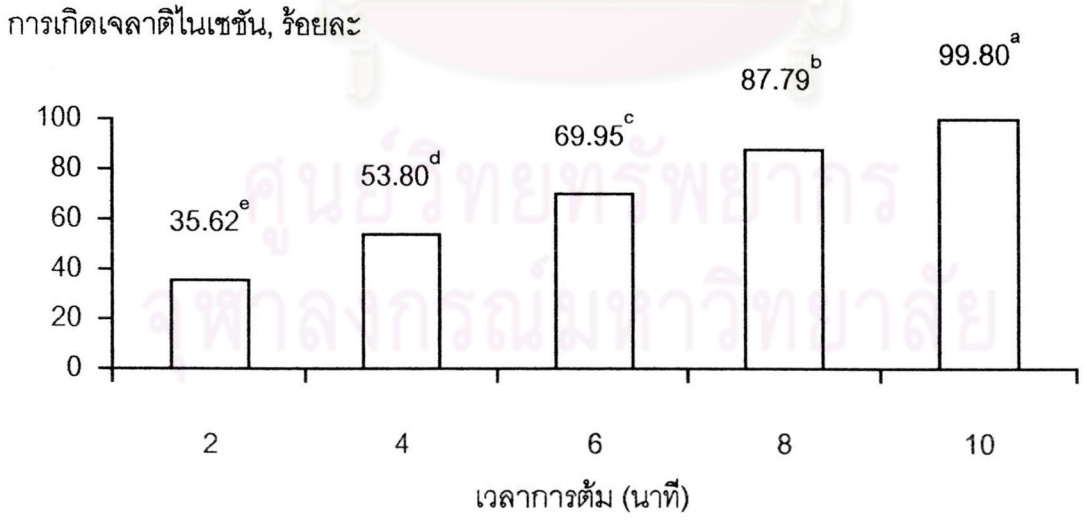
ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการเกิดเจลาติไนเซชันและสัดส่วนการดูดน้ำกลับของข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงที่ผ่านสภาวะการให้ร้อนโดยต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาแตกต่างกัน

SOV	ปริมาณความชื้น	อัตราการขยายตัว
เวลาการต้ม	**	**

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

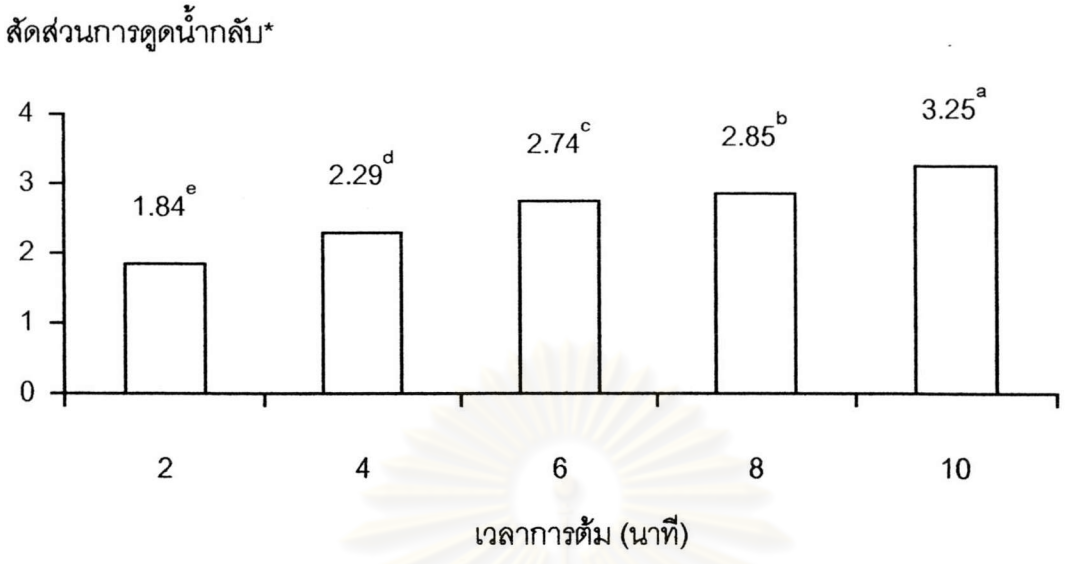
เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับของข้าวเฉี้ยงพัทลุง จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าระยะเวลาการต้ม มีผลต่อค่าการดูดกลืนน้ำกลับของข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.7 โดยค่าการดูดกลืนน้ำกลับ จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการต้ม (รูปที่ 4.8) เช่นเดียวกับพันธุ์ ก.วก.1 อย่างไรก็ตามพบว่าค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับของข้าวเฉี้ยงพัทลุงสูงกว่าของข้าวพันธุ์กว.ก. 1

ในงานวิจัยของ Horigane และคณะ (2000) ซึ่งศึกษาการดูดซึมน้ำ (water absorption) ระหว่างการหุงต้มในสภาวะที่มีน้ำมากเกินพอนั้นของข้าวจำนวน 5 พันธุ์ที่มีปริมาณอมัยโลสแตกต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันตามสายพันธุ์ของข้าว แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณอมัยโลส



รูปที่ 4.7 ค่าการเกิดเจลาติไนเซชันของ Precooked rice พันธุ์เฉี้ยงพัทลุง ที่ผ่านสภาวะการให้ร้อนโดยต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาแตกต่างกัน

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.8 สัดส่วนการดูดน้ำกลับของ Precooked rice พันธุ์เฉี้ยงพัทลุง ที่ผ่านสภาวะการให้ร้อนโดยต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาแตกต่างกัน

* ค่าที่ได้จากการคำนวณ, สัดส่วนการดูดน้ำกลับ = $\frac{\text{น้ำหนักของ Precooked rice}}{\text{น้ำหนักข้าวสารเริ่มต้น}}$

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.2.3 สภาวะการทำแห้ง

Precooked rice ที่ได้จากการให้ความร้อนโดยการต้มในน้ำเดือดเป็น 2 –10 นาที นำมาศึกษาการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนและแปรอุณหภูมิเป็น 80 และ 100 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้เป็นข้าวหุงสุกเร็วที่ปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2543) จากนั้นสุ่มมาวิเคราะห์ค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน อัตราการขยายตัวและสัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้น และการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏก่อนการคืนรูป และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ข้าวก.วก. 1

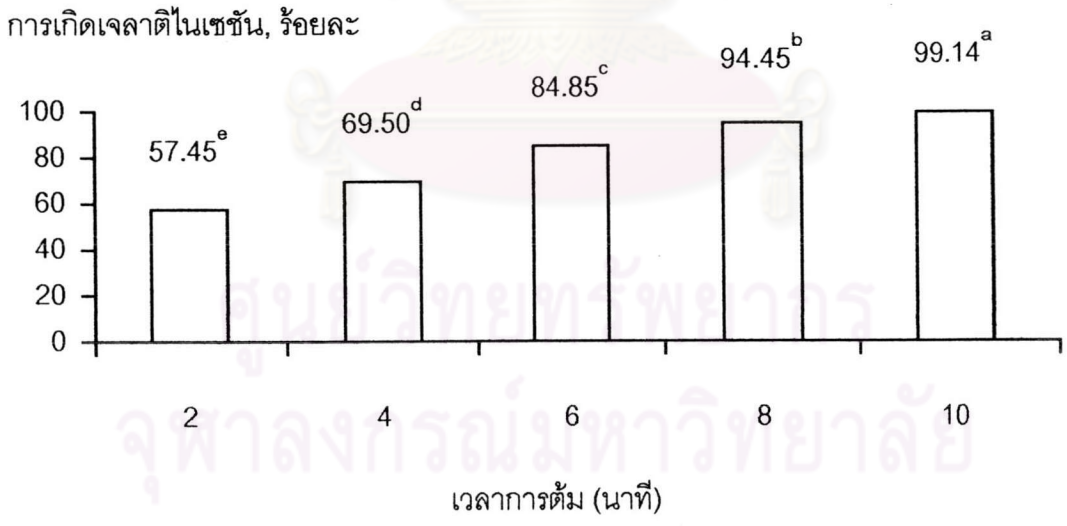
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์ก.วก. 1 ดังตารางที่ 4.8 พบว่า เวลาการต้มมีผลทำให้ค่าการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์ ก.วก.1 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.01$) โดยพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการต้มข้าวขึ้น ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้ก็จะมีค่าการเกิดเจลาติไนเซชันสูงตามไปด้วย (รูปที่ 4.9) อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างของระดับอุณหภูมิทำแห้งต่อค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน และนอกจากนี้

เมื่อเปรียบเทียบค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน Precooked rice ก่อนและหลังการทำแห้ง (รูปที่ 4.7 และ 4.9) พบว่าเมื่อนำ Precooked rice มาทำแห้งเป็นข้าวหุงสุกเร็วจะทำให้ค่าการเกิดเจลาติไนเซชันสูงขึ้น

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน ค่าอัตราการขยายตัว และสัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้น ของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ ก.วก.1 ที่มีใช้เวลาการต้มในน้ำเดือดและอุณหภูมิการทำแห้งแตกต่างกัน

SOV	ค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน, ร้อยละ	อัตราการขยายตัว	สัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้น
อุณหภูมิการทำแห้ง (A)	ns	ns	*
เวลาการต้ม (B)	**	**	**
A x B	ns	**	ns

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)
ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

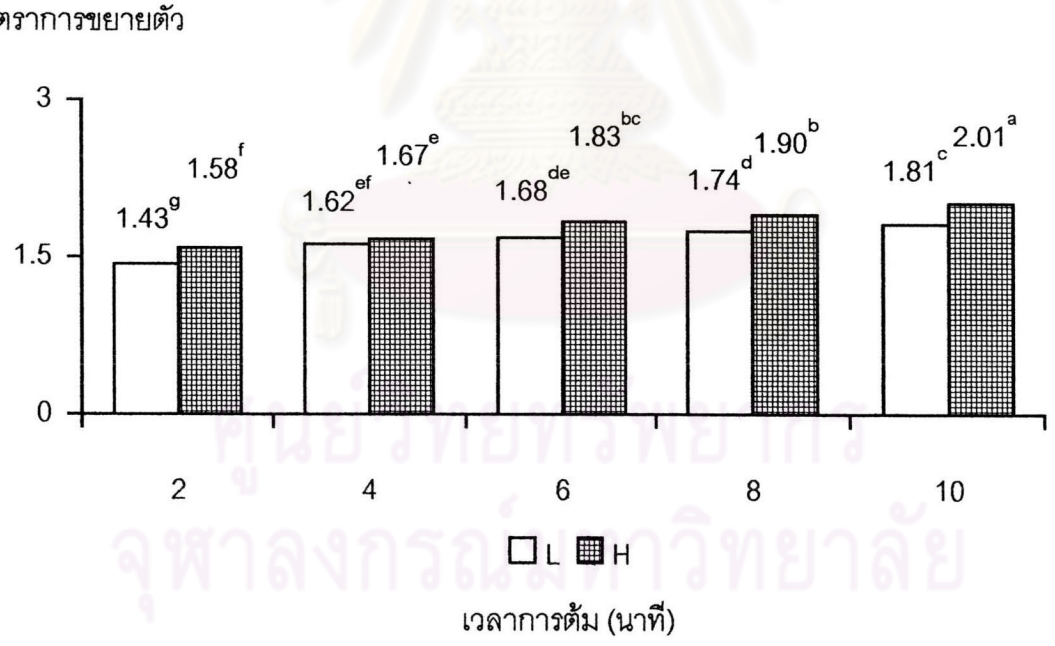


รูปที่ 4.9 ผลของเวลาการต้มข้าวต่อค่าการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ก.วก.1
a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สำหรับอัตราการขยายตัว พบว่าเวลาการต้ม รวมทั้งอิทธิพลร่วมของเวลาการต้มและอุณหภูมิการทำแห้ง Precooked rice มีผลต่ออัตราการขยายตัวของข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์กว.ก. 1

อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) ดังตารางที่ 4.8 โดยพบว่าอัตราการขยายตัวจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการต้มที่เพิ่มขึ้น Little และ Dawson (1960) รายงานว่าการขยายขนาดของเซลล์ในเมล็ดข้าวนั้น เป็นผลมาจากการเกิดเจลาติไนเซชัน และตามด้วยการเกิดการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ซึ่งเป็นผลให้เมล็ดข้าวขยายตัวออกนั่นเอง อย่างไรก็ตาม การใช้เวลาการต้มสูงกว่า 10 นาที ข้าวที่ใช้เวลาการต้ม 10 นาที เมื่อนำมาทำแห้งแล้วจะมีการแตกบานของเมล็ดบางส่วนจนทำให้โครงสร้างเมล็ดข้าวเสียไป

นอกจากนี้จากผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้ระยะเวลาการต้มเท่ากัน การใช้อุณหภูมิทำแห้ง Precooked rice ที่ 100 องศาเซลเซียส จะทำให้ข้าวหุงสุกเร็วมีอัตราการขยายตัวสูงกว่าที่อุณหภูมิทำแห้ง 80 องศาเซลเซียส (ยกเว้นที่สภาวะการต้มเป็นเวลา 4 นาที ซึ่งไม่มีความแตกต่างของอุณหภูมิทำแห้ง) ดังรูปที่ 4.10 และยังพบว่าข้าวหุงสุกเร็วจากทุกสภาวะยกเว้นข้าวหุงสุกเร็วที่ใช้เวลาการต้ม 2 นาทีและทำแห้ง 80 องศาเซลเซียส มีอัตราการขยายตัวอยู่ในช่วง 1.5 – 3.0 เท่าของข้าวสารเริ่มต้น ซึ่งเป็นค่าอัตราการขยายตัวที่เหมาะสมของข้าวหุงสุกเร็ว (Luh, Roberts และ Li, 1980)



รูปที่ 4.10 อิทธิพลร่วมของเวลาการต้มข้าวและอุณหภูมิการทำแห้ง Precooked rice ที่มีต่ออัตราการขยายตัวของข้าว ของข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์ ก.ว.ก.1

L, H = อุณหภูมิการทำแห้งที่ 80 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

a,b,...อักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

นอกจากนี้พบว่าเวลาการต้มมีผลต่อสัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยพบว่าเมล็ดข้าวจะยืดตัวออกมากขึ้นตามระยะเวลาการต้ม ดังตารางที่ 4.9 และอุณหภูมิการทำแห้ง Precooked rice มีผลต่อสัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.10 โดยอุณหภูมิทำแห้งที่ 100 องศาเซลเซียส ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จะมีความยาวเมล็ดมากกว่าข้าวที่ทำแห้ง 80 องศาเซลเซียส เมื่อใช้ระยะเวลาการต้มเท่ากัน Ogawa และคณะ (2003) ได้รายงานว่าข้าวสุกจะยืดตัวออกตามแนวยาวของเมล็ดเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ Horigane และคณะ (1999) ยังพบว่าช่องว่างภายในเมล็ดข้าวนั้นจะขยายกว้างขึ้นตามแนวการขยายตัวของเมล็ดข้าว

ตารางที่ 4.9 ผลของอุณหภูมิการทำแห้ง Precooked rice ค่าต่อสัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้นของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ ก.ว.ก.1

อุณหภูมิการทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าสัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้น
80	1.36^{b}
100	1.40^{a}
LSD (0.05)	0.03

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.10 ผลของเวลาการต้มข้าวต่อต่อสัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้นของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ ก.วก.1

เวลาการต้ม (นาที)	ต่อสัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้น[1]
2	1.24^{e}
4	1.33^{d}
6	1.40^{c}
8	1.45^{b}
10	1.49^{a}
LSD (0.05)	0.02

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวเฉี้ยงพัทลุง

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง แสดงดังตารางที่ 4.11 พบว่าระดับอุณหภูมิการทำแห้งมีผลต่อค่าการเกิดเจลาติไนเซชันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่อุณหภูมิการทำแห้ง 100 องศาเซลเซียส ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จะมีค่าการเกิดเจลาติไนเซชันสูงกว่าที่อุณหภูมิการทำแห้ง 80 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.12) และยังพบว่าเวลาการต้มมีผลทำให้ค่าการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวหุงสุกเร็วเฉี้ยงพัทลุงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการต้มข้าวขึ้นจะทำให้ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้มีค่าการเกิดเจลาติไนเซชันสูงตามไปด้วย (ตารางที่ 4.13)

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน ค่าอัตราการขยายตัวและสัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้น Precooked rice พันธุ์เฉี้ยงพัทลุง ที่มีใช้เวลาการต้มในน้ำเดือดและอุณหภูมิการทำแห้งแตกต่างกัน

SOV	ค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน, ร้อยละ	อัตราการขยายตัว	สัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้น
อุณหภูมิการทำแห้ง (A)	*	ns	ns
เวลาการต้ม (B)	**	**	**
A x B	ns	ns	ns

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$), ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)
ns แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.12 ผลของอุณหภูมิการทำแห้ง Precooked rice ต่อค่าการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง

อุณหภูมิการทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน, ร้อยละ
80	80.52^{b}
100	81.82^{a}
LSD (0.05)	1.00

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.13 ผลของเวลาการต้มที่มีต่อค่าการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง

เวลาการต้ม (นาที)	ค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน, ร้อยละ
2	59.61[e]
4	71.83[d]
6	81.91[c]
8	92.82[b]
10	99.67[a]
LSD (0.05)	1.56

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับอัตราการขยายตัว พบว่าเวลาการต้มมีผลต่ออัตราการขยายตัวของข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยอัตราการขยายตัวจะเพิ่มตามระยะเวลาการหุงต้มที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.14 เช่นเดียวกับข้าวพันธุ์ก.วก. 1 ซึ่งการขยายตัวของข้าวเป็นผลมาจากการเกิดเจลาติไนเซชันดังอธิบายมาข้างต้น และพบว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากสภาวะการต้มตั้งแต่ 4 นาทีขึ้นไปจะค่าอัตราการขยายตัวอยู่ในช่วง 1.5 – 3.0 เท่าของข้าวสารเริ่มต้นซึ่งเป็นค่าอัตราการขยายตัวที่เหมาะสมของข้าวหุงสุกเร็ว (Luh, Roberts และ Li, 1980)

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบอัตราการขยายตัวของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ก.วก.1 และเฉี้ยงพัทลุง (รูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.14) ที่ได้จากการใช้ระยะเวลาการต้มเท่ากัน พบว่าอัตราการขยายตัวของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ก.วก. 1 มีค่าสูงกว่าพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง ซึ่ง Horigane และคณะ (2000) พบว่าการขยายตัวของเมล็ดข้าวนี้เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ช ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำเมื่อได้รับความร้อนสตาร์ชจะพองตัวออกก่อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ผลของเวลาการต้มข้าวต่ออัตราการขยายตัวของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง

เวลาการต้ม (นาที)	อัตราการขยายตัว
2	1.43[e]
4	1.61[d]
6	1.69[c]
8	1.73[b]
10	1.79[a]
LSD (0.05)	0.04

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับสัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้น พบว่าเวลาการต้มมีผลทำให้ข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงที่ได้มีสัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยพบว่าเมล็ดข้าวจะยืดตัวออกมากขึ้นตามระยะเวลาการต้ม (ตารางที่ 4.15) โดยซึ่งการยืดตัวออกจะยืดออกทางของแนวยาวอันเนื่องมาจากการตัวออกของช่องว่างในเมล็ดเมื่อเมล็ดข้าวได้รับความร้อน ดังอธิบายในข้าวพันธุ์ก.วก.1 อย่างไรก็ตามจะพบว่าสัดส่วนความยาวเมล็ดจะเริ่มลดลงที่เวลาการต้ม 8 - 10 นาที (ตารางที่ 4.15) ในงานวิจัยของ Horigane และคณะ (1999) ที่ต้มข้าวพันธุ์ Koshihikari ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 - 15 นาที พบว่าความยาวเมล็ดข้าวไม่เปลี่ยนแปลง แต่การเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชในบริเวณแกนเมล็ดข้าวจะเกิดต่อไปเนื่องจากความร้อนที่ได้รับ (Kainuma และ Seki, 1986)

ตารางที่ 4.15 ผลของเวลาการต้มข้าวต่อสัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้นของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง

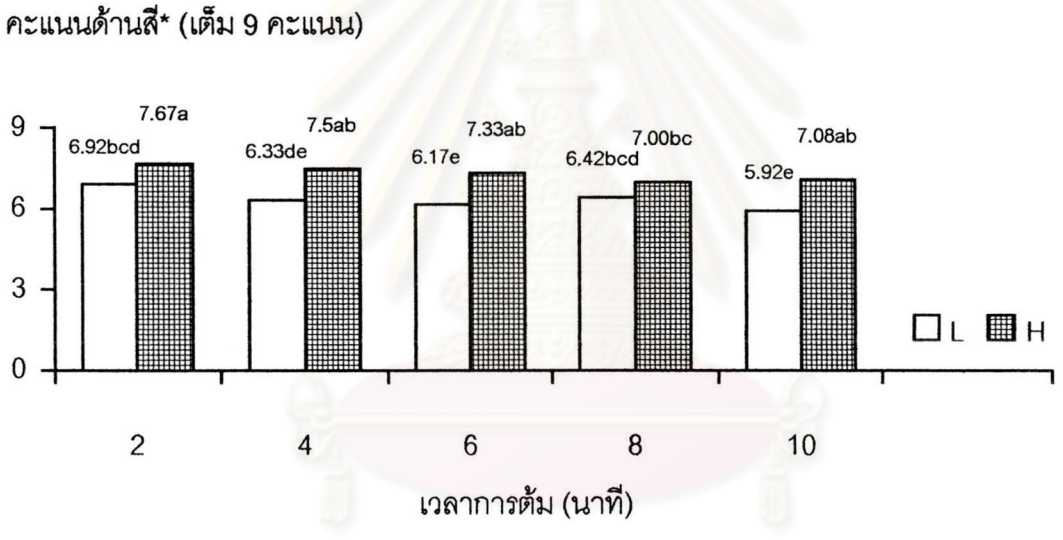
เวลาการต้ม (นาที)	สัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้น
2	1.19[e]
4	1.29[d]
6	1.39[c]
8	1.47[b]
10	1.50[a]
LSD (0.05)	0.01

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จากแต่ละพันธุ์นอกจากทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพแล้ว นำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสก่อนการคืนรูป โดยพิจารณาลักษณะปรากฏทางด้านสี ความสมบูรณ์ของเมล็ด การเกาะติดกันของเมล็ด และการยอมรับรวม โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน 12 คน และใช้การทดสอบแบบ quantitative descriptive analysis with scoring test

ข้าวก.วก. 1

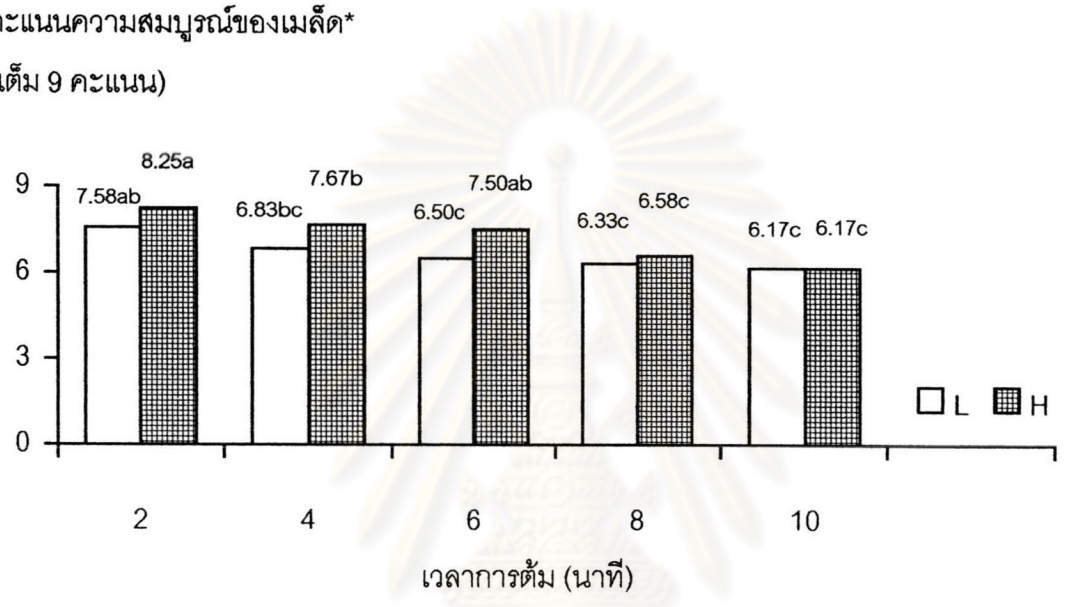
ผลการทดสอบคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านสีของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ ก.วก. 1 แสดงดังรูปที่ 4.11 พบว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจะมีคะแนนด้านสีสูงกว่าการใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เมื่อใช้ระดับเวลาการต้มข้าวเท่ากัน โดยที่คะแนนนี้อยู่ในช่วงสีขาวถึงสีขาวครีม (7.67 – 7.08)



รูปที่ 4.11 คะแนนด้านสีของข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์ก.วก. 1 ก่อนการคืนรูป
*คะแนนสี: ขาว-น้ำตาล (9-1)
L, H = อุณหภูมิการทำแห้งที่ 80 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
a,b,...อักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาคะแนนความสมบูรณ์เมล็ดและการเกาะติดกันของเมล็ดของเมล็ด พบว่าตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วที่ใช้เวลาการต้มในขั้นตอนการผลิตเพิ่มขึ้นจะมีคะแนนความสมบูรณ์เมล็ดและการเกาะติดกันของเมล็ดลดลง (ดังรูปที่ 4.12 และ 4.13) ทั้งนี้ในขั้นตอนการต้มข้าว ผนังเซลล์บางส่วนจะถูกทำลายและแตกปริออก ซึ่งทำให้องค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ สตาร์ช คาร์โบไฮเดรตนอกเหนือจากสตาร์ช โปรตีน ไขมัน ในข้าวหลุดออกมาในน้ำที่ใช้ต้ม (Ogawa และคณะ, 2003)

เมื่อข้าวเย็นตัวลงทำให้ส่วนของ starch fraction เกิดลักษณะแบบแป้งเปียกซึ่งทำให้เมล็ดข้าวเกาะติดกัน ขั้นตอนการแช่หรือล้างข้าวสุกหรือ Precooked rice ในน้ำเย็นหลังจากการต้มข้าวนั้น นอกจากป้องกันการ overcook แล้ว ยังทำเพื่อล้างเอาแป้งสุกส่วนเกินนี้ออกไปทำให้เมื่อนำข้าวไปทำแห้งแล้วข้าวจึงเกาะติดกันน้อยลง อย่างไรก็ตาม หากล้าง Precooked rice มากเกินไปอาจส่งผลให้สูญเสียสารอาหารไปด้วย



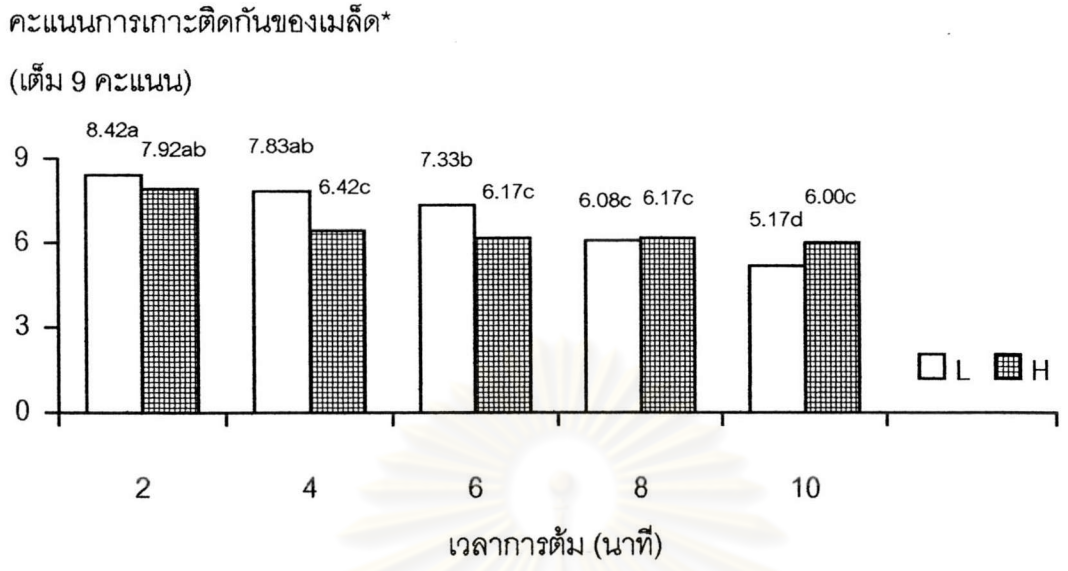
รูปที่ 4.12 คะแนนความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ก.วก. 1 ก่อนการคืนรูป

* ความสมบูรณ์ของเมล็ด: เมล็ดสมบูรณ์ทั้งหมด – เมล็ดหักทั้งหมด (9-1)

L, H = อุณหภูมิการทำแห้งที่ 80 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

a,b,...อักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับรวม (รูปที่ 4.14) พบว่าคะแนนการยอมรับรวมจะลดลงเมื่อใช้เวลาการต้มข้าวเพิ่มขึ้น พบว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตโดยใช้เวลาการต้ม 2 นาที จะมีคะแนนการยอมรับรวมสูงที่สุด คือ 7.75 และ 8.08 อาจเนื่องจากข้าวหุงสุกเร็วนี้ลักษณะปรากฏใกล้เคียงข้าวสารมากที่สุด นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่าเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ก.วก. 1 ที่ผลิตโดยใช้เวลาการต้ม 10 นาที บางเมล็ดจะมีลักษณะเมล็ดแตกบานออกจนโค้งงอและบิดเบี้ยว

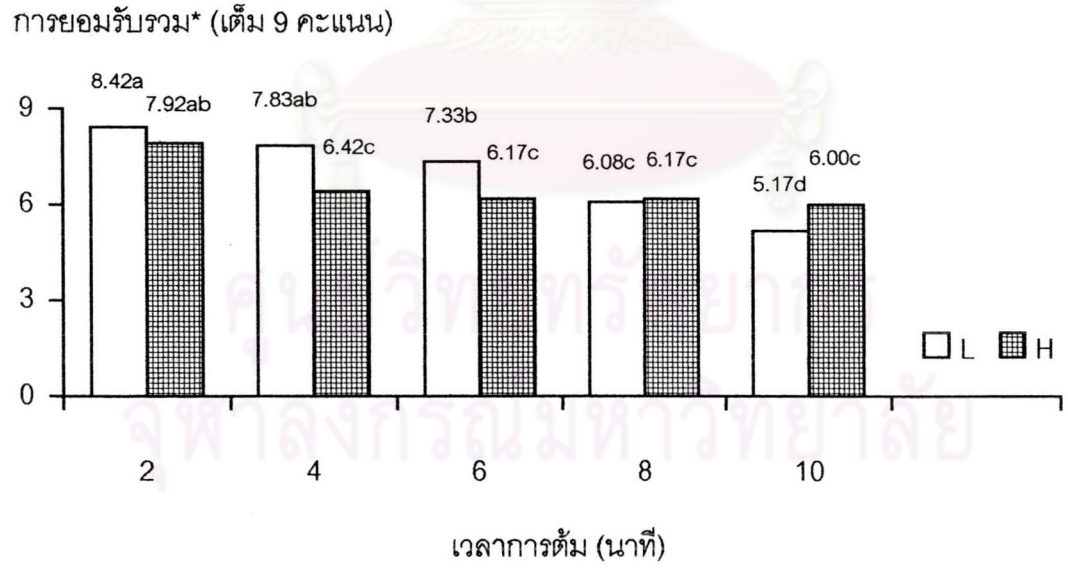


รูปที่ 4.13 คะแนนการเกาะติดกันของเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ก.วก. 1 ก่อนการคืนรูป

* การเกาะติดกันของเมล็ด: เมล็ดแยกตัวกันดี – เมล็ดเกาะตัวเป็นก้อน (9-1)

L, H = อุณหภูมิการทำแห้งที่ 80 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

a,b,...อักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.14 คะแนนการยอมรับรวมของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ก.วก. 1 ก่อนการคืนรูป

* การยอมรับรวม : ยอมรับมากที่สุด – ไม่ยอมรับมากที่สุด (9-1)

L, H = อุณหภูมิการทำแห้งที่ 80 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

a,b,...อักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากการศึกษาสภาวะการทำแห้ง Precooked rice ของข้าวพันธุ์ก.วก. 1 เพื่อเลือกสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมไปศึกษาเวลาการคืนรูปต่อไป พบว่าเมื่อใช้เวลาการต้มเดียวกัน การทำแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะทำให้ข้าวหุงสุกเร็วมีอัตราการขยายตัวและสัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาเวลาการต้ม พบว่าเวลาต้มข้าวสูงจะทำให้ข้าวหุงสุกเร็วที่มีค่าการเกิดเจลาติไนเซชันสูงและมีอัตราการขยายตัวเมล็ดและสัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้นสูง ซึ่งจะทำให้ข้าวหุงสุกเร็วใช้ระยะเวลาการคืนรูปสั้นลง แต่เนื่องจากที่สภาวะผลิตโดยใช้เวลาการต้ม 10 นาที บางเมล็ดจะมีลักษณะเมล็ดแตกบานออกมากเกินไป ทำให้เสียปริมาณ yield ของข้าวหุงสุกเร็ว จึงเลือกระยะเวลาการต้ม 4 6 และ 8 นาที และเลือกสภาวะการทำแห้งข้าวที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส เพื่อผลที่มีต่อคุณภาพและการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปแล้ว

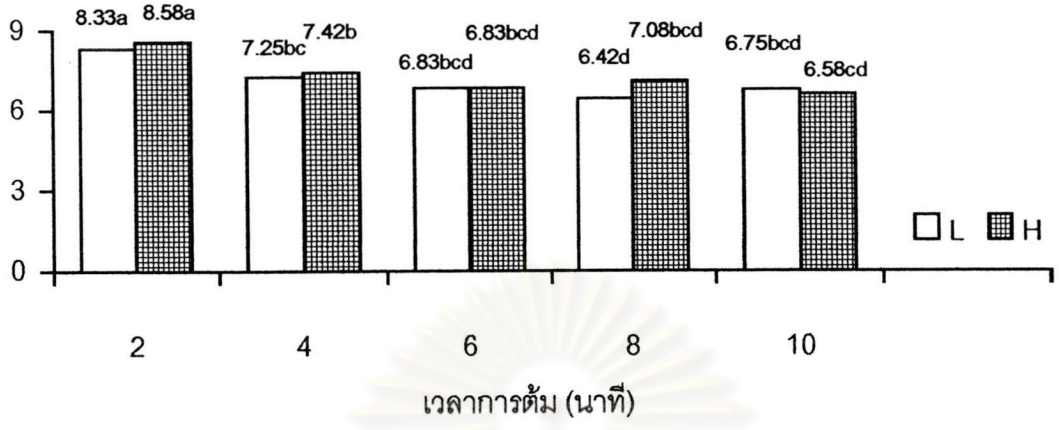
<u>ข้าวเฉี้ยงพัทลุง</u>

ผลการทดสอบคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏด้านสี ความสมบูรณ์ของเมล็ด การเกาะติดกันของเมล็ด และการยอมรับรวมของข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงก่อนการคืนรูป แสดงดังรูปที่ 4.15-4.18

คะแนนด้านสีของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงจะลดลงเมื่อใช้ระยะเวลการต้มเพิ่มขึ้นมีค่าโดยคะแนนด้านสีจะอยู่ในช่วง 8.58 – 6.42 ซึ่งมีสีขาว (9) ถึง สีเทา-เหลือง (5) อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของอุณหภูมิทำแห้งที่เวลาการต้มเดียกวัน สีของข้าวสุกนั้นเกิดจากปฏิกิริยา non-enzymatic browning เช่น Maillard reaction, Caramellization เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คะแนนด้านสี* (เต็ม 9 คะแนน)



รูปที่ 4.15 คะแนนด้านสีของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงก่อนการคืนรูป

*คะแนนสี: ขาว-น้ำตาล (9-1)

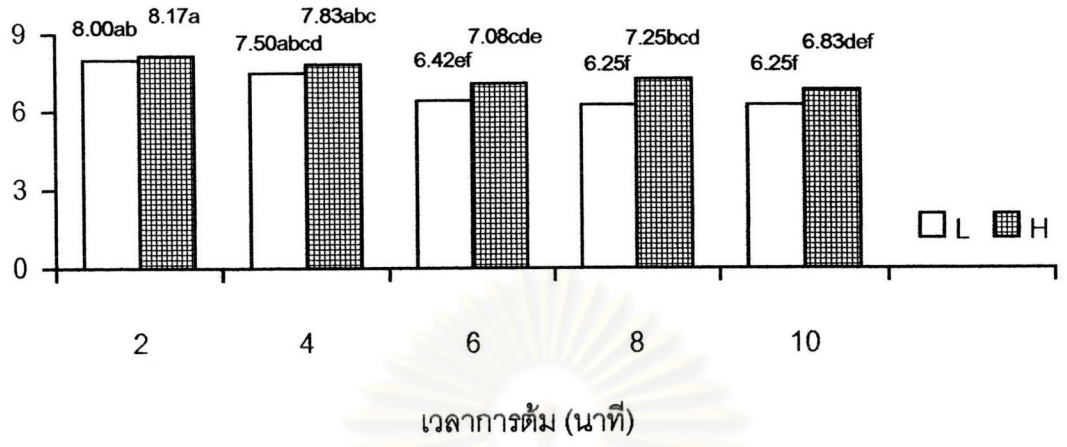
L, H = อุณหภูมิการทำแห้งที่ 80 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

a,b,...อักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาคะแนนความสมบูรณ์เมล็ดและการเกาะติดกันของเมล็ดของเมล็ด พบว่าตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วที่ใช้เวลาการต้มในขั้นตอนการผลิตเพิ่มขึ้นจะมีคะแนนความสมบูรณ์เมล็ดและการเกาะติดกันของเมล็ดลดลงเช่นเดียวกับพันธุ์ก.วก. 1 อย่างไรก็ตามพบว่าข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงจะมีคะแนนความสมบูรณ์เมล็ดและการเกาะติดกันของเมล็ดสูงกว่าพันธุ์ก.วก. 1 โดยเฉพาะคะแนนการเกาะติดกันของเมล็ด อาจเนื่องจากข้าวเฉี้ยงพัทลุงเป็นข้าวที่อมัยโลสสูง เมื่อหุงสุกจะร่วนแข็ง ขณะที่ข้าวอมัยโลสต่ำเมื่อสุกจะนิ่ม(งามชื่น คงเสรี, 2542) ดังนั้นเมื่อนำไปทำแห้ง เมล็ดข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงอาจคงสภาพโครงสร้างของเมล็ดข้าวดีกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คะแนนความสมบูรณ์ของเมล็ด* (เต็ม 9 คะแนน)



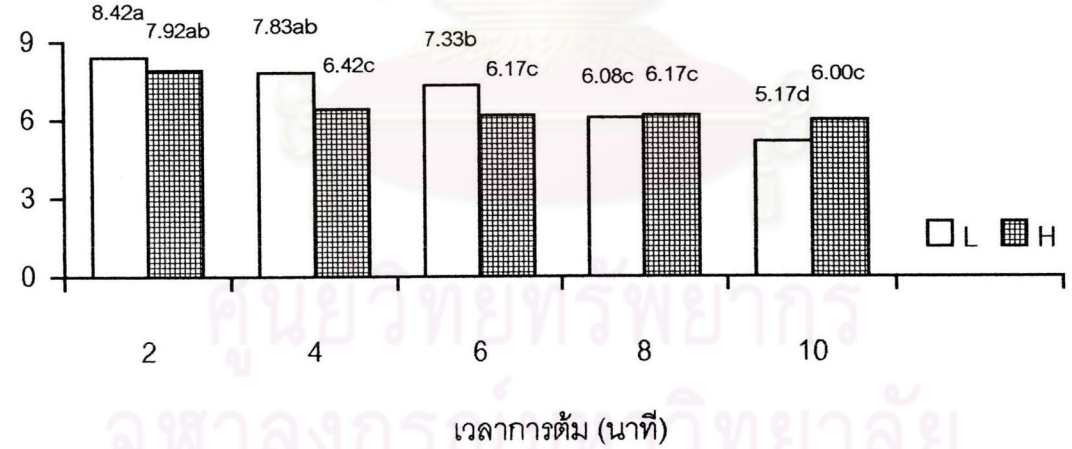
รูปที่ 4.16 คะแนนความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงก่อนการคืนรูป

* ความสมบูรณ์ของเมล็ด: เมล็ดสมบูรณ์ทั้งหมด – เมล็ดหักทั้งหมด (9-1)

L, H = อุณหภูมิการทำแห้งที่ 80 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

a,b,...อักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

คะแนนการเกาะติดกันของเมล็ด* (เต็ม 9 คะแนน)



รูปที่ 4.17 คะแนนการเกาะติดกันของเมล็ดของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงก่อนการคืนรูป

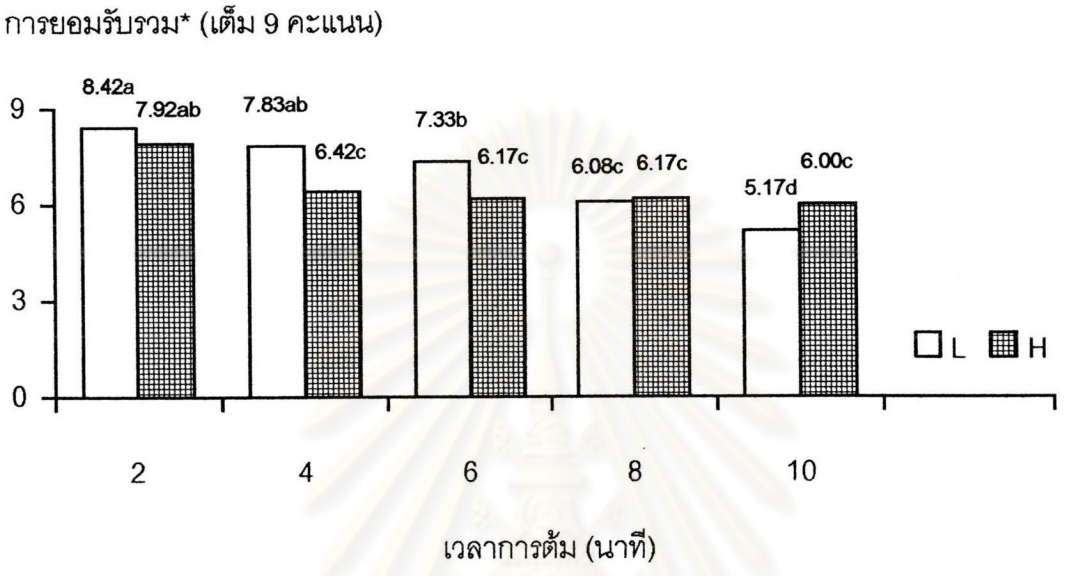
* การเกาะติดกันของเมล็ด: เมล็ดแยกตัวกันดี – เมล็ดเกาะตัวเป็นก้อน (9-1)

L, H = อุณหภูมิการทำแห้งที่ 80 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

a,b,...อักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับรวม พบว่าคะแนนการยอมรับรวมจะลดลงเมื่อใช้เวลาการต้มข้าวเพิ่มขึ้น พบว่าคะแนนการยอมรับรวมของข้าวหุงสุกเร็วจะลดลงเมื่อใช้เวลาการต้มเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้เวลาการต้มสูง 10 นาที บางเมล็ดจะมีลักษณะเมล็ดแตกบานออกจนโค้งงอและบิดเบี้ยวเช่นเดียวกับพันธุ์ก.วก.1



รูปที่ 4.18 คะแนนการยอมรับรวมของเมล็ดของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงก่อนการคืนรูป

* การยอมรับรวม : ยอมรับมากที่สุด – ไม่ยอมรับมากที่สุด (9-1)

L, H = อุณหภูมิการทำแห้งที่ 80 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

a,b,...อักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากการศึกษาสภาวะการทำแห้ง Precooked rice ของข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง เพื่อเลือกสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมไปศึกษาเวลาการคืนรูปต่อไป พบว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะทำให้ข้าวหุงสุกเร็วมีค่าการเกิดเจลาติไนเซชันสูงกว่าที่ 80 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ค่าการเกิดเจลาติไนเซชันยังเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการต้มข้าว เมื่อพิจารณาอัตราการขยายตัวและสัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มระยะเวลาการต้มจะทำให้ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้มีอัตราการขยายตัวและสัดส่วนความยาวเมล็ดที่เพิ่มขึ้นสูงขึ้นตามไปด้วย แต่เนื่องจากลักษณะของเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งได้จากสภาวะการต้ม 10 นาที จึงเลือกสภาวะการต้มข้าวที่เวลา 4 6 และ 8 นาที และเลือกสภาวะการทำแห้งข้าวที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส เพื่อผลที่มีต่อคุณภาพและการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปแล้ว

4.2.5 เวลาการคืนรูป

ข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวพันธุ์ ก.วก. 1 และเฉี้ยงพัทลุงที่เลือกที่ผลิตได้จากสภาวะผลิตในหัวข้อ 4.2.1 – 4.2.3 (ข้าวสาร 50 กรัม แช่น้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา15 นาที แล้วนำมาต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เวลาแตกต่าง 3 ระดับ ได้แก่ 4 6 และ 8 นาที สะเด็ดน้ำและลดอุณหภูมิข้าวในน้ำเย็น 0-2 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 วินาที จากนั้นสะเด็ดน้ำแล้วนำมาทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิต่างกัน 2 ระดับ ที่ 80 และ 100 องศาเซลเซียส) นำมาแปรเวลาการคืนรูปโดยการต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 5 และ 7 นาที จากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับและค่าดัชนีความขาว รวมทั้งผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปแล้ว ได้แก่ สี ความสมบูรณ์ของเมล็ด การเกาะติดกันของเมล็ด ความนุ่ม กลิ่นหอม รสชาติ และการยอมรับรวม และวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ข้าวก.วก. 1

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับและค่าดัชนีความขาว (ตารางที่ 4.16) พบว่าเวลาการต้มข้าว เวลาการคืนรูปมีผลต่อให้ค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ก.วก.1 ที่ได้แตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$) เวลาการต้มข้าวที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้มีค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับสูงขึ้น (ตารางที่ 4.17) โดยข้าวที่ผ่านการต้มเป็นระยะเวลานานกว่าที่ (8 นาที) จะทำให้มีช่องว่างภายในเมล็ดขนาดใหญ่กว่าและมีอัตราการขยายตัวของเมล็ดสูงกว่าที่ข้าวที่ผ่านการต้มสั้นกว่า (4 นาที) (Horrigane และคณะ, 1999 และ Little และ Dawson, 1960) ดังนั้นเมื่อนำมาคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วจึงสามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่าเมื่อใช้เวลาการคืนรูปเท่ากัน นั่นคือข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ก.วก. 1 ที่ผลิตโดยใช้เวลาการต้มที่ 8 นาที จะมีสัดส่วนการดูดน้ำกลับสูงที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับและค่าดัชนีความขาวของข้าวหุงสุกเร็วข้าวพันธุ์ก.วก.1 ที่ได้จากสภาวะการผลิตและใช้เวลาการคืนรูปแตกต่างกัน

SOV	สัดส่วนการดูดน้ำกลับ	ค่าดัชนีความขาว
อุณหภูมิการทำแห้ง (A)	ns	ns
เวลาการต้ม (B)	**	ns
A x B	ns	ns
เวลาการคืนรูป (C)	**	*
A x C	*	ns
B x C	ns	ns
A x B x C	ns	ns

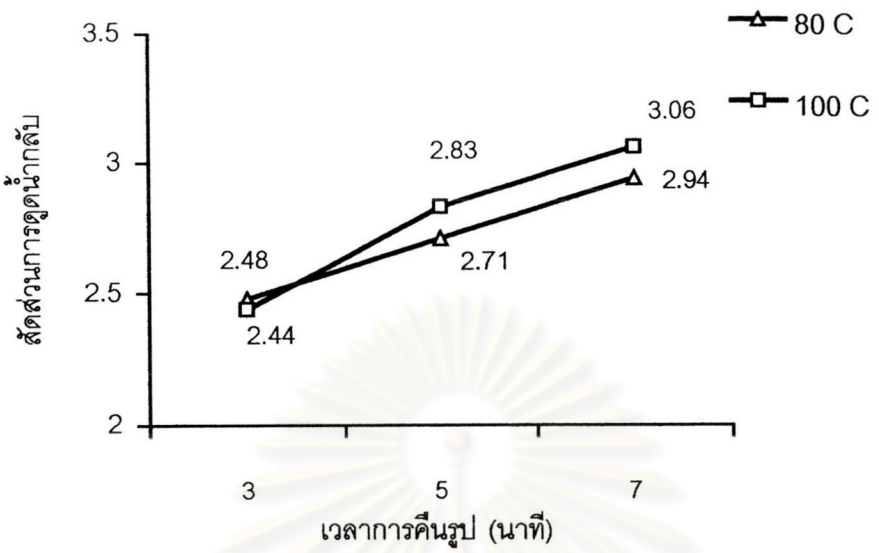
* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.17 ผลของเวลาการต้มข้าวที่มีต่อสัดส่วนการดูดน้ำกลับของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ก.วก. 1

เวลาการต้มข้าว (นาที)	สัดส่วนการดูดน้ำกลับ
4	2.60^{c}
6	2.76^{b}
8	2.87^{a}
LSD (0.05)	0.08

นอกจากนี้ยังพบว่าอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิการทำแห้ง Precooked rice และเวลาการคืนรูปมีผลทำให้ค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ก.วก.1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังรูปที่ 4.19 เมื่อใช้ระยะเวลาการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วมากขึ้นน้ำจึงถูกดูดซึมได้มากขึ้นตามไปด้วย และพบว่าที่อุณหภูมิการทำแห้งที่ 100 องศาเซลเซียสข้าวหุงสุกเร็วจะมีสัดส่วนการดูดน้ำกลับมากกว่าที่ 80 องศาเซลเซียส อาจเนื่องจาก ในการทำแห้งนั้นเมื่อความชื้นในเมล็ดลดลงถึงระดับหนึ่ง ลมร้อนจะไปทำให้บริเวณผิวเมล็ดข้าวเกิดมีรอยร้าวโดยเกิดความแตกต่างของปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของข้าวกับบรรยากาศ ดังเช่นรอยร้าวที่เกิดในกระบวนการลดความชื้นในเมล็ดข้าวและการขัดสี และการใช้อุณหภูมิสูงกว่าทำให้มีความแตกต่างนี้มากกว่าส่งผลเมล็ดเกิดรอยได้มากกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำอันเนื่องจากลมร้อนอุณหภูมิสูงกว่า



รูปที่ 4.19 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิการทำแห้ง Precooked rice และเวลาการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็ว ต่อสัดส่วนการดูดน้ำกลับของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ ก.วก. 1

เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความขาวพบว่า เวลาการคืนรูปมีผลทำให้ต่อค่าดัชนีความขาวแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยค่าดัชนีความขาวจะลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาการคืนรูปของข้าวหุงสุกเร็วเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.18) เมื่อพิจารณาค่าสี (L a b) พบว่าค่าความสว่าง (L) ค่า b และค่า a จะลดลงเล็กน้อยตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าดัชนีความขาวของข้าวหุงสุกเร็วนี้ขึ้นอยู่กับค่าความสว่างเป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 4.18 ผลของเวลาการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วที่มีต่อค่าดัชนีความขาวของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ ก.วก. 1

เวลาการคืนรูป (นาที)	ค่าดัชนีความขาว
3	66.29[a]
5	65.34[b]
7	65.01[b]
LSD (0.05)	0.88

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวเฉี้ยงพัทลุง

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับและค่าดัชนีความขาว (ตารางที่ 4.19) พบว่าเวลาการต้มข้าว และเวลาการคืนรูปมีผลทำให้ค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงที่ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยเวลาการต้มข้าวที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้มีค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับสูงขึ้น (ตารางที่ 4.20) เนื่องจากเมื่อใช้เวลาการต้มข้าวเพิ่มขึ้น มีผลให้ต่อโครงสร้างเมล็ดข้าวหุงสุกเร็วขยายตัวออกมากขึ้น ซึ่งอธิบายดังในตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ก.วก. 1 โดยข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงที่ผลิตโดยใช้เวลาการต้มที่ 8 นาที จะมีสัดส่วนการดูดน้ำกลับสูงที่สุด

นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วมากขึ้น ข้าวหุงสุกเร็วจะดูดซึมน้ำได้มากขึ้นตามไปด้วย (ตารางที่ 4.21) ข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปเป็นเวลา 7 นาที จะมีค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับสูงสุดคือ 3.00 เท่าของน้ำหนักข้าวหุงสุกเร็วเริ่มต้น

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับและค่าดัชนีความขาวของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงที่ได้จากสภาวะการผลิต และใช้เวลาการคืนรูปแตกต่างกัน

SOV	สัดส่วนการดูดน้ำกลับ	ค่าดัชนีความขาว
อุณหภูมิการทำแห้ง (A)	ns	ns
เวลาการต้ม (B)	**	ns
A x B	ns	ns
เวลาการคืนรูป (C)	**	*
A x C	ns	ns
B x C	ns	ns
A x B x C	ns	ns

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.01$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.20 ผลของเวลาการต้มข้าวที่มีต่อสัดส่วนการดูดน้ำกลับของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง

เวลาการต้มข้าว(นาที)	สัดส่วนการดูดน้ำกลับ
4	2.54[a]
6	2.75[b]
8	2.90[c]
LSD (0.05)	0.04

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.21 ผลของเวลาการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วที่มีต่อสัดส่วนการดูดน้ำกลับของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง

เวลาการคืนรูป (นาที)	สัดส่วนการดูดน้ำกลับ
3	2.40[a]
5	2.80[b]
7	3.00[c]
LSD (0.05)	0.03

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความขาว พบว่าเวลาการคืนรูปมีผลต่อค่าดัชนีความขาวของข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปแล้วจากพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงอย่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.22 โดยค่าดัชนีความขาวจะลดลงตามระยะเวลาการคืนรูปของข้าวหุงสุกเร็ว (ตารางที่ 4.20) เช่นเดียวกับข้าวหุงเร็วพันธุ์ ก.ว.ก. 1 เมื่อพิจารณาค่าสี (L a b) พบว่าค่าความสว่าง (L) ค่า b และค่า a จะลดลงเล็กน้อยตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยที่ข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงที่มีค่าดัชนีความขาวสูงที่สุดเมื่อใช้เวลาการคืนรูป 3 นาที คือ 66.19 อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความขาวนี้จะแตกต่างกันไม่มากนัก

ตารางที่ 4.22 ผลของเวลาการคืนรูปข้าวหุงสุกเร็วที่มีต่อค่าดัชนีความขาวของข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง

เวลาการคืนรูป (นาที)	ค่าดัชนีความขาว
3	66.19[a]
5	65.37[ab]
7	65.01[b]
LSD (0.05)	0.88

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวทั้งสองพันธุ์จากสภาวะการผลิตต่าง ๆ กัน (ผลิตโดยใช้เวลาการต้มแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 4 6 และ8 นาที และทำแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 2 ระดับ ได้แก่ 80 และ 100 องศาเซลเซียส) มาคืนรูปด้วยการต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 5 และ 7 นาที แล้วนำข้าวที่ได้มาทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านสี ความสมบูรณ์ของเมล็ด การเกาะติดกันของเมล็ด ความนุ่ม กลิ่นหอม รสชาติ และการยอมรับรวม โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน 12 คน และใช้การทดสอบแบบ quantitative descriptive analysis with scoring test ผลการทดลองของข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์ก.วก. 1 แสดงดังตารางที่ 4.23 และข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงแสดงดังตารางที่ 4.24 ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสนี้นี้จะพิจารณาคะแนนความนุ่มและการยอมรับรวมเป็นหลักในการตัดสินเลือกสภาวะการผลิตข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวทั้งสองพันธุ์

ข้าวก.วก. 1

จากตารางที่ 4.23 พบว่าเมื่อนำข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์ ก.ว.ก. 1 ที่คืนรูปโดยใช้ระยะเวลา 3 5 และ 7 นาที จะคะแนนด้านสี ความนุ่มและการยอมรับรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาคะแนนด้านสีข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปแล้วจะมีคะแนนอยู่ในช่วง 8.00 – 5.83 ซึ่งอยู่ในช่วงสีขาวถึงเทา-เหลือง นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 100 องศาเซลเซียสมีคะแนนด้านสีสูงกว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ใช้อุณหภูมิการทำแห้ง 80 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาคะแนนด้านความนุ่ม พบว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตโดยใช้เวลาการต้มสูง จะมีคะแนนความนุ่มสูง อาจเนื่องจากข้าวหุงสุกเร็วจะสามารถดูดซึมน้ำได้ดีกว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตโดยใช้เวลาการต้มต่ำกว่า (ตารางที่ 4.17) ข้าวที่ใช้ปริมาณน้ำหุงต้มมากขึ้นจะทำให้ข้าวนุ่มขึ้น (งามชื่น คงเสรี, 2542) จึงทำให้ข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปแล้วจะมีความนุ่มมากกว่านั่นเอง นอกจากนี้ยังพบว่า

ข้าวหุงสุกเร็วใช้ระยะเวลาการคืนรูปนานกว่าจะมีคะแนนความนุ่มสูงกว่าด้วย ซึ่งเกิดจากการที่ใช้ระยะเวลาคืนรูปมากข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปแล้วจะสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้นด้วย (รูปที่ 4.19) โดยตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วจะมีคะแนนความนุ่มสูงที่สุด ไดแก่ ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตโดย ใช้เวลาการต้ม 8 นาที ทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 หรือ 100 องศาเซลเซียส และนำมาที่คืนรูปโดยใช้ระยะเวลา 5 นาที (7.00 และ 6.83 ตามลำดับ) และที่ใช้เวลาการคืนรูป 7 นาที (7.83 และ 6.83 ตามลำดับ)

คะแนนการยอมรับรวมของข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปมีค่าสูงที่สุด ได้แก่ 1) ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตโดยการต้ม 8 นาที ทำแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลา คืนรูป 7 นาที (6.71) 2) ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตโดยการต้ม 4 และ 6 นาที ทำแห้งที่ 100 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาคืนรูป 7 นาที (7.04 และ 6.50 ตามลำดับ) และ 3) ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตโดยการต้ม 8 นาที ทำแห้งที่ 100 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลา คืนรูป 5 และ 7 นาที (6.71 และ 7.50 ตามลำดับ)

<u>ข้าวเฉี้ยงพัทลุง</u>

จากตารางที่ 4.24 พบว่าเมื่อนำข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงที่คืนรูปโดยใช้ระยะเวลา 3 5 และ 7 นาที จะคะแนนด้านสี ความสมบูรณ์ของเมล็ด ความนุ่ม กลิ่นหอม และการยอมรับรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาคะแนนด้านสีข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปแล้วจะมีคะแนนอยู่ในช่วง 8.50 – 6.25 ซึ่งอยู่ในช่วงสีขาวถึงเทา-เหลือง อย่างไรก็ตามโดยรวมแล้วคะแนนสีของข้าวเฉี้ยงพัทลุงสูงกว่าข้าวก.วก. 1 นั่นคือข้าวเฉี้ยงพัทลุงที่หุงสุกแล้วมีสีค่อนข้างขาวกว่าพันธุ์ก.วก. 1

เมื่อพิจารณาคะแนนความสมบูรณ์ของเมล็ดอยู่ในช่วง 8.08 - 6.75 นั่นคือมีเมล็ดข้าวค่อนข้างสมบูรณ์เป็นส่วนใหญ่ และพบว่าข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงที่ผลิตโดยใช้อุณหภูมิทำแห้ง 100 องศาเซลเซียส จะมีคะแนนความสมบูรณ์ของเมล็ดสูงกว่าการใช้อุณหภูมิทำแห้ง 80 องศาเซลเซียส นอกจากนี้พบว่าคะแนนความสมบูรณ์ของเมล็ดมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการคืนรูป และเวลาการต้มในขั้นตอนการผลิต

เมื่อพิจารณาคะแนนด้านความนุ่มข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง พบว่าข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตโดยใช้เวลาการต้มสูง จะมีคะแนนความนุ่มสูง อาจเนื่องจากข้าวหุงสุกเร็วจะสามารถดูดซึมน้ำได้ดีเมื่อใช้เวลาการต้มสูงดัง ตารางที่ 4.20 จึงทำให้ข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปแล้วจะมีความนุ่มมากกว่านั่นเอง (งามชื่น คงเสรี, 2542) นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวหุงสุกเร็วใช้ระยะเวลาการคืนรูปมาก

กว่าจะมีคะแนนความนุ่มสูงกว่าด้วย ซึ่งเกิดจากการที่ใช้ระยะเวลาคืนรูปมากข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปแล้วจะสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้นด้วย (ตารางที่ 4.21) ข้าวหุงสุกเร็วที่มีคะแนนความนุ่มสูงที่สุดคือข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตโดยใช้เวลาการต้ม 6 หรือ 8 นาที ทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่นำมาคืนรูปใช้ระยะเวลา 7 นาที (6.83 และ 7.25ตามลำดับ) หรือทำแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่นำมาคืนรูปใช้ระยะเวลา 7 นาที (6.33 และ 6.67 ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยคะแนนความนุ่มของข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงจะต่ำกว่าคะแนนของข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์ก.วก. 1 เนื่องจากข้าวเฉี้ยงพัทลุงเป็นข้าวที่มีอมัยโลสสูงกว่าเมื่อนำข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปแล้วจึงค่อนข้างร่วนแข็ง ในขณะที่พันธุ์ก.วก.1 เป็นข้าวอมัยโลสต่ำจึงมีลักษณะนุ่มเหนียว (งามชื่น คงเสรี, 2542) เมื่อพิจารณากลิ่นของข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง จะพบว่ากลิ่นของข้าวสุกจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการคืนรูปและเวลาการต้มที่ใช้ในการผลิต และคะแนนอยู่ในช่วงไม่มีกลิ่นถึงมีกลิ่นเล็กน้อย อาจเนื่องจากข้าวเฉี้ยงพัทลุงเป็นข้าวที่ไม่มีกลิ่นหอม

คะแนนการยอมรับรวมของข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปมีค่าสูงที่สุด ได้แก่ 1) ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตโดยการต้ม 8 นาที ทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลา คืนรูป 5 หรือ 7 นาที (5. 50 และ 6.33 ตามลำดับ) หรือทำแห้ง 100 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลา คืนรูป 5 หรือ 7 นาที (5.75 และ6.42 ตามลำดับ) และข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตโดยการต้ม 6 นาที ทำแห้งที่ 80 หรือ 100 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาคืนรูป 7 นาที (5.92 และ 5.58 ตามลำดับ)

สรุปสภาวะการผลิตที่เหมาะสมสำหรับข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวพันธุ์ก.วก. 1 และเฉี้ยงพัทลุง โดยพิจารณาผลการทดลองค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ รวมทั้งผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปแล้ว พบว่าข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวพันธุ์ก.วก. 1 ที่ผลิตจากการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 8 นาที และทำแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะมีค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับสูงที่สุด (3.01) และเมื่อพิจารณาคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสข้าวหุงสุกเร็วหลังคืนรูปด้านความนุ่มและการยอมรับรวมพบว่า ข้าวที่ผลิตจากสภาวะดังกล่าวที่นำมาคืนรูปโดยการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 หรือ 7 นาทีมีคะแนนความนุ่มและการยอมรับรวมสูงที่สุด

ดังนั้นจึงเลือกสภาวะการผลิตข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์ก.วก.1 ดังกล่าวเพื่อใช้ในศึกษาการเสริมไอโอดีน ซึ่งสภาวะการผลิตมีดังนี้ นำข้าวสาร 50 กรัม แช่น้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา15 นาที แล้วนำมาต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 นาที สะเด็ดน้ำและลดอุณหภูมิข้าวในน้ำเย็น 0-2 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 วินาที จากนั้นสะเด็ดน้ำแล้วนำมาทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

สำหรับข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงที่ผลิตจากการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 8 นาที จะมีค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับสูงที่สุด (2.90) และเมื่อพิจารณาคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่มและการยอมรับรวมพบว่า ข้าวที่ผลิตจากสภาวะการต้ม 8 นาที และทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 หรือ 100 องศาเซลเซียส ที่นำมาคืนรูปโดยการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 7 นาที มีคะแนนความนุ่มและการยอมรับรวมสูงที่สุด สำหรับอุณหภูมิการทำแห้งที่เหมาะสมนั้นพบว่าระดับอุณหภูมิทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับและค่าดัชนีความขาว (ตารางที่ 4.19) รวมทั้งในผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปแล้ว (ตารางที่ 4.24) จึงพิจารณาจากสมบัติของข้าวหุงสุกเร็วก่อนการคืนรูป ซึ่งพบว่าข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงที่ใช้อุณหภูมิทำแห้ง 100 องศาเซลเซียส มีค่าการเกิดเจลาติไนเซชันสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.12) ดังนั้นจึงเลือกใช้อุณหภูมิทำแห้ง 100 องศาเซลเซียส

สรุปสภาวะการผลิตข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ศึกษาการเสริมไอโอดีนโดยการแช่ ได้แก่ นำข้าวสาร 50 กรัม แช่น้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำมาต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 นาที สะเด็ดน้ำและลดอุณหภูมิข้าวในน้ำเย็น 0-2 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 วินาที จากนั้นสะเด็ดน้ำแล้วนำมาทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวพันธุ์ ก.วก. 1 ที่ใช้เวลาการคืนรูปในน้ำเดือดแตกต่างกัน

อุณหภูมิการทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลาการต้ม (นาที)	เวลาการคืนรูป (นาที)	สี	ความสมบูรณ์ของเมล็ด^{ns}	การเกาะติดกันของเมล็ด^{ns}	ความนุ่ม	กลิ่นหอม^{ns}	รสชาติ^{ns}	การยอมรับรวม
80	4	3	6.92 ± 1.24^{cdef}	6.75 ± 1.22	6.58 ± 2.07	4.50 ± 2.07^{f}	6.92 ± 0.67	6.58 ± 1.44	4.75 ± 2.18^{fg}
		5	7.00 ± 0.85^{bcdef}	6.25 ± 1.42	6.67 ± 2.15	4.58 ± 1.51^{f}	6.42 ± 1.38	6.08 ± 1.16	4.92 ± 2.15^{efg}
		7	6.67 ± 0.98^{defg}	6.50 ± 1.31	6.67 ± 1.78	6.33 ± 2.10^{bcd}	7.08 ± 1.16	6.33 ± 1.50	5.83 ± 1.80^{bcdef}
	6	3	7.33 ± 1.44^{abcde}	6.42 ± 0.90	6.75 ± 1.86	5.33 ± 1.83^{def}	6.33 ± 2.02	6.00 ± 1.54	5.08 ± 1.68^{efg}
		5	6.67 ± 2.19^{defg}	6.42 ± 1.24	5.92 ± 2.02	6.75 ± 1.60^{abc}	7.08 ± 1.73	6.75 ± 1.29	6.00 ± 2.04^{bcde}
		7	6.42 ± 1.56^{efg}	6.83 ± 0.94	6.42 ± 1.93	7.50 ± 1.62^{ab}	7.00 ± 1.76	6.67 ± 1.50	5.67 ± 2.57^{cdef}
	8	3	6.33 ± 1.61^{fg}	6.83 ± 0.83	5.75 ± 2.30	6.25 ± 1.36^{cd}	7.08 ± 1.00	6.17 ± 1.47	5.67 ± 1.67^{cdef}
		5	5.83 ± 1.80^{g}	7.33 ± 0.49	6.17 ± 2.21	7.00 ± 1.60^{abc}	6.33 ± 1.92	6.33 ± 1.23	6.08 ± 1.68^{bcde}
		7	6.50 ± 1.17^{efg}	7.08 ± 0.90	6.42 ± 1.93	7.83 ± 1.47^{a}	7.25 ± 1.29	7.08 ± 1.56	6.71 ± 2.09^{abc}
100	4	3	7.25 ± 0.97^{abcdef}	6.33 ± 1.23	6.67 ± 2.02	3.25 ± 1.76^{ef}	6.17 ± 1.40	6.17 ± 1.40	4.17 ± 1.90^{g}
		5	7.50 ± 0.90^{abcd}	6.42 ± 1.16	6.83 ± 1.64	5.17 ± 1.75^{def}	6.42 ± 1.24	6.50 ± 1.24	5.33 ± 1.67^{defg}
		7	7.92 ± 1.21^{ab}	6.25 ± 1.10	6.58 ± 1.89	6.25 ± 2.75^{cd}	7.08 ± 1.15	6.67 ± 1.28	7.04 ± 1.67^{ab}
	6	3	6.75 ± 1.41^{defg}	6.33 ± 1.81	6.33 ± 1.77	4.83 ± 2.22^{g}	6.50 ± 1.50	5.92 ± 1.23	4.67 ± 1.48^{fg}
		5	7.75 ± 1.72^{abc}	6.08 ± 1.85	6.42 ± 1.54	6.08 ± 1.83^{cd}	6.50 ± 1.72	6.42 ± 1.79	5.42 ± 1.73^{def}
		7	8.00 ± 1.61^{a}	6.33 ± 2.21	6.08 ± 2.13	6.33 ± 2.21^{bcd}	6.92 ± 1.35	6.92 ± 1.80	6.50 ± 2.01^{abcd}
	8	3	6.67 ± 1.14^{defg}	6.42 ± 1.50	6.00 ± 1.35	5.83 ± 1.98^{cde}	6.25 ± 1.13	6.42 ± 1.32	5.58 ± 1.31^{cdef}
		5	6.67 ± 1.11^{defg}	6.83 ± 1.44	6.75 ± 1.41	6.83 ± 2.13^{abc}	6.50 ± 1.35	6.67 ± 1.43	6.67 ± 1.50^{abc}
		7	6.75 ± 1.20^{defg}	6.58 ± 1.68	6.83 ± 1.63	6.83 ± 1.98^{abc}	6.92 ± 1.37	7.00 ± 1.33	7.50 ± 1.09^{a}

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p \leq 0.05$

ตารางที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยคะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง ที่ใช้เวลาการคืนรูปในน้ำเดือดแตกต่างกัน

อุณหภูมิการทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลาการต้ม (นาที)	เวลาการคืนรูป (นาที)	สี	ความสมบูรณ์ของเมล็ด	การเกาะติดกันของเมล็ด^{ns}	ความนุ่ม	กลิ่นหอม	รสชาติ^{ns}	การยอมรับรวม
80	4	3	8.50 ± 0.80^{a}	8.08 ± 0.90^{a}	8.92 ± 0.29	2.33 ± 1.30^{h}	5.75 ± 1.14^{bcde}	5.58 ± 1.16	2.08 ± 1.08^{j}
		5	7.25 ± 0.62^{bc}	6.75 ± 0.62^{f}	8.08 ± 1.00	4.50 ± 1.83^{efg}	5.75 ± 1.22^{bcde}	5.83 ± 1.19	3.75 ± 1.91^{hi}
		7	7.42 ± 0.67^{b}	7.33 ± 1.07^{bcdef}	8.17 ± 0.83	3.92 ± 1.78^{fg}	6.50 ± 1.17^{abc}	5.83 ± 0.94	4.17 ± 1.11^{ghi}
	6	3	7.17 ± 0.58^{bcd}	7.50 ± 1.09^{abcde}	7.50 ± 1.17	3.42 ± 1.98^{gh}	5.33 ± 1.83^{e}	5.67 ± 2.15	3.58 ± 1.44^{hi}
		5	7.17 ± 0.83^{bcd}	7.42 ± 0.67^{abcdef}	7.75 ± 1.06	5.00 ± 1.28^{cdef}	5.67 ± 1.23^{cde}	5.92 ± 1.00	4.50 ± 1.09^{efgh}
		7	7.08 ± 0.67^{bcde}	7.50 ± 1.09^{abcde}	7.67 ± 0.89	6.83 ± 1.75^{a}	6.58 ± 1.24^{abc}	6.33 ± 1.37	5.92 ± 1.24^{ab}
	8	3	6.17 ± 1.03^{f}	7.67 ± 0.98^{abcd}	7.00 ± 1.13	4.33 ± 1.72^{efg}	6.58 ± 1.24^{abc}	6.17 ± 1.03	5.17 ± 1.64^{cdef}
		5	7.00 ± 0.85^{bcde}	7.00 ± 0.95^{def}	6.92 ± 1.31	5.33 ± 1.07^{bcde}	6.33 ± 1.30^{abcd}	6.67 ± 1.44	5.50 ± 1.57^{abcde}
		7	6.67 ± 0.89^{cdef}	6.83 ± 1.11^{ef}	8.00 ± 0.85	7.25 ± 1.91^{a}	6.67 ± 1.15^{ab}	6.58 ± 1.16	6.33 ± 1.37^{ab}
	4	3	7.50 ± 1.09^{b}	8.00 ± 0.60^{ab}	7.67 ± 1.15	4.25 ± 1.86^{efg}	6.00 ± 1.21^{abcde}	6.17 ± 1.53	4.08 ± 1.44^{ghi}
		5	7.17 ± 1.03^{bcd}	7.75 ± 0.75^{abc}	7.75 ± 2.26	4.58 ± 2.27^{efg}	6.17 ± 1.03^{abcde}	5.67 ± 1.07	4.50 ± 1.73^{efgh}
		7	7.17 ± 0.83^{bcd}	6.83 ± 1.65^{ef}	7.42 ± 1.97	6.00 ± 2.30^{abcd}	6.25 ± 1.15^{abcde}	6.00 ± 1.52	5.33 ± 1.73^{bcde}
100	6	3	6.50 ± 1.18^{cdef}	7.67 ± 1.30^{abcd}	7.75 ± 2.73	3.50 ± 2.60^{gh}	5.50 ± 1.43^{de}	5.17 ± 1.68	3.42 ± 1.67^{j}
		5	7.25 ± 1.49^{bc}	7.33 ± 2.57^{bcdef}	6.67 ± 2.71	4.67 ± 2.47^{defg}	6.42 ± 1.04^{abcd}	6.17 ± 1.47	4.83 ± 1.47^{defg}
		7	6.83 ± 0.93^{bcdef}	7.17 ± 1.69^{cdef}	7.50 ± 2.00	6.33 ± 2.40^{abc}	6.67 ± 1.27^{ab}	6.67 ± 1.42	5.58 ± 1.31^{abcd}
	8	3	6.42 ± 0.88^{ef}	7.17 ± 0.72^{cdef}	7.83 ± 2.70	4.33 ± 2.97^{efg}	5.75 ± 1.35^{bcde}	6.25 ± 1.40	5.08 ± 1.56^{cdefg}
		5	6.58 ± 0.97^{cdef}	7.25 ± 1.67^{cdef}	7.58 ± 2.30	5.42 ± 2.39^{bcde}	6.50 ± 1.41^{abc}	6.25 ± 1.62	5.75 ± 1.91^{abcd}
		7	6.25 ± 1.25^{ef}	7.33 ± 1.67^{bcdef}	7.58 ± 2.21	6.67 ± 2.57^{abc}	6.83 ± 1.13^{a}	6.83 ± 1.28	6.42 ± 1.38^{a}

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ $p \leq 0.05$

4.3 การเสริมไอโอดีนในข้าวหุงสุกเร็วและการเปรียบเทียบสมบัติของข้าวหุงสุกเร็วที่เสริมและไม่เสริมไอโอดีน

4.3.1 การเสริมไอโอดีนในข้าวหุงสุกเร็วโดยวิธีการแช่

ข้าวหุงสุกเร็วที่เลือกได้จากการศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสม (ข้อ 4.2) ของข้าวสารพันธุ์ก.วก. 1 และเฉี้ยงพัทลุง ซึ่งได้แก่ นำข้าวสาร 50 กรัม แช่น้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา15 นาที แล้วนำมาต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 นาที และทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นำมาศึกษาการเสริมไอโอดีนโดยวิธีการแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) ที่มีปริมาณไอโอดีนแตกต่างกัน 2 ระดับ คือ มีปริมาณไอโอดีนคิดเป็นเท่ากับ 250 และ 500 ไมโครกรัมต่อข้าวสารที่ใช้ 50 กรัม โดยในการทดลองการเสริมไอโอดีนในข้าวหุงสุกเร็วโดยวิธีการแช่นี้ ใช้น้ำกลั่นปราศจากอิออน (deionized water) ตลอดการทดลอง ผลการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณไอโอดีนของข้าวสารและข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ก.ว.ก.1 และเฉี้ยงพัทลุง แสดงดังตางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ปริมาณไอโอดีนในข้าวสารและข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวพันธุ์ ก.วก.1 และเฉี้ยงพัทลุง

คุณลักษณะ	ปริมาณไอโอดีน (ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม, น้ำหนักแห้ง), (Mean ± SD)	
	ข้าวพันธุ์ก.ว.ก. 1	ข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง
ข้าวสาร	$4.41^{c} \pm 0.32$	$6.92^{c} \pm 0.11$
ข้าวหุงสุกเร็วไม่เสริมไอโอดีน (C0)	$5.37^{c} \pm 1.13$	$6.87^{c} \pm 0.12$
ข้าวหุงสุกเร็วเสริมไอโอดีน ที่ระดับ 250 ไมโครกรัมต่อข้าว 50 กรัม (C1)	$90.15^{b} \pm 1.00$	$91.35^{b} \pm 0.29$
ข้าวหุงสุกเร็วเสริมไอโอดีน ที่ระดับ 500 ไมโครกรัมต่อข้าว 50 กรัม (C2)	$92.51^{a} \pm 0.45$	$93.10^{a} \pm 0.72$

a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวหรือสดมภ์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวก.วก.1

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.25 พบว่าข้าวสารและข้าวหุงสุกเร็วที่ไม่เสริมไอโอดีนมีปริมาณไอโอดีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ได้แก่ 4.41 และ 5.37 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัมตามลำดับ และยังพบว่าระดับความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตมีผลให้ปริมาณไอโอดีนในข้าวหุงสุกเร็วของข้าวพันธุ์ก.วก. 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตที่สูง (C2) จะส่งผลข้าวหุงสุกเร็วมีปริมาณไอโอดีนคิดสูงกว่าที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตต่ำ (C1) ซึ่งมีปริมาณไอโอดีนในข้าวหุงสุกเร็วคิดเป็น 92.51 และ 90.15 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัม ตามลำดับและพบว่าเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกับ 2 ใน 3 เท่าของค่าความต้องการไอโอดีนของร่างกายในหนึ่งวันตาม Thai RDI ที่กำหนดเอาไว้ที่ 150 ไมโครกรัมต่อวัน (กรมอนามัย, 2532)

ข้าวเฉี้ยงพัทลุง

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.25 พบว่าข้าวสารและข้าวหุงสุกเร็วที่ไม่เสริมไอโอดีนจากพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงมีปริมาณไอโอดีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ได้แก่ 6.92 และ 6.87 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัมตามลำดับ และยังพบว่าระดับความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตมีผลให้ปริมาณไอโอดีนในข้าวหุงสุกเร็วของข้าวพันธุ์ก.วก. 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตที่สูง (C2) จะส่งผลข้าวหุงสุกเร็วมีปริมาณไอโอดีนคิดสูงกว่าที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตต่ำ (C1) ซึ่งมีปริมาณไอโอดีนในข้าวหุงสุกเร็วคิดเป็น 93.10 และ 91.35 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัมตามลำดับ และปริมาณดังกล่าวที่ใกล้เคียงกับ 2 ใน 3 เท่าของค่าความต้องการไอโอดีนของร่างกายในหนึ่งวันตาม Thai RDI ที่กำหนดเอาไว้ที่ 150 ไมโครกรัมต่อวัน (กรมอนามัย, 2532) เช่นเดียวกับพันธุ์ก.วก. 1

ในงานวิจัยของจารุภัทร ลือชา (2545) ซึ่งทดลองเสริมไอโอดีนในข้าวกล้องนึ่งโดยแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตที่มีปริมาณไอโอดีนคิดเป็น 500 และ 1000 ไมโครกรัมต่อข้าวกล้อง 100 กรัม พบว่าไม่มีความแตกต่างของระดับความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตต่อปริมาณของข้าวกล้องนึ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวกล้องนึ่งพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณไอโอดีนเป็น 90.79 และ 91.54 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สำหรับข้าวกล้องนึ่งพันธุ์พลายงาม 1 มีปริมาณไอโอดีนเป็น 98.35 และ 95.18 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาระดับความเข้มข้นที่ใช้เสริมไอโอดีน พบว่า

ความเข้มข้นของไอโอดีนที่ใช้ในงานวิจัยนี้เท่ากับความเข้มข้นที่ใช้ในงานวิจัยของจารุภัทร ลือชา (2545) และพบว่าตัวอย่างข้าวที่ศึกษา ต่างมีปริมาณไอโอดีนในช่วงค่าที่ใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 90 – 98 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

ในกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วประกอบด้วยการแช่ข้าว การให้ความร้อนโดยการต้ม การลดอุณหภูมิข้าวในน้ำเย็นและการทำแห้ง ข้าวหุงสุกเร็วต้องผ่านสภาวะการผลิตที่มีอุณหภูมิสูงและผ่านการแช่ในน้ำถึง 3 ครั้ง (การแช่ การต้ม และการลดอุณหภูมิในน้ำเย็น) แต่ยังพบว่าข้าวหุงสุกเร็วยังมีปริมาณไอโอดีนเหลืออยู่พอสมควร แสดงว่าไอโอดีนที่อาจเข้าไปทำพันธะกับองค์ประกอบภายในของข้าว เช่น สตาร์ช หรือ โปรตีนบอดี้

อย่างไรก็ตามระดับความเข้มข้นที่ C2 เข้มข้นเป็น 2 เท่าของ ความเข้มข้นที่ C1 แต่มีปริมาณไอโอดีนในข้าวหุงสุกเร็วนั้นไม่แตกต่างกันมากนัก อาจเนื่องมาจากไอโอดีนอาจถูกดูดซึมเข้าไปในเมล็ดข้าวได้อย่างจำกัด แม้ว่าจะใช้ระดับความเข้มข้นที่สูงกว่าระดับที่ใช้เสริมในการทดลองนี้ ก็อาจให้ส่งผลใกล้เคียงกันหรือไม่แตกต่างกันมากนัก หรืออาจเกิดจากความแม่นยำของวิธีการทดสอบนั้นอาจจำกัดอยู่ในช่วงความเข้มข้นหนึ่ง ๆ เท่านั้น

4.3.2 การเปรียบเทียบสมบัติของข้าวหุงสุกเร็วที่เสริมและไม่เสริมไอโอดีน

นำข้าวหุงสุกเร็วที่เสริมไอโอดีนที่ระดับ 250 และ 500 ไมโครกรัมต่อข้าว 50 กรัม จากข้าวพันธุ์ก.วก.1 และเฉี้ยงพัทลุงมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพบางประการ ได้แก่ ค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน ค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ ปริมาตรและความยาวเมล็ด และวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้าวก.วก.1

ผลการทดลองค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน (ตารางที่ 4.26) พบว่าตัวอย่างข้าวสารและข้าวหุงสุกเร็วมีความแตกต่างกันของค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน ($p \leq 0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างของค่าการเกิดเจลาติไนเซชันระหว่างตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วที่เสริมไอโอดีนทั้งสองระดับและข้าวหุงสุกเร็วที่ไม่เสริมไอดีน แสดงว่าไอโอดีนที่เข้าไปทำพันธะกับองค์ประกอบภายในข้าวไม่ส่งผลต่อการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าว

เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ พบว่าตัวอย่างข้าวสารและข้าวหุงสุกเร็วมีความแตกต่างกันของค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ ($p \leq 0.05$) โดยค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับของข้าวสารได้จากการต้มข้าว 10 กรัม ในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่ข้าวสุกสังเกตจากภายในเมล็ดข้าวไม่มีไตเหลืออยู่ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของค่าการเกิดเจลาติไนเซชันระหว่างตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วที่เสริมไอโอดีนทั้งสองระดับและข้าวหุงสุกเร็วที่ไม่เสริมไอดีน เช่นเดียวกับค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน

สำหรับค่าปริมาตรและความยาวเมล็ด พบว่าตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วพันธุ์ ก.วก. 1 มีปริมาตรสูงกว่าและความยาวเมล็ดมากกว่าตัวอย่างข้าวสารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่พบว่าความแตกต่างของปริมาตรและความยาวเมล็ดระหว่างตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วที่ไม่เสริมและเสริมไอโอดีนในแต่ละระดับ

ตารางที่ 4.26 ค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน ค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ ปริมาตรและความยาวเมล็ดของข้าวสาร ข้าวหุงสุกเร็วที่เสริมและไม่เสริมไอโอดีนจากพันธุ์ ก.วก. 1

ตัวอย่างข้าวพันธุ์ ก.วก. 1	ค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน, ร้อยละ	ค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ*	ปริมาตร* (ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม)	ความยาวเมล็ด** (มิลลิเมตร)
ข้าวสาร	$3.24^{b} \pm 0.61$	$2.31^{b} \pm 0.03$***	$1.06^{b} \pm 0.02$	$4.96^{b} \pm 0.03$
ข้าวหุงสุกเร็วไม่เสริมไอโอดีน	$95.34^{a} \pm 1.79$	$2.95^{a} \pm 0.02$	$1.78^{a} \pm 0.01$	$7.29^{a} \pm 0.15$
ข้าวหุงสุกเร็วเสริมไอโอดีนระดับที่ C1	$94.97^{a} \pm 2.11$	$2.92^{a} \pm 0.01$	$1.76^{a} \pm 0.02$	$7.34^{a} \pm 0.16$
ข้าวหุงสุกเร็วเสริมไอโอดีนระดับที่ C2	$95.42^{a} \pm 1.89$	$2.96^{a} \pm 0.04$	$1.75^{a} \pm 0.03$	$7.^{38a} \pm 0.07$

* ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำสุ่มวิเคราะห์ 2 ครั้ง

** ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำสุ่มวัดความยาวเมล็ด 10 ครั้ง

*** ได้จากการนำข้าวสาร 10 กรัม ต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาทีแล้วหาน้ำหนักข้าวที่เปลี่ยนไป

C1 และ C2 ความเข้มข้นที่มีปริมาณไอโอดีนคิดเป็น 250 และ 500 ไมโครกรัมต่อข้าวสาร 50 กรัม

a,b,.. ตัวเลขในสดมภ์ที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันทางสถิติ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.05$)

ข้าวเฉี้ยงพัทลุง

ผลการทดลองค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน (ตารางที่ 4.27) พบว่าตัวอย่างข้าวสารและข้าวหุงสุกเร็วมีความแตกต่างกันของค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน ($p \leq 0.05$) แต่ไม่พบความแตกต่างของค่าการเกิดเจลาติไนเซชันระหว่างตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วที่เสริมไอโอดีนทั้งสองระดับและข้าวหุงสุกเร็วที่ไม่เสริมไอดีน แสดงว่าไอโอดีนที่เข้าไปทำพันธะกับองค์ประกอบภายในข้าวไม่ส่งผลต่อการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าว สำหรับค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ พบว่าตัวอย่างข้าวสารและข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงมีความแตกต่างกันของค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ ($p \leq 0.05$) โดยค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับของข้าวสารได้จากการต้มข้าว 10 กรัม ในน้ำเดือดเป็นเวลา 12 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่ข้าวสุกสังเกตจากภายในเมล็ดข้าวไม่มีไตเหลืออยู่ นอกจากนี้ พบว่าตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วที่เสริมไอโอดีนทั้งสองระดับและข้าวหุงสุกเร็วที่ไม่เสริมไอดีน ไม่มีความแตกต่างของค่าการเกิดเจลาติไนเซชันระหว่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกับค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน

ตารางที่ 4.27 ค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน ค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ ปริมาตรและความยาวเมล็ดของข้าวสาร ข้าวหุงสุกเร็วที่เสริมและไม่เสริมไอโอดีนจากพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง

ตัวอย่างข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง	ค่าการเกิดเจลาติไนเซชัน, ร้อยละ	ค่าสัดส่วนการดูดน้ำกลับ*	ปริมาตร* (ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม)	ความยาวเมล็ด** (มิลลิเมตร)
ข้าวสาร	$0.09^{b} \pm 0.11$	$2.87^{b} \pm 0.02$***	$1.15^{b} \pm 0.02$	$6.63^{b} \pm 0.08$
ข้าวหุงสุกเร็วไม่เสริมไอโอดีน	$93.24^{a} \pm 1.01$	$3.19^{a} \pm 0.01$	$1.73^{a} \pm 0.03$	$9.60^{a} \pm 0.21$
ข้าวหุงสุกเร็วเสริมไอโอดีนระดับที่ C1	$94.06^{a} \pm 1.27$	$3.18^{a} \pm 0.06$	$1.74^{a} \pm 0.03$	$9.58^{a} \pm 0.18$
ข้าวหุงสุกเร็วเสริมไอโอดีนระดับที่ C2	$93.96^{a} \pm 1.72$	$3.17^{a} \pm 0.04$	$1.73^{a} \pm 0.02$	$9.60^{a} \pm 0.11$

* ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำสุ่มวิเคราะห์ 2 ครั้ง

** ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำสุ่มวัดความยาวเมล็ด 10 ครั้ง

*** ได้จากการนำข้าวสาร 10 กรัม ต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 นาทีแล้วหาน้ำหนักข้าวที่เปลี่ยนไป

C1 และ C2 ความเข้มข้นที่มีปริมาณไอโอดีนคิดเป็น 250 และ 500 ไมโครกรัมต่อข้าวสาร 50 กรัม

a,b,.. ตัวเลขในสดมภ์ที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันทางสถิติ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.05$)

ค่าปริมาตรและความยาวเมล็ด พบว่าข้าวหุงสุกเร็วจากพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงมีปริมาตรสูงกว่าและความยาวเมล็ดมากกว่าตัวอย่างข้าวสารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่พบว่าความแตกต่างของปริมาตรและความยาวเมล็ดระหว่างตัวอย่างข้าวหุงสุกเร็วที่ไม่เสริมและเสริมไอโอดีนในแต่ละระดับ

อย่างไรก็ตาม อาจทำการศึกษาการผลของการเสริมไอโอดีนในข้าวหุงสุกเร็วเพิ่มเติม ได้แก่ ปริมาณและลักษณะของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตหลังการเสริมไอโอดีน โครงสร้างเนื้อเยื่อของเมล็ดโดยเทคนิค SEMเพื่อดูรอยร้าว และช่องว่างภายในเมล็ด เป็นต้น ซึ่งอาจทำให้ทราบถึงผลของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยากับข้าวได้ลึกซึ้งขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย