การผลิตข้าวกล้องมอลต์จากข้าวไร่พื้นที่สูงในจังหวัดเชียงใหม่

Production of Brown Rice Malt from Upland Rice in Chiangmai Province

ยุพกนิษฐ์ พ่วงวีระกุล รัชฎาพร อินพา และทิพวรรณ ใจกว้าง
คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยรังสิต อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000
E-mail: lombiotec@yahoo.com

บทคัดย่อ

การผลิตข้าวกล้องมอลต์ระดับโรงงานต้นแบบนี้ มีวัตถุดิบเป็นข้าวเปลือกจากข้าวไร่พื้นที่สูงในพื้นที่ อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ จำนวน 8 สายพันธุ์ แบ่งเป็น ข้าวเหนียว 4 สายพันธุ์ ได้แก่อาร์ 258 ขาวโป่งไคร้ ซิวแม่จัน เหมยนอง 62 เอ็ม และข้าวเจ้า 4 สายพันธุ์ ได้แก่ น้ำรู แดงหอม เจ้าขาว ลีซอ โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิในการงอกที่ 20 และ 30 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณวิตามินบี 1 ในข้าวกล้องมอลต์ทุกสายพันธุ์ เพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่องอกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สำหรับผลทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับมอลต์ข้าวเจ้ากล้องและมอลต์ข้าวเหนียวกล้องทุกสายพันธุ์ ในปัจจัยด้านความนุ่ม ความเหนียว ความเลื่อมมัน กลิ่น รส สีและความชอบรวม ไว้ในระดับเดียวกันคือชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ได้คัดเลือกตัวแทนข้าวเจ้าและข้าวเหนียวจากปริมาณการเพิ่มของวิตามินบี 1 พบว่าปริมาณวิตามินบี1 มีการเพิ่มสูงสุดในข้าวเจ้าสายพันธุ์แดงหอมที่ผ่านการงอก 48 ชั่วโมง ส่วนในกลุ่มข้าวเหนียว พบว่าเป็นข้าวเหนียวสายพันธุ์อาร์258 ที่ผ่านการงอก 60 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบสารอาหารระหว่างข้าวมอลต์สายพันธุ์คัดเลือกและข้าวกล้อง พบว่าข้าวกล้องมอลต์แดงหอมมีการเพิ่มขึ้นของวิตามินบี 1 เท่ากับ 33 เท่า กรดแกมมา-แอมิโนบิวทิริก (สารกาบา) เพิ่มขึ้น 2.9 เท่า ใยอาหารเพิ่มขึ้น 1.2 เท่า ส่วนข้าวกล้องมอลต์อาร์258 มีการเพิ่มขึ้นของวิตามินบี 1 เท่ากับ 14.7 เท่า สารกาบาเพิ่มขึ้น 1.6 เท่า ใยอาหารเพิ่มขึ้น 1.4 เท่าจากข้าวกล้อง และพบว่าความร้อนที่ใช้ในการแปรรูปข้าวมอลต์สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระ รวมถึงค่า TBA และเพอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นดัชนีความหืนจากข้าวกล้องได้ใกล้เคียงกันในข้าวทั้งสองสายพันธุ์เฉลี่ยเท่ากับ 2.7 1.4 และ 1.4 เท่า ตามลำดับ

คำสำคัญ: ข้าวงอก ข้าวมอลต์ การผลิตข้าวมอลต์ ข้าวไร่พื้นที่สูง

Abstract

Pilot plant scale of brown rice malt production from 8-varieties upland paddy rice was devided into 2 categories, 4-varieties of sticky rice; namely, R 258, Khao Pong Kri, Sewmaechan, Mueynawng 62M and 4-varieties of non-sticky rice; namely, Namru, Daenghom, Jao khao and Leesaw. This research was conducted to investigate the effects of steeping and germination temperature comparing between 20 and 30°C. The result revealed that all varieties had the highest content of vitamin B1 at 30°C malting temperature. The sensory evaluation by organoleptic test indicated softness, stickiness, glossy, aroma, taste, color and overall acceptance were the same level of slightly like to moderately like. On consideration of the increasing of vitamin B1 content, Daenghom and R 258 were selected as representations of non-sticky and sticky varieties. The highest content of vitamin B1 were found at 48-h and 60-h of germination for Daenghom and R 258, respectively. The accumulation of vitamin B1, gamma-amino butyric acid (GABA), and fiber in Daenghom were 33.0, 2.9 and 1.2 fold, respectively

while R 258 were 14.7, 1.6 and 1.4 fold, respectively. Rancidity parameters of the final product from R 258 and Daenghom were decrease from brown rice which was according to the heat in the malting process. It was found that the average of free fatty acid, peroxide value and TBA were decreased to 2.7, 1.4 and 1.4 fold, respectively.
Keywords: germinated rice, malted rice, rice malt production, upland rice

บทนำ

ด้วยความต้องการเสนอแนวทางต่อยอดในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับข้าวไร่พื้นที่สูงทั้งข้าวเหนียวและข้าวเจ้าที่มีรายงานวิจัยเบื้องต้นถึงคุณภาพทางโภชนาการที่ดี แต่ยังมีปัญหาด้านคุณภาพข้าวสุกที่ค่อนข้างแข็งและขาดกลิ่นหอม โดยมุ่งเน้นสายพันธุ์ข้าวเหนียวและข้าวเจ้าพื้นเมืองที่ชาวเขานิยมปลูกบนดอย ในพื้นที่อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 8 สายพันธุ์ ทั้งนี้ทำการปรับปรุงคุณภาพข้าวให้มีสมบัติที่แตกต่างไปจากเดิมทั้งสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ด้วยวิธีการที่ได้การรับรองสิทธิบัตร 28281 (มหาวิทยาลัยรังสิตและสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2553) และอนุสิทธิบัตร 928 (มหาวิทยาลัยรังสิต, 2543) พร้อม ๆ กับการเพิ่มคุณค่าสารอาหารและสารชีวกิจกรรม (bioactive compound) (ดวงพรและคณะ, 2553; Kim และคณะ, 1993; Chavan และ Kadam, 1989; Charalampopoulos และ Wang, 2002) โดยนำข้าวเปลือกมาผ่านกระบวนการทำให้เกิดการงอก (malting process) ที่ประกอบด้วยการแช่ งอก และคั่ว (Brigg *et al*., 1981; Wolfgang,1999) เพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวมอลต์สำหรับหุงรับประทาน ที่แตกต่างไปจากการผลิตข้าวกล้องงอก (ยุพกนิษฐ์และชลมารค, 2553) การผลิตข้าวมอลต์เป็นการเปลี่ยน แปลงรูปลักษณ์ และสร้างมูลค่าด้วยวิธีที่ทำได้ง่าย ลงทุนต่ำ อีกทั้งเกษตรกรยังสามารถเก็บรักษาได้ง่ายในลักษณะข้าวเปลือกมอลต์จึงช่วยลดการสูญเสียและการสูญสลายของสารอาหารได้ตลอดอายุการเก็บ เป็นการเพิ่มทางเลือกในการแปรรูปข้าวแก่เกษตรกรที่สามารถดำเนินการได้จริงระดับครัวเรือน (ยุพกนิษฐ์และวาสนา, 2550) และมีความเป็นไปได้สอดคล้องกับนโยบายของศูนย์วิจัยข้าวไร่ อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ ในโครงการผลิตข้าวเพื่อความมั่นคงด้านอาหาร อันเป็นโครงการพระราชดำริ เพื่ออนุรักษ์สายพันธุ์ข้าวไร่ให้อยู่คู่วิถีชีวิตเพื่อการบริโภคเองและแปรรูปเป็นข้าวโภชนาการสูงอันเป็นอัตลักษณ์ของท้องถิ่นสืบไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะการงอกที่มีต่อปริมาณวิตามินบี 1 และสารกาบาในการผลิตข้าวมอลต์จากข้าวเหนียว

2. ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะการงอกที่มีต่อปริมาณวิตามินบี 1 และสารกาบาในการผลิตข้าวมอลต์จากข้าวเจ้า

3. ทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกตัวแทนสายพันธุ์ข้าวเหนียวและข้าวเจ้าและเปรียบเทียบโภชนาการกับข้าวกล้องก่อนการแปรรูป

ประโยชน์ที่ได้รับ

การแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวมอลต์นั้นนอกจากทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏที่แตกต่างอย่างสิ้นเชิงไปจากสายพันธุ์เดิมในด้าน สี กลิ่น รสแล้ว คุณสมบัติทางโภชนาการที่ดีขึ้น ยังช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องมอลต์มีความเป็นเอกลักษณ์ และเมื่อนำมาต่อยอดใช้กับข้าวไร่ พบว่าสามารถดำเนินการได้จริงและมีความเหมาะสมกับพื้นที่ เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่งอกมีความเหมาะสมต่อสายพันธุ์ อีกทั้งการคั่วข้าวเปลือกมอลต์ที่ต้องใช้ความร้อนสูงยังช่วยทำลายเอนไซม์ที่เร่งการหืนทำให้เก็บรักษาได้นานในรูปข้าวเปลือก จึงไม่เสื่อมง่ายเหมือนข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกทั่วไป การแปรรูปข้าวไรในวิธีการข้าวกล้องมอลต์จึงเพิ่มโอกาสทางการตลาด ที่สามารถขยายผลใช้ในพื้นที่ได้จริง ปี พ.ศ. 2553-ปัจจุบัน บริษัท อาร์เอสยู อินโนเวชั่น โปรดักส์ จำกัด ได้ให้การสนับสนุนกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดแพร่และน่าน โดยรับซื้อข้าวเปลือกมอลต์เพื่อนำมาแปรรูปเป็นแป้งมอลต์และ

สารสกัดมูลค่าสูงจำหน่ายให้กับ บริษัท ทิปโก้ฟูดส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและตัวอย่าง

ข้าวเปลือกข้าวไร่พื้นที่สูง จำนวน 8 สายพันธุ์ แบ่งเป็น ข้าวเหนียว 4 สายพันธุ์ ได้แก่อาร์ 258 ขาวโป่งไคร้ ชิวแม่จัน เหมยนอง 62 เอ็ม และข้าวเจ้า 4 สายพันธุ์ ได้แก่ น้ำรู แดงหอม เจ้าขาว ลีซอ จากศูนย์วิจัยข้าวสะเมิง อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ ปีที่เก็บเกี่ยว 2552 ที่ผ่านการทดสอบเปอร์เซ็นต์การงอกไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 (EBC, 1987)

ขั้นตอนการดำเนินการ

ขั้นตอนที่ 1 ผลิตข้าวกล้องมอลต์ระดับโรงงานต้นแบบและตรวจสอบปริมาณสารชีวกิจกรรมในเมล็ดข้าวไร่ 8 สายพันธุ์

ขั้นตอนที่ 2 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสข้าวกล้องมอลต์จากข้าวไร่ 8 สายพันธุ์

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ในข้าวกล้องมอลต์จากข้าวไร่สายพันธุ์คัดเลือกเปรียบเทียบกับข้าวกล้อง

วิธีการผลิตข้าวมอลต์

เริ่มจากนำข้าวเปลือก 8 สายพันธุ์ มาผ่านกระบวนการทำให้เกิดการงอก เพื่อแปรรูปเป็นข้าวเปลือกมอลต์ ที่ประกอบด้วยการแช่ งอก และคั่วระดับโรงงานต้นแบบในบ่อเพาะขนาดความจุ 1 ตัน และให้อากาศ 50 ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาที ที่ติดตั้งระบบปรับควบคุมอุณหภูมิน้ำ จากนั้นเพาะให้งอกในที่มืด โดยควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการงอกที่มีต่อปริมาณสารชีวกิจกรรม วิตามินบี 1 และสารกาบา ในทุกระยะการงอกเพื่อคัดเลือกสภาวะของการงอกโดยแปรผันอุณหภูมิที่ 20 และ 30 $^{\circ}$C และคัดเลือกอุณหภูมิและระยะที่สามารถเพิ่มระดับวิตามินบี 1 ได้สูงสุดในแต่ละสายพันธุ์ไว้ จากนั้นนำข้าวเปลือกมอลต์สดที่สภาวะดังกล่าวมาคั่วด้วยเครื่องคั่วลูกกลิ้งอุณหภูมิ 175-200 $^{\circ}$C เป็นเวลา 0.5-2 ชั่วโมง วิธีตามสิทธิบัตร 28281 (มหาวิทยาลัยรังสิตและสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2553) เพื่อลดความชื้นสุดท้ายเท่ากับร้อยละ14-16 และนำไปกะเทาะเปลือกให้เป็นข้าวกล้องมอลต์ด้วยเครื่องสีข้าวชุมชนของบริษัทนาทวีที่ปรับระดับการขัดสีสำหรับข้าวกล้อง

วิธีการเตรียมข้าวกล้องหุงสุกเพื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำข้าวกล้องมอลต์และข้าวกล้องควบคุมสายพันธุ์เดียวกัน ผสมกับน้ำในอัตราส่วนโดยน้ำหนักข้าว:น้ำเท่ากับ 1:1.5 และหุงในหม้อหุงข้าวไฟฟ้าตามปกติ และทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบระดับการยอมรับคุณภาพข้าวกล้องมอลต์หุงสุกจากข้าวไร่ 8 สายพันธุ์ ในผู้บริโภค จำนวน 55 คน โดยวิธี Hedonic Scale ในด้านความนุ่ม ความเหนียว ความเลื่อมมัน กลิ่น รส สี และความชอบรวม (ยุพกนิษฐ์และวาสนา, 2550) เพื่อใช้เป็นข้อมูลร่วมในการพิจารณาคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวเจ้าและสายพันธุ์ข้าวเหนียวที่เหมาะสมอย่างละหนึ่งสายพันธุ์

วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ในข้าวกล้องมอลต์ข้าวไร่สายพันธุ์คัดเลือก

วิเคราะห์คุณภาพข้าวกล้องมอลต์ข้าวเหนียวและข้าวเจ้าสายพันธุ์คัดเลือก ทางกายภาพ ได้แก่ค่า Bulk density (Carlson และคณะ, 1976) ค่าสี L^*, a^*, b^* ด้วยเครื่องวัดสี (Chroma meter) ค่าความชื้น คุณภาพทางเคมีโภชนาการพื้นฐาน ประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ ใยอาหาร คาร์โบไฮเดรต และเพิ่มเติมปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) ปริมาณแอมิโลส (amylose) กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ค่าเพอร์ออกไซด์ (peroxide value) ตามวิธี AOAC (2000) และ TBA (Wrolstad, 2005) รวมถึงสารกาบา (Kitaoka และ Nakano, 1969) ปริมาณวิตามินบี 1 (Lui และคณะ, 2002) และคุณภาพทางจุลินทรีย์ยีสต์รา และแบคทีเรียทั้งหมด ตามวิธี AOAC (2000) เปรียบเทียบกับข้าวกล้องเริ่มต้นที่มิได้ผ่านการแปรรูป

การวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธีการ Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณสารชีวกิจกรรมในระหว่างการงอก

ปริมาณสารชีวกิจกรรมในข้าวเหนียวและข้าวเจ้าเปรียบ เทียบระหว่างอุณหภูมิในการงอก ที่ 20±1 °C และที่ 30±1 °C แสดงผลในตารางที่ 1-2 และ 3-4

ตารางที่ 1 ปริมาณสารกาบา (มก./100 ก.) ในการงอกของข้าวเปลือกเหนียว 4 สายพันธุ์ ที่อุณหภูมิ 30 และ 20 °C

ชั่วโมงการงอก	อาร์ 258		ขาวโป่งไคร้		เหมยนอง 62 เอ็ม		ชิวแม่จัน	
	30°C	20°C	30°C	20°C	30°C	20°C	30°C	20°C
0	2.28±0.003^{i}	3.49±0.009^{i}	1.04±0.019^{j}	2.25±0.003^{k}	8.38±0.002^{k}	6.23±0.003^{i}	1.04±0.012^{i}	6.89±0.009^{b}
12	2.81±0.006^{h}	3.75±0.007^{h}	2.36±0.007^{h}	5.30±0.009^{j}	16.55±0.012^{j}	4.10±0.003^{k}	1.50±0.007^{h}	7.42±0.009^{a}
24	3.57±0.007^{e}	4.50±0.010^{f}	3.62±0.013^{f}	6.84±0.006^{g}	17.17±0.021^{i}	5.19±0.003^{j}	2.33±0.006^{g}	5.29±0.006^{c}
36	4.10±0.009^{c}	5.12±0.003^{e}	6.22±0.012^{d}	5.90±0.009^{h}	19.59±0.029^{h}	11.16±0.009^{g}	4.11±0.019^{d}	3.55±0.009^{f}
48	2.84±0.001^{h}	6.94±0.012^{c}	8.53±0.006^{b}	9.40±0.009^{e}	20.57±0.018^{g}	11.96±0.012^{f}	2.85±0.007^{f}	4.32±0.009^{d}
60	3.63±0.006^{d}	7.66±0.014^{b}	4.19±0.006^{e}	8.17±0.003^{f}	22.01±0.010^{f}	14.57±0.003^{b}	3.85±0.009^{e}	3.32±0.003^{g}
72	3.11±0.250^{g}	5.91±0.012^{d}	1.55±0.026^{i}	19.70±0.006^{a}	29.44±0.008^{c}	15.33±0.024^{a}	4.03±0.018^{d}	1.02±0.012^{h}
84	4.14±0.001^{c}	6.94±0.009^{c}	3.09±0.024^{g}	11.58±0.013^{b}	37.14±0.014^{b}	13.50±0.003^{d}	5.12±0.006^{c}	0.76±0.010^{i}
96	3.39±0.006^{f}	3.32±0.006^{j}	3.61±0.006^{f}	9.55±0.007^{d}	38.01±0.025^{a}	13.93±0.010^{c}	6.82±0.012^{b}	3.33±0.006^{g}
108	5.98±0.008^{a}	8.49±0.003^{a}	7.25±0.024^{c}	11.14±0.001^{c}	26.74±0.021^{d}	9.68±0.010^{h}	7.21±0.006^{a}	4.33±0.007^{d}
120	4.70±0.000^{b}	4.29±0.009^{g}	11.10±0.003^{a}	5.60±0.009^{i}	22.67±0.022^{e}	13.26±0.009^{e}	2.35±0.003^{g}	4.13±0.009^{e}

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับความเชื่อมั่น95%($p<0.05$)

จากตารางที่ 1 พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลางอก ปริมาณสารกาบามีแนวโน้มเพิ่มจากเริ่มต้น สอดคล้องกับรายงานของ Ohtsubo และคณะ (2005) และขึ้นสู่ระดับสูงสุด จากนั้นมีแนวโน้มคงที่หรือลดลง และมีรูปแบบเหมือนกันในข้าวเหนียวทุกสายพันธุ์ ไม่ว่าทำการงอกที่อุณหภูมิ 20 หรือ 30 °C โดยระดับสูงสุดของสารกาบาแปรผันตามสายพันธุ์ข้าว ขึ้นอยู่กับปริมาณเริ่มต้นของ glutamic acid ซึ่งเป็นสับสเทรตที่มีไม่เท่ากันในคัพภะของข้าวแต่ละสายพันธุ์ เช่นเดียวกับที่มีรายงานไว้โดย Saikusa และคณะ (1994) ซึ่งได้ดำเนินการทดลองในข้าวญี่ปุ่น 10 สายพันธุ์ และพัชรี ตั้งตระกูลและคณะ (2549) ได้ดำเนินการทดลองในข้าวไทย 14 สายพันธุ์ และ Varanyanond และคณะ (2005) ได้ดำเนินการทดลองในข้าวไทย 6 สายพันธุ์ และพบว่าปริมาณกาบาถูกสร้างและสะสมเพิ่มขึ้นในอัตราที่แตกต่างกันเป็นลักษณะเฉพาะของข้าวแต่ละสายพันธุ์ และเป็นที่น่าสังเกตว่าอุณหภูมิการงอกที่ 20 °C มีผลต่อการสังเคราะห์ สารกาบาได้ในปริมาณสูงภายในเวลาที่เร็วกว่าการงอกที่อุณหภูมิ 30 °C ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มปริมาณสารกาบาในข้าวไร่ข้าวเหนียวทุกสายพันธุ์ ยกเว้นเหมยนอง 62 เอ็ม คือ 20 °C

ตารางที่ 2 ปริมาณสารกาบา (มก./100 ก.) ในการงอกของข้าวเปลือกเจ้า 4 สายพันธุ์ ที่อุณหภูมิ 30 และ 20 °C

ชั่วโมงการงอก	ลีซอ		น้ำรู		แดงหอม		เจ้าขาว	
	30°C	20°C	30°C	20°C	30°C	20°C	30°C	20°C
0	5.86±0.130^{bc}	3.33±0.005^{g}	5.16±0.006^{f}	7.35±0.003^{i}	4.49±0.003^{h}	2.65±0.009^{k}	3.87±0.007^{h}	1.75±0.006^{i}
12	5.86±0.130^{bc}	4.31±0.006^{f}	5.68±0.003^{e}	7.89±0.006^{f}	5.74±0.006^{e}	3.68±0.003^{i}	3.56±0.006^{g}	1.25±0.020^{k}
24	6.45±0.009^{a}	8.12±0.000^{a}	6.45±0.000^{c}	7.90±0.003^{f}	4.74±0.003^{g}	3.29±0.003^{j}	5.91±0.007^{e}	1.52±0.003^{j}
36	6.46±0.006^{a}	6.39±0.010^{c}	6.97±0.020^{b}	8.45±0.003^{c}	6.96±0.003^{c}	6.99±0.003^{e}	3.11±0.003^{j}	4.35±0.006^{h}
48	5.84±0.003^{b}	5.63±0.006^{d}	7.74±0.003^{a}	10.65±0.006^{a}	6.96±0.007^{c}	7.23±0.006^{d}	9.70±0.007^{b}	8.96±0.003^{d}
60	5.73±0.003^{c}	6.75±0.006^{b}	6.22±0.009^{d}	7.74±0.003^{h}	7.10±0.007^{b}	7.62±0.003^{c}	9.97±0.020^{a}	10.33±0.006^{a}
72	5.33±0.020^{d}	4.36±0.003^{e}	4.92±0.003^{g}	8.75±0.010^{b}	8.36±0.009^{a}	9.12±0.007^{a}	6.44±0.006^{d}	9.06±0.009^{c}
84	5.06±0.003^{e}	4.36±0.003^{e}	4.35±0.006^{h}	8.25±0.006^{d}	4.32±0.006^{i}	7.70±0.009^{b}	5.17±0.010^{f}	9.13±0.009^{b}
96	4.43±0.006^{f}	4.36±0.003^{e}	4.12±0.010^{i}	7.78±0.000^{g}	5.25±0.020^{f}	6.41±0.006^{f}	6.95±0.003^{c}	7.28±0.009^{e}
108	4.38±0.003^{g}	4.36±0.003^{e}	6.23±0.010^{d}	6.47±0.009^{j}	6.56±0.003^{d}	6.14±0.000^{g}	3.60±0.006^{g}	4.95±0.003^{f}
120	3.08±0.006^{h}	4.36±0.003^{e}	6.22±0.006^{d}	8.08±0.003^{e}	3.73±0.009^{j}	5.96±0.010^{h}	3.40±0.003^{i}	4.43±0.000^{g}

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับความเชื่อมั่น 95% ($p<0.05$)

จากตารางที่ 2 พบว่าการเพิ่มของสารกาบาในข้าว เปลือกเจ้าเกิดได้ดีเมื่อใช้อุณหภูมิในการงอกที่ต่ำกว่า เช่นเดียวกับข้าวเปลือกเหนียวในตารางที่ 1 สอดคล้องกับรายงานของ Qingyun และคณะ (2009) ที่กล่าวถึงการสังเคราะห์สารกาบาในพืชว่าสามารถถูกกระตุ้นได้จากความกดดันทางสภาพแวดล้อมเช่น การช็อคด้วยความเย็น และเนื่องจากการสะสมกาบา เริ่มต้นขึ้นจากกิจกรรมของเอนไซม์ glutamate decarboxylase หรือGAD (EC1.1.1.15) ดังนั้น สภาวะที่ช่วยชักนำให้เกิด activity ได้มากก็จะทำให้มีการสะสมกาบาได้มากตามไปด้วย (Shelp และคณะ, 1999) และยังสอดคล้องกับรายงานของ Cholewa และคณะ (1997) ซึ่งกล่าวถึงการเพิ่มขึ้นของกาบา ใน mesophyll cell ของ Asparagus sprengeri (*A. densiflorus*) จากการบ่มที่อุณหภูมิต่ำโดยพบว่าการบ่มที่อุณหภูมิ 20 °C เป็นเวลา 15 นาที เป็นสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด สามารถกระตุ้นให้เซลล์สังเคราะห์กาบาได้มากขึ้น จาก 2.7 เป็น 5.6 nmmol/10^6 เซลล์ โดยอธิบายว่า cold shock จะไปกระตุ้นการเริ่มต้นของ signal transduction pathway ที่มีผลไปเพิ่มปริมาณ Ca^{2+} ในไซโตพลาสซึม ซึ่งเป็นองค์ประกอบของโปรตีน CaM-binding protein ที่เป็น co-factor ของเอนไซม์ จึงชักนำให้ GAD ทำงานได้ดียิ่งขึ้น เร่งการเปลี่ยนกรดกลูตามิกเป็นกาบาได้มากขึ้น เนื่องจากเป็นเอนไซม์ชนิด PLP-dependent enzyme และ calmodulin – dependent enzyme ซึ่งกลไกนี้สนับสนุนโครงสร้างของเอนไซม์ที่ Baum และคณะ (1993) เคยรายงานไว้อีกด้วย

ตารางที่ 3 ปริมาณวิตามินบี 1 (มก./100 ก.) ในการงอกของข้าวเปลือกเหนียว 4 สายพันธุ์ ที่อุณหภูมิ 30 และ 20 °C

ชั่วโมงการงอก	อาร์ 258		ขาวโป่งไคร้		เหมยนอง 62 เอ็ม		ชิวแม่จัน	
	30°C	20°C	30°C	20°C	30°C	20°C	30°C	20°C
0	0.04±0.002^{h}	0.04±0.001^{f}	0.02±0.003^{e}	0.04±0.000^{d}	0.02±0.010^{f}	0.02±0.007^{e}	0.01±0.011^{cd}	0.02±0.003^{d}
12	0.08±0.003^{g}	0.08±0.002^{de}	0.04±0.012^{d}	0.04±0.007^{cd}	0.09±0.010^{e}	0.09±0.003^{d}	0.05±0.008^{b}	0.02±0.002^{d}
24	0.16±0.002^{f}	0.09±0.005^{d}	0.05±0.003^{d}	0.05±0.006^{c}	0.14±0.003^{d}	0.10±0.003^{d}	0.05±0.003^{b}	0.02±0.003^{d}
36	0.21±0.010^{e}	0.15±0.003^{c}	0.04±0.004^{d}	0.06±0.007^{c}	0.18±0.003^{c}	0.10±0.003^{d}	0.05±0.003^{b}	0.02±0.002^{d}
48	0.52±0.009^{d}	0.20±0.003^{bc}	0.07±0.015^{c}	0.06±0.004^{c}	0.22±0.003^{b}	0.13±0.003^{bc}	0.02±0.003^{c}	0.04±0.001^{c}
60	0.87±0.012^{a}	0.22±0.003^{b}	0.08±0.003^{c}	0.10±0.006^{b}	0.26±0.003^{a}	0.09±0.003^{d}	0.05±0.003^{b}	0.06±0.000^{b}
72	0.83±0.003^{a}	0.24±0.006^{a}	0.15±0.003^{a}	0.11±0.003^{b}	0.25±0.000^{a}	0.15±0.006^{a}	0.02±0.003^{c}	0.07±0.003^{a}
84	0.72±0.007^{b}	0.24±0.009	0.13±0.003^{b}	0.14±0.003^{a}	0.23±0.000^{ab}	0.12±0.003^{c}	0.04±0.008^{bc}	0.03±0.008^{cd}
96	0.64±0.012^{c}	0.23±0.003^{ab}	0.13±0.003^{b}	0.11±0.001^{b}	0.24±0.003^{ab}	0.14±0.003^{a}	0.08±0.003^{a}	0.02±0.003^{d}
108	0.73±0.009^{b}	0.21±0.003^{b}	0.12±0.009^{b}	0.13±0.007^{a}	0.25±0.006^{a}	0.15±0.003^{a}	0.08±0.008^{a}	0.04±0.013^{c}
120	0.76±0.004^{b}	0.24±0.009^{a}	0.12±0.008^{b}	0.14±0.002^{a}	0.26±0.003^{a}	0.14±0.008^{a}	0.08±0.003^{a}	0.07±0.001^{a}

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับความเชื่อมั่น 95% ($p<0.05$)

จากตารางที่ 3 เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการงอก ปริมาณวิตามินบี 1 มีแนวโน้มเพิ่มจากเริ่มต้น และขึ้นสู่ระดับสูงสุด จากนั้นมีแนวโน้มคงที่และมีรูปแบบที่เหมือนกันในข้าวทุกสายพันธุ์ ไม่ว่าทำการงอกที่อุณหภูมิ 20 หรือ 30 °C โดยระดับสูงสุดของวิตามินบี 1 นอกจากแปรผันตามสายพันธุ์ข้าวแล้ว ยังแปรผันตามอุณหภูมิในการงอก ด้วย Yamada และ Kawasaki (1980) ได้อธิบายการเพิ่มของวิตามินบี 1 ว่าเป็นผลมาจาก กิจกรรมของเอนไซม์ 2 ชนิด คือ thiamine phosphate synthase และ thiamine diphosphate kinase ทำหน้าที่สังเคราะห์วิตามินบี 1 โดยสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของเอนไซม์คือ pH 7.0-7.5 และอุณหภูมิ 30 - 35 °C ซึ่งเป็นสภาวะเดียวกับการงอกข้าวมอลต์ และจากตารางที่ 3 สามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่มีผลให้สารวิตามินบี 1 ในปริมาณสูงของข้าวไร่ข้าวเหนียวในระยะการงอก คือ อุณหภูมิ 30 °C

ตารางที่ 4 ปริมาณวิตามินบี 1 (มก./100 ก.) ในการงอกของข้าวเปลือกเจ้า 4 สายพันธุ์ ที่อุณหภูมิ 30 และ 20 °C

ชั่วโมงการงอก	ลีซอ		น้ำรู		แดงหอม		เจ้าขาว	
	30°C	20°C	30°C	20°C	30°C	20°C	30°C	20°C
0	0.02±0.003^{f}	0.02±0.003^{g}	0.10±0.008^{de}	0.06±0.001^{f}	0.06±0.007^{f}	0.05±0.003^{e}	0.05±0.003^{g}	0.03±0.003^{g}
12	0.04±0.003^{e}	0.05±0.003^{e}	0.07±0.003^{e}	0.24±0.006^{b}	0.17±0.003^{d}	0.14±0.10^{d}	0.09±0.003^{f}	0.04±0.006^{fg}
24	0.06±0.010^{d}	0.04±0.003^{f}	0.11±0.003^{d}	0.25±0.002^{b}	0.13±0.003^{e}	0.15±0.003^{d}	0.13±0.010^{e}	0.05±0.003^{f}
36	0.11±0.003^{c}	0.04±0.003^{f}	0.23±0.003^{a}	0.23±0.003^{bc}	0.25±0.003^{c}	0.20±0.006^{bc}	0.19±0.003^{c}	0.05±0.006^{f}
48	0.12±0.003^{c}	0.05±0.009^{e}	0.17±0.003^{bc}	0.22±0.006^{bc}	0.36±0.003^{a}	0.21±0.003^{bc}	0.16±0.004^{d}	0.09±0.003^{e}
60	0.11±0.003^{c}	0.08±0.003^{d}	0.17±0.003^{bc}	0.27±0.003^{b}	0.35±0.006^{a}	0.24±0.003^{b}	0.21±0.007^{bc}	0.12±0.003^{d}
72	0.18±0.003^{a}	0.15±0.003^{b}	0.18±0.003^{bc}	0.29±0.006^{a}	0.34±0.003^{ab}	0.25±0.006^{a}	0.23±0.003^{b}	0.19±0.003^{c}
84	0.17±0.003^{b}	0.13±0.003^{c}	0.15±0.007^{c}	0.25±0.003^{b}	0.33±0.012^{b}	0.24±0.002^{b}	0.25±0.003^{a}	0.22±0.006^{b}
96	0.12±0.003^{c}	0.19±0.003^{a}	0.19±0.003^{b}	0.12±0.002^{e}	0.35±0.003^{a}	0.22±0.001^{bc}	0.25±0.003^{a}	0.20±±0.06^{b}
108	0.15±0.003^{bc}	0.18±0.003^{ab}	0.18±0.010^{bc}	0.15±0.005^{d}	0.34±0.001^{ab}	0.19±0.003^{c}	0.24±0.003^{a}	0.25±0.003^{a}
120	0.16±0.003^{bc}	0.15±0.003^{b}	0.15±0.003^{c}	0.17±0.003^{c}	0.33±0.001^{b}	0.23±0.003^{b}	0.25±0.003^{a}	0.26±0.003^{a}

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับความเชื่อมั่น 95% ($p<0.05$)

จากตารางที่ 4 สามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่มีผลให้วิตามินบี1 ในปริมาณสูงของข้าวไร่ข้าวเจ้าในระยะการงอกคืออุณหภูมิ 30°C ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานวิจัยของวัฒนา ณัฏฐา และคณะ (2550) ที่ติดตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณวิตามินบี 1 ในขณะแช่ข้าวเจ้าขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเจ้าชัยนาท 1 ที่อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับที่ 25 35 และ 45 °C และพบว่าการเพิ่มขึ้นของวิตามินบี 1 ในข้าวทั้งสองสายพันธุ์ มีค่ามากสุดที่ 35 °C

ตารางที่ 5 ผลทางประสาทสัมผัสต่อมอลต์ข้าวไร่ 8 สายพันธุ์

กลุ่มข้าว	สายพันธุ์	ความนุ่ม	ความเหนียว	เลื่อมมัน	กลิ่น	รส	สี	ความชอบรวม
ข้าวเหนียว	อาร์ 258	6.9±1.29 NS	6.9±1.37 NS	6.3±1.70 NS	8.3±0.95 NS	8.0±1.05 NS	6.1±1.20 NS	7.2±1.03 NS
	ขาวโป่งไคร้	6.9±1.29 NS	6.9±1.37 NS	6.3±1.70 NS	8.4±1.70 NS	7.8±1.14 NS	6.2±1.32 NS	7.2±1.03 NS
	ชิวแม่จัน	6.9±1.29 NS	6.9±1.52 NS	6.3±1.70 NS	8.4±1.70 NS	7.9±1.20 NS	6.1±1.20 NS	6.9±1.45 NS
	เหมยนอง 62 เอ็ม	6.8±1.23 NS	7.1±1.58 NS	6.3±1.70 NS	8.4±1.70 NS	7.9±1.20 NS	6.1±1.20 NS	7.2±1.03 NS
ข้าวเจ้า	น้ำรู	7.0±1.51 NS	7.2±1.58 NS	6.4±1.78 NS	8.2±1.32 NS	8.4±0.97 NS	6.0±1.76 NS	7.6±1.43 NS
	แดงหอม	7.1±1.60 NS	7.4±1.78 NS	6.4±1.78 NS	8.2±1.14 NS	7.8±1.32 NS	6.6±1.26 NS	7.6±1.42 NS
	เจ้าขาว	7.1±1.51 NS	7.1±1.65 NS	6.3±1.93 NS	8.5±1.08 NS	8.3±0.95 NS	6.8±1.48 NS	7.0±1.15 NS
	ลีซอ	7.0±1.51 NS	7.3±1.64 NS	6.4±2.06 NS	8.5±1.08 NS	8.3±0.95 NS	6.7±1.63 NS	7.0±1.15 NS

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ NS เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับความเชื่อมั่น 95% (p<0.0)

จากตารางที่ 5 พบว่ามอลต์ข้าวไร่ทั้ง 8 สายพันธุ์ ได้รับการยอมรับในระดับเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ในการคัดเลือกสายพันธุ์ตัวแทนจากข้าวเหนียวและข้าวเจ้าจะพิจารณาร่วมกับปริมาณวิตามินบี 1 ซึ่งเป็นจุดขายของข้าวมอลต์ด้วย เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของวิตามินบี 1 ในข้าวมอลต์นั้นอยู่ในระดับที่สามารถนำมากล่าวอ้างในผลิตภัณฑ์ได้ว่าสูง (high) หรืออุดม (rich in) กล่าวคือมีปริมาณไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20 ของค่าที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป หรือ Thai Recommended Daily Intakes-Thai RDI ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 182 (2542) ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากปริมาณที่ Thai RDI กำหนดไว้ที่ระดับ 1.5 มิลลิกรัมแล้ว การมีปริมาณวิตามินบี1 ในระดับตั้งแต่ 0.3 มิลลิกรัมจึงถือว่าสูงได้ โดยเลือกจากปริมาณที่สังเคราะห์สูงสุดในระยะเวลาการงอกสั้นที่สุด ทำให้เลือกอาร์ 258 เป็นตัวแทนของข้าวเหนียว และแดงหอมเป็นตัวแทนของข้าวเจ้า ที่แนะนำให้มีการผลิตและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน และนำผลผลิตที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์เปรียบเทียบกับข้าวกล้องเริ่มต้น

4.2 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสข้าวกล้องมอลต์ข้าวไร่

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic Scale ในข้าวกล้องมอลต์ 8 สายพันธุ์ ในผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 55 คน แสดงผลในตารางที่ 5 พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับในปัจจัยความนุ่ม ความเหนียว เลื่อมมัน กลิ่น รส สี และความชอบรวมอยู่ในระดับที่ไม่แตกต่างกันคือชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

4.3 ผลวิเคราะห์คุณภาพข้าวกล้องมอลต์เปรียบเทียบกับข้าวกล้องของสายพันธุ์คัดเลือกโดยการนำข้าวเปลือกเจ้าแดงหอม และอาร์ 258 ที่ได้คัดเลือกไว้มาผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นข้าวเปลือกมอลต์และกะเทาะเปลือก ให้เป็นข้าวกล้องมอลต์ จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพเปรียบเทียบกับข้าวกล้องเริ่มต้น ทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ แสดงผลในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ เปรียบเทียบระหว่างข้าวมอลต์และข้าวกล้อง

คุณสมบัติ	รายการที่วิเคราะห์	ข้าวเหนียวอาร์ 258		ข้าวเจ้าแดงหอม	
		กล้อง	มอลต์	กล้อง	มอลต์
กายภาพ	ความชื้น (%)	10.53 ± 0.15^{a}	8.34 ± 0.06^{b}	10.50 ± 0.06^{a}	8.13 ± 0.06^{b}
	ค่าสี L^{*}	85.30 ± 0.06^{a}	74.32 ± 0.06^{b}	83.37 ± 0.00^{a}	78.98 ± 0.13^{b}
	a^{*}	0.9 ± 0.06^{b}	1.63 ± 0.14^{a}	0.90 ± 0.15^{b}	1.32 ± 0.06^{a}
	b^{*}	15.12 ± 0.15^{NS}	17.31 ± 00.0^{NS}	15.30 ± 0.13^{NS}	16.34 ± 0.13^{NS}
	Bulk density (g/cm^{3})	0.81 ± 0.05^{NS}	$0.80.\pm0.03^{NS}$	0.84 ± 0.04^{NS}	0.82 ± 0.03^{NS}
เคมี	แร่ธาตุ (%)	1.12 ± 0.08^{NS}	1.24 ± 0.08^{NS}	1.30 ± 0.06^{NS}	1.31 ± 0.16^{NS}
	ไขมัน (%)	2.80 ± 0.64^{NS}	2.90 ± 0.64^{NS}	3.89 ± 0.15^{NS}	3.90 ± 0.15^{NS}
	ใยอาหาร (%)	2.14 ± 0.01^{b}	3.06 ± 0.09^{a}	2.61 ± 0.06^{ab}	3.17 ± 0.17^{a}
	โปรตีน (%)	10.50 ± 1.95^{NS}	10.48 ± 1.96^{NS}	8.40 ± 1.92^{NS}	8.46 ± 1.95^{NS}
	คาร์โบไฮเดรต (%)	72.91 ± 8.50^{NS}	72.98 ± 8.2^{NS}	73.30 ± 8.1^{NS}	75.03 ± 7.7^{NS}
	วิตามินบี1 (mg/100g)	0.04 ± 0.03^{c}	0.59 ± 0.06^{a}	0.01 ± 0.06^{c}	0.33 ± 0.03^{b}
	กาบา (mg/100g)	2.27 ± 0.06^{c}	3.65 ± 0.02^{b}	2.37 ± 0.01^{c}	6.98 ± 0.23^{a}
	น้ำตาลรวม (mg%)	0.84 ± 0.06^{d}	11.90 ± 0.12^{a}	1.98 ± 0.32^{c}	5.96 ± 0.06^{b}
	แอมิโลส (%)	8.41 ± 1.24^{c}	7.01 ± 1.24^{d}	24.84 ± 0.01^{a}	23.07 ± 0.03^{b}
	กรดไขมันอิสระ (%)	1.45 ± 0.15^{a}	0.46 ± 0.15^{c}	1.08 ± 2.34^{b}	0.47 ± 0.05^{c}
	เพอร์ออกไซด์ (g/Kg)	25.74 ± 1.83^{a}	19.20 ± 1.65^{b}	24.06 ± 0.09^{a}	16.73 ± 1.73^{b}
	TBA (mmole/Kg)	12.65 ± 0.02^{a}	8.55 ± 0.15^{b}	11.59 ± 1.03^{a}	7.65 ± 0.09^{b}
จุลินทรีย์	Total Bacteria (CFU/g)	$2.5x10^{5}$	$1.5x10^{4}$	$2.2x10^{4}$	$1.1x10^{3}$
	Yeast & Mold (CFU/g)	180	75	125	59

ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ a,b,...ต่างกันในแนวนอน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับความเชื่อมั่น95% ($p<0.05$)
ตัวเลขที่มีอักษรกำกับ NS เหมือนกันในแนวนอน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับความเชื่อมั่น95% ($p>0.05$)

จากตารางที่ 6 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพระหว่างข้าวกล้องและข้าวกล้องมอลต์ พบว่าเมื่อเป็นข้าวกล้องมอลต์ ค่าความชื้นลดลงจากข้าวกล้องทั่วไปเพราะได้ผ่านความร้อนจากการคั่ว และยังส่งผลถึงค่าสีในด้านความสว่าง (L^{*}) ที่ลดลง ในขณะที่ค่าสีแดง (a^{*}) และค่าสีเหลือง (b^{*}) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ Wolfgang (1999) ได้อธิบายว่าในการเตรียมมอลต์ (บาร์เลย์) นั้น ต้องใช้ระยะเวลาเพาะนานเฉลี่ย 51 ชั่วโมง จึงเกิดการกระตุ้นการสร้างเอนไซม์ในกลุ่ม α-amylase และ protease เพื่อย่อยสตาร์ชและโปรตีนได้น้ำตาลและกรดแอมิโนที่มากขึ้น ซึ่งทำปฏิกิริยา maillard ได้สาร melanoidins ที่มีสีน้ำตาลแดง (reddish-brown color) เมื่อผ่านการให้ความร้อน และสอดคล้องกับรายงานวิจัยของยุพกนิษฐ์ และวาสนา

(2550) ที่เปรียบเทียบค่าสีระหว่างข้าวมอลต์และข้าวกล้องควบคุมพบว่าข้าวมอลต์มีค่าความสว่างต่ำกว่าในขณะที่มีค่าสีแดงและเหลืองสูงกว่าข้าวกล้อง และเมื่อพิจารณาจากค่า bulk density พบว่าข้าวมอลต์มีการลดลงของค่า bulk density จากข้าวกล้อง โดยทั่วไปแล้ว ค่า bulk density ในข้าวมีค่าเท่ากับ 0.56-0.86 g/cm^3 แตกต่างตามสายพันธุ์ข้าว (Battachaya และคณะ, 1972) เมื่อเตรียมเป็นมอลต์ค่าดังกล่าวลดลง อันเป็นผลเนื่องจากเมล็ดข้าวมอลต์มีความพรุนมากขึ้นจากกระบวนการทำให้เกิดการงอก พงษวัสดิ์ (2545) ได้อธิบายว่า bulk density ที่มีค่าต่ำ แสดงว่ามอลต์มีลักษณะเมล็ดที่เล็กและมีสตาร์ชในปริมาณที่น้อยกว่า เพราะ bulk density ใช้ในการตรวจสอบการเข้าไปย่อยสลายสตาร์ชของเอนไซม์ สตาร์ชที่ถูกย่อยมาก ค่า bulk density จึงลดลง ส่วนเมล็ดข้าวที่มีค่า bulk density มาก แสดงว่ายังมีส่วนของสตาร์ชที่เอนไซม์ยังย่อยไม่ได้เหลืออยู่มาก สำหรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไขมันและโปรตีน ในข้าวกล้องมอลต์พบว่าไม่แตกต่างจากข้าวกล้อง สอดคล้องกับที่มีในรายงานวิจัยจำนวนมาก (Briggs, 1998) ; (Wolfgang, 1999) ที่กล่าวว่าอาหารสะสมหลักที่ถูกย่อยสลายเพื่อใช้เป็นพลังงานสำหรับการเจริญและการหายใจของ arospire และrootlets ที่เมล็ดมีค่าต่ำ แสดงว่ามอลต์มีลักษณะเมล็ดที่เล็กและมีสตาร์ชในปริมาณที่น้อยกว่าเพราะ bulk density ใช้ในการนำมาใช้ก่อน คือสตาร์ช เนื่องจากมีปริมาณที่มากเป็นอันดับหนึ่งในเมล็ดถึงร้อยละ 50-63 และแมแทบอไลซ์ได้ง่ายที่สุด จึงแทบไม่สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไขมันหรือโปรตีนซึ่งถูกย่อยสลายในลำดับต่อมาแต่ในอัตราที่ช้ากว่า นอกจากนี้ Harris (1962) ยังรายงานถึงปริมาณของแอมิโลส เปรียบเทียบระหว่างบาร์เลย์และมอลต์ด้วย กล่าวคือปริมาณแอมิโลสที่พบในมอลต์ มีค่าเท่ากับ 6.37 ลดลงจากบาร์เลย์ซึ่งมี 6.72 กรัม/1000เมล็ด สอดคล้องกับการลดลงของสตาร์ชที่รายงานโดย Wolfgang (1999) จากเริ่มต้น 63%ในบาร์เลย์ เป็น 58% ในมอลต์ และในการเตรียมมอลต์คุณภาพดี พบการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลรวมซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสตาร์ช 300% ซึ่งในการทดลองนี้ก็ได้ผลสอดคล้องกัน และสอดคล้องกับรายงานวิจัยการเตรียมข้าวกล้องงอกจากข้าวชัยนาท 1 และขาวดอกมะลิ105 โดยวัฒนา ณัฏฐา และคณะ (2550) ที่พบว่าเมื่อเกิดการงอกปริมาณแอมิโลสลดลงจากข้าวกล้อง ส่วนการเพิ่มขึ้นของปริมาณใยอาหารและแร่ธาตุ เป็นผลจากการใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น (hydrothermal modification) ซึ่ง Juliano (1972) และ Juliano และ Bechtel (1985) อธิบายว่าทำให้การยึดติดของเยื่อหุ้มเมล็ดและเยื่อแอลิวโรนเข้ามาผนึกแนบแน่นกับเยื่อหุ้มผล และยังช่วยดูดซึมแร่ธาตุและวิตามินกลุ่มที่ละลายน้ำได้ดีจากเยื่อหุ้มผลและชั้นใต้เปลือกที่ผิวนอกของเมล็ดข้าวเข้าสู่เอนโดสเปิร์มด้านในของเมล็ด สำหรับการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์และค่า TBA เป็นผลจากความร้อนสามารถยับยั้งเอนไซม์ lipase ที่อุณหภูมิ 100 °C (Champagne, 2003); (Shastry และ Raghavendra, 1977) และเอนไซม์ lipoxygenase ที่อุณหภูมิ 60 °C (Ekin และคณะ, 1977); (Ory และ Flick, 1992) ผลการตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและจำนวนยีสต์ราต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมข้าวต้มกึ่งสำเร็จรูป 393 (2524) ที่มีการกำหนดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไว้ไม่เกิน 1x10^{5}โคโลนีต่อกรัม และจำนวนยีสต์ราไว้ไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัม

สรุปผลการวิจัย

1. อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกที่ทำให้ปริมาณสารกาบาเพิ่มสูงสุดสำหรับการผลิตข้าวมอลต์จากข้าวเหนียวสายพันธุ์ชิวแม่จัน ขาวโป่งไคร้ และเหมยนอง 62 เอ็ม คือ 20 °C มีระยะงอกสั้นกว่าที่อุณหภูมิ 30 °C โดยการเพิ่มของสารกาบามีค่าสูงสุดที่ระยะงอกเท่ากับ 12 72 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์อาร์ 258 พบว่ามีค่าสูงสุดที่ระยะงอกเท่ากับ 108 ชั่วโมง ทั้งสองอุณหภูมิ ในขณะที่การผลิตข้าวมอลต์จากมอลต์ข้าวเจ้าทุกสายพันธุ์ พบว่าการเพิ่มของสารกาบามีค่าสูงสุด ที่ระยะการงอกเดียวกันทั้งที่อุณหภูมิ 20 °C และ 30 °C โดยสายพันธุ์ลีซอ น้ำรู เจ้าขาว และแดงหอม มีระยะงอกเท่ากับ 24 48 60 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ

2. อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกที่ทำให้ปริมาณวิตามินบี 1 เพิ่มสูงสุดสำหรับการผลิตข้าวมอลต์จากข้าวเหนียวและข้าวเจ้า คือ 30 °C มีระยะงอกสั้นกว่าที่อุณหภูมิ 20 °C โดยข้าวมอลต์จากข้าวเหนียวสายพันธุ์อาร์ 258 มีระยะการงอกเท่ากับ 60 ชั่วโมง และข้าวมอลต์จากข้าวเจ้าสายพันธุ์แดงหอม มีระยะการงอกเท่ากับ 48 ชั่วโมงและเป็นสองสายพันธุ์ที่แสดงปริมาณวิตามินบี 1 ในระดับที่อ้างได้ว่าสูงตามเกณฑ์ Thai RDI

3. การทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับมอลต์ข้าวเจ้ากล้องและมอลต์ข้าวเหนียวกล้องในระดับเดียวกันคือชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ได้คัดเลือกสายพันธุ์แดงหอมเป็นตัวแทนข้าวเจ้าและสายพันธุ์อาร์ 258 เป็นตัวแทนข้าวเหนียวจากปริมาณการเพิ่มของวิตามินบี 1 และผลการเปรียบเทียบโภชนาการกับ ข้าวกล้องก่อนการแปรรูป พบว่าข้าวเจ้าสายพันธุ์แดงหอม มีการเพิ่มขึ้นของวิตามินบี 1 เท่ากับ 33.0 เท่า สารกาบาเพิ่มขึ้น 2.9 เท่า ใยอาหารเพิ่มขึ้น 1.2 เท่า และข้าวเหนียวสายพันธุ์อาร์ 258 มีการเพิ่มขึ้นของวิตามินบี 1 เท่ากับ 14.7 เท่า สารกาบาเพิ่มขึ้น 1.6 เท่า ใยอาหารเพิ่มขึ้น 1.4 เท่า

จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณวิตามินบี 1 ในข้าวกล้องมอลต์ทุกสายพันธุ์ มีการเพิ่มขึ้นจากข้าวกล้องเริ่มต้นเมื่องอกที่อุณหภูมิ 30 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีของประเทศ ทำให้ง่ายต่อการปฏิบัติจริง และความร้อนที่ใช้ในการแปรรูปสามารถลดดัชนีความหืน ช่วยทำให้การเก็บรักษาข้าวเปลือกมอลต์ทำได้ง่ายกว่าข้าวกล้อง ต่อเมื่อจะนำมาบริโภคหรือจำหน่ายจึงค่อยนำมากะเทาะเปลือก จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่จริงของอำเภอสะเมิง

ข้อเสนอแนะ

เพิ่มเติมการศึกษาอายุการเก็บรักษาข้าวกล้องมอลต์ที่ผลิตได้รวมถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่แปรรูปจากแป้งข้าวกล้องมอลต์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจาก IRPUS สกว. ปีการศึกษา 2552

เอกสารอ้างอิง

ดวงพร โชระเวก ศศิธร ปั้นคงและยุพกนิษฐ์ พ่วงวีระกุล. 2553. “การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินบี1 และสารกาบาในการผลิตข้าวกล้องงอกและข้าวมอลต์จากข้าวพิษณุโลก 2 ระดับห้องปฏิบัติการ”. Proceedings of RSU Research Conference 2010. P27

ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 182. 2542. “ฉลากโภชนาการ”,Thai Recommended Daily IntakesThai RDI.

พงษวัสดิ์ ภาโนมัย. 2545. “Malt Analysis Manual”. Khon Kaen Brewery CO. LTD.

พัชรี ตั้งตระกูล วารุณี วารัญญานนท์ วิภา สุโรจนะเมธากุล และลัดดา วัฒนศิริธรรม. 2549. “การเพิ่มปริมาณกรดแกมมา-แอมิโนบิวเทริกในคัพภะข้าวเจ้าและข้าวเหนียวโดยการแช่น้ำ”,การประชุมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 (STT32) . 264.

มหาวิทยาลัยรังสิตและสำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตร. 2553. “กระบวนการผลิตข้าวมอลต์พร้อมบริโภค”. สิทธิบัตรการประดิษฐ์เลขที่ 28281.

มหาวิทยาลัยรังสิต. 2543. “กระบวนการผลิตข้าวดัดแปรพิเศษให้มีสี กลิ่นรส ดีขึ้น”. อนุสิทธิบัตรเลขที่ 928.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมข้าวต้มกึ่งสำเร็จรูป. 2524. มอก.393-2524 สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม.

ยุพกนิษฐ์ พ่วงวีระกุล และชลมารค พ่วงวีระกุล. 2553. **การผลิตข้าวมอลต์นึ่งวิตามินบีสูงทางการค้า**. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน).

ยุพกนิษฐ์ พ่วงวีระกุล และวาสนา กล้าหาญ. 2550. **การเปลี่ยนแปลงปริมาณ GABA และวิตามินบี1 ระหว่างการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวนึ่งในข้าวงอกกล้องและข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105**. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยและพัฒนาภาครัฐร่วมเอกชนในเชิงพาณิชย์. สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา.

วัฒนา วัชรอาภาไพบูลย์ ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ อรพิน เกิดชูชื่น และทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย. 2550. “ผลของพีเอช อุณหภูมิ และเวลาการแช่ข้าวต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอก”.ว. วิทย์. กษ. 38 (6) (พิเศษ) : 169-172.

AOAC. (2000). Official Methods of Analysis. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia.

Battacharya, K.R., C.M. Sowbhagya, and S.Y.M. Indudhara (1972). “Some Properties of Paddy Rice and Rice and Their Interrelations”, **J.Sci.Food.Agric**. 23: 171-186.

Baum, G., Y.Chen, T. Arazi, H. Takatsuji and H. Fromm. 1993. “A Plant Glutamate Decarboxylase Containing a Calmodulin-binding Domain” **, Journal of Biology Chemistry**, 268: 19610-19617.

Briggs, D.E. 1998. “The Biochemistry of Malting”. Malts and Malting. **Blackie Acadamic and Professional**: 133-229.

Briggs, D.E., J.S.Hough, R. Stevens and T. W. Young. 1981. “Malting and malt types” Chapter 5. **Malts and Brewing Science**.Volume 1.New York. Chapman and Hall, 110-144.

Carlson, R.A., R.L. Roberts and D.F Farkas. 1976. “Preparation of Quick Cooking Rice Products Using a Centrifugal Fluidized Bed” **J. Food Sci**. 41. 1478.

Champagne, E.T. 2003. “Brown Rice Stabilization”. In Wasworth J.I. (eds). Rice Science and Technology. N.Y.: Marcel Rekker : 17-35.

Charalampopoulos, D. and R.S.S.Wang. 2002. “Application of cereals and cereal components in functional foods: a review”. **International Journal of Food Microbiology**.79: 131-141.

Chavan, J.K. and S.S. Kadam. 1989. “Nutritional improvement of cereals by sprouting”. **Critical Review in Food Science and Nutrition**. 28: 401-437.

Cholewa, E., J.C Andrzej, B.J. Shelp, W.A. Sedden, and A.W. Bown. 1997. “Cold Shock-stimulated γ-aminobutyric Acid Synthesis is Mediated by An Increase in Cystolic Ca^{2}, Not by An Increase in Cytosolic H^{+}”, **Canadian Journal Botany**. 75: 375-382.

Eskin, N.A.M., S.Grossman and A. Pinsky. 1977. “Biochemistry of Lipoxygenase in Relation of Food Quality”, Critical **Review in Food Science and Nutrition**. 16: 1-27.

European Brewery Convention. 1987. Analytica-EBC. 4th edition . Issued by the Analysis Committee of the EBC,

Harris, G. 1962. "Barley and Malt-Biology". **Biochemistry Technology** . London: Acadamic Press.

Juliano, B.O. 1972. "Rice". Rice Chemistry and Technology. 2nd ed. St. Pual, MI : The American Association of Cereal Chemist. Inc.

Juliano, B.O.and D.B. Bechtel. 1985. "The Rice Grain and Its Gross Composition", Rice Chemistry and Technology. 2nd ed. St. Pual, MI : The American Association of Cereal Chemist. Inc.

Kim, K.O., M.K.Kim, Y.Y.Kang and Y.C. Lee. 1993." Effects of malting condition on quality characteristics of malt and roasted malt extract". Cereal Chem 70 (4): 440-442.

Kitaoka, S. and Y. Nakano. 1969. "Colorimetric Determination of ω- Amino Acids" ,**The Journal of Biochemistry**. 66(1): 87-94.

Lui, S., Z. Zhang, Q. liu, H. Luo and Z. Wenxu. 2002. "Spectrophotometric Determination of Vitamin B1 in a Pharmaceutical Formulation Using Triphenylmethane Acid Dyes", **J. of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**. 30: 685-694.

Ohtsubo, K., K. Suzuki and T. Kasum. 2005. "Bio-functional Components in The Processed Pre-germinated Brown Rice by a Twin-Screw Extruder", **Journal of Food Composition and Analysis**. 18: 303-316.

Ory, R.L. and G.I. Flick. 1992. "Off-flavors on Rice and Rice Products", pp.77-102. In G. Charalambous. (ed). Off-Flavors in Foods and Beverages. Elsevier Science Publishers BV. Amsterdam.

Qingyun, B., M. Chai, Z.Gu., X. Cao, Y. Li and K. Li. 2009. "Effects of Components in Culture Medium on Glutamate Decarboxylase Activity During Germination", **Food Chemistry J**. 116: 152-157.

Saikusa, T., T. Horino and Y.Mori. 1994. "Accumulation of γ-Amino –n-Butyric Acid (GABA) in The Rice Germ During Water Soaking" BioSci. Biotech. Biochem. 58(12): 2291-2292

Shastry, B.S. and M.R. Raghavendra. 1977. "Histochemical Localization of Lipase in The Rice Grain". **J. Food Sci.Tech**. 14: 273-274.

Shelp, B.J., A.W. Bown and M.D McLean. 1999. "Metabolism and Functions of Gamma-Aminobutyric Acid" , Trends in Plant Science. 4(11): 446-452.

Varanyanon, W., P.Tangtrakul, , V.Surojanametakul, L. Watanasiritham, and Luxiang, W. 2005. "Effects of water soaking on gamma aminobutyric acid (GABA) in germ of different Thai rice varieties". KU J. 39: 411-415.

Wolfgang, K. 1999. "Malt Production" Technology Brewing and Malting,7th ed,VLB Berlin, verlagsabteilung: 88-170.

Wrolstad, R.E. 2005. "Lipids". Handbook of Food Analytical Chemistry. N.J. A John Wiley and Sons: 467-564.

Yamada, K. and T. Kawasaki. 1980. “Properties of The Thiamine Transport System in *Escherichia coli*”, **Journal of Bacteriology**, 141: 254-261**.**