บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษาสภาวะการงอกที่เหมาะสมของข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ ที่ให้ปริมาณกาบาสูงสุด (2) ประเมินคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวกล้องงอก (3) วิเคราะห์กิจกรรมการต้านออกซิเดชั่น ฤทธิ์การต้านอักเสบ ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลส การทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดจากข้าวกล้องงอก และ (4) การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องงอกและการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาวและเหนียวหลันตัน ด้วยวิธีการเพาะโดยการแช่ในสารละลายที่มี pH ต่างๆ เพาะในภาชนะปิดและเพาะในภาชนะเปิด จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการเพาะให้นานขึ้นทำให้มีปริมาณกาบาเพิ่มสูงขึ้นในทุกๆวิธีที่ใช้เพาะ($p<0.05$) ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเพาะข้าวกล้องทุกสายพันธุ์ คือ 48 ชั่วโมง การเพาะด้วยวิธีแช่ในสารละลาย Citric acid-Na_2HPO_4 buffer (pH 3) ที่อุณหภูมิ 40 °C ให้ข้าวกล้องงอกทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี เหนียวดำเปลือกขาว มีปริมาณกาบาสูงสุด (75.03, 53.53 และ 60.03 mg /100 g ตามลำดับ) รองลงมา คือ การเพาะในภาชนะปิดและการเพาะในภาชนะเปิด ตามลำดับ สำหรับข้าวพันธุ์เหนียวหลันตันเพาะในภาชนะปิดจะให้ข้าวกล้องงอกที่ได้มีปริมาณกาบาสูงสุด (94.91 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) รองลงมา คือ การเพาะในภาชนะเปิดและการแช่ในสารละลาย Citric acid-Na_2HPO_4 buffer (pH 3) ที่อุณหภูมิ 40 °C ตามลำดับ ดังนั้นสภาวะการงอกที่เหมาะสมที่ให้ปริมาณกาบาสูงสุด คือ การแช่ในสารละลาย Citric acid-Na_2HPO_4 buffer (pH 3) ใช้อัตราส่วนข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:2 ที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 48 ชั่วโมง ในพันธุ์ช่อลุง เล็บนกปัตตานี และเหนียวดำเปลือกขาว ในขณะที่ข้าวเหนียวหลันตัน ต้องเพาะในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิห้อง (30±2°C) นาน 48 ชั่วโมง หลังจากเพาะข้าวกล้องทั้ง 4 สายพันธุ์ตามสภาวะที่คัดเลือกพบว่า ข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์มีคุณค่าทางโภชนาการ คือ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต เถ้า และไขมันเพิ่มสูงขึ้น($p<0.05$) แต่มีปริมาณโปรตีนลดต่ำลง ($p<0.05$) สำหรับสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ พบว่าข้าวกล้องงอกส่วนใหญ่มีค่าของสารแกมมา-ออริซานอล ไม่ต่างจากข้าวกล้องก่อนเพาะ ในขณะที่ข้าวกล้องงอกทุกสายพันธุ์มีปริมาณไฟเตทลดลง ($p<0.05$) และมีปริมาณของสารฟีนอลิกทั้งหมด กรดเฟอรูริก โทโคฟีรอล และสารกาบา เพิ่มสูงขึ้น ($p<0.05$) โดยเฉพาะปริมาณกาบามีค่าเพิ่มขึ้น 6.80-20.69 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องก่อนเพาะ โดยข้าวเหนียวหลันตันมีปริมาณกาบาเพิ่มสูงขึ้นมากที่สุด รองลงมา คือ ข้าวพันธุ์ช่อลุง เหนียวดำเปลือกขาว และเล็บนกปัตตานี ตามลำดับ เมื่อนำข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์มาแยกเป็น 3 ส่วนคือ จมูกข้าว รำข้าว และเนื้อด้านในเมล็ด พบว่าในแต่ละส่วนมีปริมาณกาบาที่แตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยพบว่าส่วนจมูกข้าวมีปริมาณกาบาสูงที่สุด (180.70-429.06 mg /100 g) รองลงมา คือ รำข้าว (47.41-176.61)และส่วนเนื้อด้านในของเมล็ดข้าว (15.11-24.42 mg /100 g) ตามลำดับ และจากการทดสอบกิจกรรมการต้านออกซิเดชั่นของข้าวกล้องงอกทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่าข้าวเหนียวดำเปลือกขาวมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชั่นสูงสุด รองลงมาคือ ข้าวเหนียวหลันตัน ข้าวช่อลุง และข้าวเล็บนกปัตตานี ตามลำดับ

สำหรับฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลส พบว่าการเพาะในภาชนะเปิดมีผลให้ข้าวกล้องงอกมีศักยภาพในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลสจากน้ำลายและตับอ่อนดีกว่าการเพาะแบบแช่ในสารละลาย ข้าวกล้องงอกพันธุ์ช่อลุงและเล็บนกปัตตานีต้องใช้เวลาแช่ 24 ชั่วโมง จึงจะยับยั้งเอนไซม์อะไมเลสได้สูงสุด และเมื่อนำข้าวกล้องพันธุ์เล็บนกปัตตานีมาแยกเป็น 3 ส่วน คือ ข้าวกล้องทั้งเมล็ด จมูกข้าว และข้าวกล้องที่ไม่มีจมูกข้าว พบว่าส่วนจมูกข้าวมีการยับยั้งอะไมเลสได้สูงสุด (98.9% ที่ปริมาณ 200 มก. /มล.; IC_{50} ที่ 34.5 มก./มล.) รองลงมา คือ ข้าวกล้องที่มีจมูกและข้าวกล้องที่ไม่มีจมูกตามลำดับ เมื่อระยะเวลาการเพาะนานขึ้น มีผลเพิ่มฤทธิ์ในการยับยั้งอะไมเลส

ข้าวกล้องงอกพันธุ์ช่อลุงถูกเลือกมาเป็นตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลส การแยกสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ และการทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดจากข้าวกล้องงอก รวมถึงใช้เป็นตัวอย่างในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูป โดยพบว่าข้าวกล้องงอกมีปริมาณวิตามิน อี บี1 บี3และ บี 6 ลดต่ำลง ($p<0.05$) มีปริมาณแร่ธาตุลดลงจากข้าวกล้อง 21.5-95.7% รวมถึงมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟ่า-อะไมเลสได้ต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้อง ($p<0.05$) การแยกสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ สามารถแยกได้ 2 ชนิด สารชนิดที่ 1 แทบจะไม่มีสัญญาณโปรตอน และค่า IC_{50} > 100 μg/mL สารชนิดที่ 2 น่าจะเป็น Hydroxy Phenyllactic acid ซึ่งมีค่า IC_{50} = 107.7 μg/mL สำหรับการทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลันและพิษแบบเรื้อรังในสัตว์ทดลอง พบว่าสารสกัดจากข้าวกล้องงอกมีความปลอดภัยในสัตว์ทดลอง โดยการทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลันใช้ขนาดของสารสกัด (Dose) เท่ากับ 2 กรัม ต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัมของหนูถีบจักร และในขณะที่การทดสอบความเป็นพิษแบบเรื้อรังซึ่งทำการทดสอบกับหนูขาวใช้ขนาดของสารสกัดสูงถึง 300 mg/kg BW/day ซึ่งคิดเป็น 4 เท่าของปริมาณเฉลี่ยที่คนได้รับเมื่อบริโภคข้าวงอกทุกวัน วันละ 3 มื้อ ติดต่อกันนาน 12 สัปดาห์

การสำรวจความต้องการของผู้บริโภคกลุ่มผู้สูงอายุที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอก พบว่ากลุ่มผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสนใจกับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกกึ่งสำเร็จรูป/ สำเร็จรูป ซึ่งสูตรที่ได้รับคะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงสุด ในทุกๆปัจจัยที่ทำการทดสอบ คือ ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของข้าวกล้องงอก : น้ำ เท่ากับ 1:1.25 ซึ่งมีปริมาณกาบา เท่ากับ 1.94 mg /100 g มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 11.06 mg FAE/ 100 g มีกิจกรรมการต้านออกซิเดชันที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP เท่ากับ 10.54, 9.09 และ 7.13 mg FAE/ 100 g ตามลำดับ และจากการประเมินฤทธิ์ต้านการอักเสบของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป พบว่ามีฤทธิ์ต้านการอักเสบที่ IC_{50} > 100 μg/mL สำหรับฤทธิ์การยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลสจากตับอ่อนของผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปพบว่ามีค่าน้อยกว่าข้าวกล้องงอกและข้าวกล้อง ($p<0.05$)

นอกจากนี้จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น พบว่าผู้ตอบแบบสอบถาม 93.69% ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ในระดับชอบรวมปานกลาง (คะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 7.39) ถ้ามีผลิตภัณฑ์ชนิดนี้จำหน่ายในท้องตลาด จะมีผู้ที่สนใจซื้อ 82.57% และ

เมื่อรู้ว่าผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องงอกบรรจุกระป๋องนี้มีสารกาบาซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพความสนใจซื้อจะเพิ่มขึ้น จาก 82.57% เป็น 95.50% การให้ข้อมูลเกี่ยวกับประโยชน์ต่อสุขภาพทำให้มีโอกาสที่ผู้บริโภคจะเปลี่ยนใจซื้อสินค้าเพิ่มขึ้น 5.94 ถึง 19.66%

Abstract

This research aims to (i) study optimal condition for germination Southern Thai rice with the highest GABA content, (ii) evaluate nutritional composition and bioactive compounds in germinated brown rice, (iii) determine anti-oxidant activity, anti-inflammatory activity, inhibitory amylase enzyme activity and toxicity of germinated brown rice and the extracts and (iv) develope new product from germinated brown rice. Four Southern Thai rice varieties which two varieties are non-glutinous rice (Cholung and Leb Nok Pattani) and other two varieties are glutinous rice (Niaw Dam Peuak Khao and Niaw Lun Tun) were used to germinate with different methods (soaking in buffer solution with different pH, germinating in open and closed vessels). The results indicated that GABA content increased with increasing germination time ($p<0.05$) and the optimal time for germination of all varieties were 48 hr. The highest GABA contents were found in Cholung (75.03 mg /100 g), Leb Nok Pattani (53.53 mg /100 g) and Niaw Dam Peuak Khao (60.03 mg /100 g) respectively which were germinated by soaking in the Citric acid-Na_2HPO_4 buffer (pH 3) at 40 °C with ratio of brown rice and solution equal to 1:2, and germinated in closed and open vessels. While Niaw Lun Tun varieties gave 94.91 mg /100 g, germinating in closed vessel following by open vessel and by soaking in the Citric acid-Na_2HPO_4 buffer (pH 3) solution. Thus the optimum conditions for germination of three Southern Thai rice varieties (Cholung, Leb Nok Pattani and Niaw Dam Peuak Khao) were to soak the brown rice in the Citric acid-Na_2HPO_4 buffer (pH 3) at 40 °C for 48 hr with ratio of brown rice and solution equal to 1:2 while the other variety (Niaw Lun Tun) was germinated in the closed vessel at room temperature (30±2°C) for 48 hr. After germination, most nutritional components increased in all varieties ($p<0.05$) excepting protein content. The bioactive compounds in the germinated brown rice were found that the amount of γ-Oryzanol of all germinated brown rice were not significantly different from the ungerminated brown rice. The phytate content was significantly decreased while total

phenolic, ferulic acid, tocopherol and GABA contents were significantly increased in all germinated brown rice ($p<0.05$). Comparing to other bioactive compounds, the amount of GABA increased 6.80-20.69 times which was the highest rate. Niaw Lun Tun had the highest amount of GABA after germination, following by Cholung, Niaw Dam Peuak Khao and Leb Nok Pattani respectively. The germinated brown rice was separated into 3 parts; germ, bran and inner endosperm or white rice; had different amount of GABA ($p<0.05$). Germ gave the highest GABA content (180.70-429.06 mg /100 g), bran (47.41-176.61 mg /100 g) and inner endosperm (15.11-24.42 mg /100 g) respectively. For anti-oxidant activity, the results showed that Niaw Dam Peuak Khao had the highest activity, following by Niaw Lun Tun, Cholung, and Leb Nok Pattani respectively.

The inhibition α-amylase activity indicated that germination methods affected the inhibitory activity of α-amylase enzyme. Open vessel method showed the better activity in inhibiting α-amylase enzyme from saliva and pancreatic than of germinating with soaking in the buffer solution (pH 3). The optimum time that showed the highest inhibitory activity of Cholung and Leb Nok Pattani varieties (germinated by soaking in the buffer solution) was 24 hr. The brown rice, germ and brown rice without germ were determined the inhibitory activity of α-amylase enzyme. The highest inhibitory activity was found in germ (98.9% at 200 mg/mL; IC_{50} = 34.5 mg/mL.) following by brown rice and brown rice without germ respectively. The inhibitory activity increased with increasing germination time.

Germinated brown rice from Cholung variety was selected for product development as well as inhibition of α-amylase activity testing, anti-inflammatory activity and toxicity testing. After germination, activity of inhibition the α-amylase enzyme and the amount of vitamin E, B1, B3 and B6 were significantly decreased ($p<0.05$), including mineral content which was lower than brown rice 21.5-95.7%. After fractionation the extract, the results showed that 2 main compounds can be separated from the crude extract. The first

compound contained IC_{50} > 100 μg/mL and the second compound that might be Hydroxy Phenyllactic acid had IC_{50} = 107.7 μg/mL. For acute and sub-chronic toxicity testing, the results indicated that germinated brown rice extract had no toxicity to the rats. The extract dose used for acute toxicity that was 2g/kg BW of mice, while for sub-chronic toxicity that was 300 mg/ kg BW/day.

The target group of consumer in this research was the elderly (60 years olds up). From the consumer survey, the results showed that most consumers were interested in instant rice product. The canned germinated brown rice that prepared by using ratio of germinated brown rice and water equal to 1:1.25 was chosen for market survey because this product earned the highest sensory score. GABA and total phenolic contents in the product were 1.94 mg /100 g and 11.06 mg FAE/ 100 g respectively. Determining anti-oxidant activity by DPPH, ABTS and FRAP methods, the results showed that the product had anti-oxidant activity which were 10.54, 9.09 and 7.13 mg FAE/ 100 g respectively. This product possessed anti-inflammatory activity at IC_{50}> 100 μg/mL. For the inhibitory α-amylase activity, canned germinated brown rice product was lower activity than of germinated brown rice and brown rice respectively.

The result from marketing survey indicated that 93.69% of consumers accepted this product with the average 7.39 score. This score indicated that the consumers moderately like the product. The consumers were interested to purchase 82.57%, if this product available in the market. Moreover, the buying trend would increase from 82.57% to 95.50%, if health benefit of GABA was informed. Health benefit information will change consumers' mind to purchase this product from 5.94 to 19.66%.