บทความวิจัย

การพัฒนาอาหารเหลวสำเร็จรูปจากข้าวก่ำเพาะงอกชนิดลดน้ำตาลและเสริมใยอาหารสำหรับผู้สูงอายุ

ยุทธนา พิมลศิริผล[1*], สุทัศน์ สุระวัง[1], อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล[1], สุจินดา ศรีวัฒนะ[1], นิรมล อุตมอ่าง[2], จจิรา อิ่มอารมณ์[3], อรพรรณ แสงสี[1] และ นิธิยา รัตนาปนนท์[4]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเหลวสำเร็จรูปจากข้าวก่ำงอกชนิดลดน้ำตาลและเสริมใยอาหารสำหรับผู้สูงอายุ โดยพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเพาะข้าวก่ำงอกที่มีปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณกรดแกมมา-แอมิโนบิวเทริก (GABA) สูงที่สุดคือ การแช่สารละลายเบนโซเอตที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที แล้วนำไปเพาะงอกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สภาวะที่เหมาะสมในการย่อยข้าวก่ำเพาะงอกคือข้าวก่ำเพาะงอกร้อยละ 15 ปริมาณเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสร้อยละ 1.5 และเวลาในการย่อยข้าว 25 นาที โดยเสริมวิตามิน และแร่ธาตุในรูปของพรีมิกซ์ 2 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (250 มิลลิลิตร) ใช้เวลาฆ่าเชื้อ 17.64 นาที (ค่า $F_0 \geq 6$) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวสำเร็จรูปสำหรับผู้สูงอายุที่พัฒนาได้ มีวิตามิน และแร่ธาตุครบตามข้อกำหนดปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2546 โดยผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (EC_{50}) เท่ากับ 1.53 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคอยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.4-7.5)

คำสำคัญ: ข้าวก่ำ การเพาะงอก ผู้สูงอายุ แอนโทไซยานิน กรดแกมมา-แอมิโนบิวทิริก

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[2] ศูนย์วิจัยข้าวล้านนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[3] ภาควิชาการตลาด คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น

[4] สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน, e-mail: yuthana.p@cmu.ac.th

Development of Ready-To-Eat Liquid Food from Purple Glutinous Rice with Reduced Sugar and Enriched Fiber for Elderly

Yuthana Phimolsiripol[1*], Suthat Surawang[1], Israpong Pongsirikul[1], Sujinda Sriwattana[1], Niramon Uttama-ang[2], Jajira Imarromna[3] Orapan Sangsee[1] and Nithiya Rattanpanone[4]

ABSTRACT

The objective of this research was to develop the formula and process of easy-consumed with high value products by reduced sugar and enriched fiber from purple glutinous rice for elderly. Result showed that the optimal condition of germinated purple rice with the highest anthocyanin and gamma-aminobutyric acid (GABA) was steeped in sodium benzoate at 35°C for 1h and 45 min and germination time at 25°C for 24 h. The optimum formula and process of ready-to-eat liquid food from germinated purple rice were using 15% germinated purple rice, 1.5% enzyme α-amylase and digestion time 25 min. Vitamin and mineral premixes were used to fortify in these formulation of 2 g per serving size (250 mL). The minimized sterility value of F_0 greater than 6 was referred to as a process temperature of 121°C and process time 17.64 min. The developed product composed of nutrients vitamins and minerals, complied with the dietary reference intake. The EC_{50} of developed product was 1.53 mg/mL and it was accepted by consumers in the range of like moderately (7.4-7.5).

Keywords: purple glutinous rice, germination, elderly, anthocyanin, gamma-aminobutyric acid

[1]Division of Product Development Technology, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University

[2]Lanna Rice Research Center, Chiang Mai University

[3]Department of Marketing, Faculty of Business Administration, Far Eastern University

[4]Postharvest Technology Research Institute, Chiang Mai University

[*]Corresponding author, e-mail: yuthana.p@cmu.ac.th

บทนำ

ประเทศไทยมีแนวโน้มการเพิ่มประชากรผู้สูงอายุมากขึ้น โดยคาดว่าสัดส่วนของประชากรผู้สูงอายุในปี พ.ศ. 2558 มีประมาณ 9.1 ล้านคน หรือร้อยละ 13.2 ของประชากรทั้งหมด [1] เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างทางประชากรของประเทศ ทำให้ประเทศไทยกำลังเผชิญหน้ากับภาวะการณ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของประชากรสูงอายุ ปัญหาที่สำคัญทางสุขภาพอนามัยนับเป็นปัญหาสำคัญของผู้สูงอายุ ซึ่งกระทบต่อภาวะค่ารักษาพยาบาล อีกทั้งผู้สูงอายุยังมีความต้องการอาหารที่แตกต่างจากผู้บริโภควัยอื่นๆ ทั้งในด้านคุณค่าทางโภชนาการ คุณลักษณะของอาหาร ซึ่งต้องมีรูปแบบที่บริโภคได้ง่าย เช่นเคี้ยวง่าย หรือกลืนได้ง่าย พร้อมทั้งควรได้รับสารอาหาร โปรตีน แร่ธาตุ วิตามินต่างๆ และเส้นใยอาหารให้ครบถ้วน พร้อมทั้งมีปริมาณน้ำตาลลดลง การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปสำหรับผู้สูงอายุจึงเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแนวโน้มเป็นที่ต้องการของตลาด ไม่ว่าจะเป็นตลาดภายในประเทศ หรือต่างประเทศ

ข้าวก่ำเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกได้มากทางภาคเหนือ และประกอบด้วยแอนโทไซยานินที่มีสมบัติในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ชะลอการเสื่อมของเซลล์ร่างกาย ช่วยป้องกันโรคหัวใจ มีสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งลำไส้ มะเร็งปอด มะเร็งเต้านม [2] รวมทั้งแกมมาโอไรซานอล ซึ่งเป็นสารประกอบที่พบในข้าวเหนียวดำปริมาณสูงถึงร้อยละ 2.70 เมื่อเทียบกับข้าวขาวซึ่งมีประมาณร้อยละ 1.12 [3] ที่สามารถช่วยลดระดับคอเลสเทอรอล และไตรกลีเซอไรด์ และเพิ่มระดับของ high density lipoprotein (HDL) และยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งกระเพาะ ยับยั้งการหลั่งกรดในกระเพาะอาหาร และยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด ลดน้ำตาลในเลือด [4] อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์จากข้าวก่ำยังมีจำกัด การนำข้าวก่ำมาใช้จะเป็นการเพิ่มมูลค่าของข้าวก่ำให้สูงขึ้น และสร้างความหลากหลายให้แก่ผลิตภัณฑ์จากข้าวก่ำ อีกทั้งยังเป็นการสร้างช่องทางสำหรับประเทศให้สามารถขยายตลาดผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวได้อย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น และยังเป็นการพัฒนารูปแบบของผลิตภัณฑ์ข้าวก่ำไทยสู่รูปแบบของอาหารที่แพร่หลายและเป็นสากลมากขึ้น ซึ่งข้าวงอกนับเป็นนวัตกรรมหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากข้าวที่ผ่านกระบวนการงอกจะมีสารอาหารเพิ่มขึ้น เช่น แอนโทไซยานิน แกมมาโอไรซานอล โดยเฉพาะกรด gamma-aminobutyric acid (GABA) [5] ซึ่งช่วยควบคุมระดับความดันโลหิตให้เป็นปกติ ลดความเครียด ป้องกันเส้นเลือดในสมองแตก และช่วยให้ไตทำงานได้เป็นปกติ [6] เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านการแช่ให้เกิดการงอก และยังช่วยให้ข้าวนุ่มขึ้น และง่ายต่อการรับประทาน แต่มีหลายปัจจัยที่จำเป็นต่อคุณภาพของข้าวงอกที่ได้เช่น สายพันธุ์ข้าว น้ำ ความชื้น ออกซิเจน และอุณหภูมิ โดย Karladee and Suriyong [7] ได้ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการบ่มเพาะข้าวงอก (21 สายพันธุ์) เป็นเวลา 0, 12, 24, 36, และ 48 ชั่วโมง พบว่าในการงอกข้าวที่เวลา 24 ชั่วโมงให้ปริมาณ GABA สูงสุดทั้ง 21 สายพันธุ์

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปจากข้าวก่ำเพาะงอกที่มีคุณค่าโภชนาการสูงสำหรับผู้สูงอายุเพื่อเพิ่มมูลค่า และให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาสูตร และกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเหลวสำเร็จรูปจากข้าวก่ำเพาะงอกสำหรับผู้สูงอายุ ที่เหมาะสมตามหลักเกณฑ์วิธีการผลิตอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิทชนิดบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว (retort pouch) ของอาหารเหลวสำเร็จรูป และทราบคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปบริโภคง่าย และมีคุณค่าสูงสำหรับผู้สูงอายุที่พัฒนาได้ และการยอมรับของผู้บริโภค

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุการทดลอง

ข้าวก่ำพันธุ์ดอยสะเก็ด ได้จากคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ นมผง (ตราแอนลีน) น้ำตาลทราย (ตรามิตรผล) น้ำมันรำข้าว (ตราคิงส์) โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (บริษัทแอบบรา จำกัด) กลิ่นวนิลา (ตราเดอร์กี้) เลซิทิน (บริษัทยูเนี่ยนซายน์ จำกัด) เอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส (Termamyl SC, Novozyme) Vitamin Mineral Premix (Fortitech Asia Pacific Sdn. Bhd., Malaysia) ที่มีปริมาณสารอาหารเป็นร้อยละ 10 ของสารอาหารสำหรับผู้สูงอายุ (อายุมากกว่า 51 ปี) ที่ควรได้รับในแต่ละวัน อินูลิน (Beneo GmbH, Geramany) และ ซูคราโลส (JK sucralose Inc., China)

1. การศึกษากระบวนการเพาะงอกข้าวก่ำ และสมบัติของข้าวก่ำเพาะงอก

จัดการทดลองแบบ Factorial เพื่อศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้แช่ข้าวก่ำ และเวลาในการเพาะงอก โดยผันแปรอุณหภูมิที่ใช้แช่ข้าวก่ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเวลาที่ใช้ในการเพาะงอกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ในการเพาะงอกข้าวก่ำพันธุ์ดอยสะเก็ด ด้วยวิธีการดัดแปลงจากศุภนุช และคณะ [8] โดยชั่งข้าวก่ำ 500 กรัม แช่สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์เข้มข้น 100 ppm เป็นเวลา 5 นาที อัตราส่วนข้าวต่อสารละลาย 1:3 ทำให้สะเด็ดน้ำ และล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำข้าวก่ำที่ผ่านการล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วมาแช่ในสารละลายเบนโซเอตเข้มข้นร้อยละ 0.1 ที่อัตราส่วนข้าวต่อสารละลาย 1:3 นำมาบ่มที่สภาวะที่กำหนด จากนั้นนำไปล้างด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์เข้มข้น 100 ppm เป็นเวลา 5 นาที และทำให้สะเด็ดน้ำ และล้างด้วยน้ำสะอาดอีก 1 ครั้ง นำไปเพาะงอกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง นำข้าวก่ำงอกที่เพาะได้ไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำข้าวก่ำเพาะงอกที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน [9] ปริมาณ gamma-aminobutyric acid (GABA) [10] และความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA-4D, Newport Scientific, Australia) ตามวิธีการของ Phimolsiripol และคณะ [11] และวัดความหนืดของแป้งข้าวก่ำเพาะงอกหลังออกจากเครื่อง RVA ด้วยเครื่องวัดค่าความหนืด (model LVDV-II+, Brookfield digital viscometer, USA)

2. การศึกษาสภาวะการย่อยข้าวก่ำเพาะงอกด้วยเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส และเวลาในการย่อย

วางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) with faced center ค่า ± α เท่ากับค่า ±1 ทำซ้ำที่จุดศูนย์กลาง 3 จุด โดยผันแปรปริมาณข้าวก่ำเพาะงอกที่ใช้ในการทำอาหารเหลว ร้อยละ 5-25 ปริมาณเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสร้อยละ 0.5-1.5 ของปริมาณข้าวก่ำเพาะงอกที่ใช้ และเวลาในการย่อยข้าว 5-25 นาที ซึ่งในการทดลองจะนำข้าวก่ำเพาะงอกที่ผ่านการบดละเอียดด้วยเครื่อง Ultra centrifugal mill (ZM 200, Retsch, Germany) จากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 mesh มาผสมกับน้ำ ชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนเดือดเป็นเวลา 5 นาที ลดอุณหภูมิลงเหลือ 65 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส กวนตลอดตามเวลาที่กำหนดด้วยเครื่อง overhead stirrer (OST 29, Yellowline, France) หยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส ด้วยการต้มจนเดือดเป็นเวลา 5 นาที ปรับปริมาณโดยการเติมน้ำให้มีน้ำหนักเท่ากับเริ่มต้น วิเคราะห์คุณภาพด้านความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (model LVDV-II+, Brookfield digital viscometer, USA) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยวิธี DNS [12]

3. การพัฒนาสูตรอาหารเหลวสำเร็จรูปชนิดลดน้ำตาล และเสริมใยอาหาร

พัฒนาสูตรอาหารเหลวสำเร็จรูปที่มีสารอาหารครบถ้วนตามหลักโภชนาการสำหรับผู้สูงอายุปกติและผู้สูงอายุที่เป็นโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง โดยใช้ตาราง Thai RDA เป็นต้นแบบร่วมกับสูตรการผลิตอาหารเหลวสำเร็จรูปจากข้าวกล้องที่ดัดแปลงจาก สุทัศน์ และคณะ [13] ชั่งส่วนผสมทั้งหมด (ข้าวก่ำเพาะงอก และเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส ตามสภาวะที่เลือกได้จากข้อ 2. นมผงร้อยละ 3.4 น้ำมันรำข้าวร้อยละ 2.4 โปรตีน-ถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 0.7 กลิ่นวนิลาร้อยละ 0.5 และเลซิทินร้อยละ 0.2)

ทำการพัฒนาสูตรลดน้ำตาลและเสริมใยอาหาร โดยกำหนดให้มีปริมาณเส้นใยอาหารมากกว่าสูตรสำหรับผู้สูงอายุปกติโดยใช้อินูลินร้อยละ 2.5 และผันแปรสารทดแทนน้ำตาล โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ได้ 3 สิ่งทดลอง คือ สิ่งทดลองที่ 1 ใช้น้ำตาลทรายร้อยละ 5 (สิ่งทดลองควบคุม) สิ่งทดลองที่ 2 ใช้น้ำตาลทรายร้อยละ 1.747 และซูคราโลสร้อยละ 0.003 สิ่งทดลองที่ 3 ใช้น้ำตาลร้อยละ 2.998 และและซูคราโลสร้อยละ 0.002 ทำการทดลองโดยบดข้าวก่ำเพาะงอกด้วยเครื่องบดสับ (AY 4671, Moulinex, France) และนำไปบดต่อด้วยเครื่อง Ultra centrifugal mill (ZM 200, Retsch, Germany) จากนั้นนำข้าวก่ำเพาะงอกที่ผ่านการบดไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 mesh นำมาผสมกับน้ำ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนเดือดเป็นเวลา 5 นาที ลดอุณหภูมิลงเหลือ 65 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส ทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที ทำการหยุดปฏิกิริยา ด้วยการนำไปให้ความร้อนจนเดือดเป็นเวลา 5 นาที นำไปกรองผ่านตะแกรงร่อนขนาด 50 mesh นำน้ำเปล่าไปต้มให้เดือดค่อยๆ เทโปรตีนถั่วเหลืองสกัด นมผง น้ำตาลกลูโคส คนจนละลายเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเทส่วนผสมที่เหลือทั้งหมดลงไปในหม้อต้ม ปรับปริมาณน้ำ แล้วปั่นผสมด้วยเครื่องปั่น (Fagor, B-625 NA, Spain) ให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที นำไป Homogenize ที่ 6000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยทำ Central Location Test ใช้ผู้ทดสอบผู้สูงอายุที่มีอายุ 65 ปีขึ้นไป จำนวน 100 คน ทดสอบคุณภาพด้านความชอบโดยรวม สี กลิ่นข้าว รสชาติโดยรวม รสหวาน ความหนืดที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารเหลว ด้วยวิธี 9-point hedonic scale

4. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อ และทดสอบอาหารเหลวสำเร็จรูปจากข้าวก่ำเพาะงอกสำหรับผู้สูงอายุหลังเติมวิตามิน และแร่ธาตุ

เติมวิตามิน และแร่ธาตุลงในผลิตภัณฑ์อาหารเหลวสำเร็จรูปจากข้าวก่ำเพาะงอกให้มีปริมาณวิตามิน และแร่ธาตุร้อยละ 10 Thai RDA โดยการเติม Vitamin Mineral Premix ลงไปในสูตร 2 กรัมต่อปริมาณอาหารเหลว 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อให้ได้ตามหลักเกณฑ์วิธีการผลิตอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิทชนิดบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว (retort pouch) ชนิดอลูมินัม น้ำหนักบรรจุสุทธิ 250 กรัม และทำการฆ่าเชื้อโดยใช้ water rotary retort (FMC /MOD. A091, Belgium) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส กำหนดให้ค่า F_0 เท่ากับ 6 ทำการวัดค่าที่อุณหภูมิใจกลางของผลิตภัณฑ์ (จุดที่ร้อนช้าที่สุด) และวัดค่าอุณหภูมิขณะทำการฆ่าเชื้อด้วยชุดอุปกรณ์วัดค่า F_0 (Ellab, Denmark) เพื่อทำการประเมินผลค่า F_0 และตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายหลังการฆ่าเชื้อคือ ค่าสี L^* C^* h° (CR-300, Minolta Chroma, Japan) องค์ประกอบทางเคมีตามวิธีการของ AOAC [15] ค่าพลังงาน (PARR 1356, Isoperibol Calorimeter, USA) ปริมาณกรดแอมิโนตามวิธีการ AOAC detected by GC-MS กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระตามวิธีของ DPPH assay [14] ปริมาณวิตามิน และแร่ธาตุตามวิธีของ AOAC by ICP-OES technique คุณภาพทางจุลินทรีย์ตามวิธีการของ FDA BAM online (2001) และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม สี กลิ่นข้าว ความหนืด รสหวาน รสชาติโดยรวมที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารเหลวจากข้าวก่ำ ด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้บริโภคผู้สูงอายุจำนวน 100 คนเป็นผู้ทดสอบ

5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลอง และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์สมการถดถอยและหาจุดที่เหมาะสม (optimization) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab (version 16) คำนวณค่าเฉลี่ย และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's multiple range test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (version 17.0)

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยข้าวก่ำเพาะงอก และสมบัติของข้าวก่ำเพาะงอก

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยข้าวก่ำเพาะงอกพบว่า ระยะเวลาในการเพาะงอกข้าวก่ำมีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานิน ดังตารางที่ 1 โดยข้าวก่ำเพาะงอกที่เวลา 24 ชั่วโมง จะมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าการเพาะงอกที่ 48 ชั่วโมง (ตารางที่ 2) และข้าวก่ำเพาะงอกที่เวลา 24 ชั่วโมง มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุดคือ 133.34 mg/100g และพบว่าอุณหภูมิในการแช่ข้าวก่ำมีผลต่อปริมาณ GABA (ตารางที่ 1) โดยข้าวก่ำเพาะงอกมีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้นจาก 1.14 mg/100g (control) เป็น 5.12-8.09 mg/100g ดังตารางที่ 2 และอุณหภูมิในการแช่ข้าวที่ 35 องศาเซลเซียส และเพาะงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะให้ปริมาณ GABA สูงที่สุด (8.09 mg/100g) ดังนั้นจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมของข้าวก่ำเพาะงอก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของอรพิน และคณะ [16] ได้ศึกษาผลของค่าพีเอช (4 และ 6) และอุณหภูมิของน้ำ (35 และ 45 องศาเซลเซียส) ที่ใช้แช่เมล็ดข้าวต่อปริมาณ GABA ของข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ข้าวกล้องเพาะงอกที่แช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีปริมาณ GABA

สูงกว่าแช่ที่ 45 องศาเซลเซียส การเพาะงอกข้าวก่ำส่งผลให้มีอัตราการหายใจ และการย่อยสารอาหารในเมล็ด และมีการย่อยโปรตีนได้กรดแอมิโน เช่น กลูตาเมต [17] ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญสำหรับการสังเคราะห์ GABA และสอดคล้องกับงานวิจัยของพัชราภรณ์ และคณะ [18] ที่ศึกษากระบวนการเพาะงอกข้าวกล้อง 3 พันธุ์ โดยผันแปรระยะเวลาการงอกที่ 0, 20, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณแอนโทไซยานินมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของสารแอนโทไซยานินจัดเป็นสารประกอบไซยานิดิน 3 กลูโคไซด์ (cyaniding 3-glucoside) และ พีโอนิดิน 3 กลูโคไซด์ (peonidin 3- glucoside) ที่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น น้ำ เมทานอล และอะซิโตน [19] ระหว่างกระบวนการเพาะงอกจึงเกิดการสูญเสียปริมาณแอนโทไซยานินมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มขึ้น

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวก่ำเพาะงอกด้วยเครื่อง RVA พบว่า ระยะเวลาเพาะงอก อุณหภูมิในการแช่และเวลาในการเพาะงอกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวก่ำเพาะงอกที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 1 และตารางที่ 1 ซึ่งมีผลทำให้ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวก่ำเพาะงอกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการงอกข้าวที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง ได้แป้งข้าวก่ำเพาะงอกที่มีค่าความหนืดสูงสุดมากกว่าการงอกข้าวที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจักรพงษ์ และคณะ [20] ที่พบว่า เมื่อระยะเวลางอกเพิ่มขึ้น การงอกโดยการแช่น้ำ และการงอกบนผ้าขาวบางเปียกน้ำ มีผลทำให้ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวกล้องงอกมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และชนิษฎา และคณะ [21] ยังพบว่า ระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวกล้องงอกที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความหนืดสูงสุดและการคืนตัวของแป้งข้าวเหนียวกล้องงอกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากในระหว่างกระบวนการงอก มีการผลิตเอนไซม์แอมิเลส ซึ่งมีหน้าที่ในการย่อยคาร์โบไฮเดรตให้มีโมเลกุลเล็กลง เมื่อเพิ่มระยะเวลาการงอกจึงส่งผลให้เกิดกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้น [22] และจะส่งผลให้แป้งข้าวก่ำเพาะงอกมีความหนืดลดลง

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ปริมาณแอนโทไซยานิน GABA ของข้าวก่ำเพาะงอก และความหนืด (หลังออกจากเครื่อง RVA) ของข้าวก่ำเพาะงอก

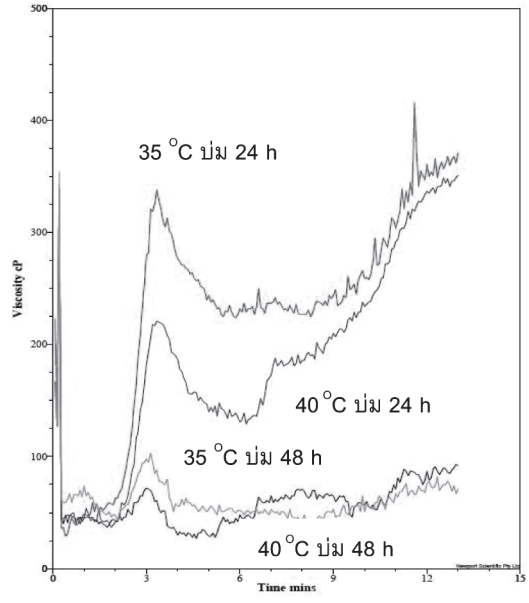
ปัจจัย	ค่า p-value		
	แอนโทไซยานิน	GABA	ความหนืด
อุณหภูมิในการแช่	0.892	0.001*	0.452
เวลาในการเพาะงอก	0.000*	0.213	0.000*
อุณหภูมิในการแช่*เวลาในการเพาะงอก	0.096	0.459	0.004*

*หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 2 ปริมาณแอนโทไซยานิน GABA ของข้าวก่ำเพาะงอก และความหนืด (หลังออกจากเครื่อง RVA) ของข้าวก่ำเพาะงอก

ตัวอย่าง	แอนโทไซยานิน (mg/100 g)	GABA (mg/100 g)	ความหนืด (cP)
แช่ 35°C-เวลา 1.75 h และเพาะงอก 24 h	125.63±3.08[a]	8.09±1.49[a]	481.50±5.63[b]
แช่ 35°C-เวลา 1.75 h และเพาะงอก 48 h	86.93±3.08[b]	6.96±1.99[ab]	65.50±4.82[c]
แช่ 40°C-เวลา 1 h และเพาะงอก 24 h	133.34±7.75[a]	5.42±0.39[bc]	495.33±6.43[a]
แช่ 40°C-เวลา 1 h และเพาะงอก 48 h	80.28±5.22[b]	5.12±0.39[c]	56.17±1.04[d]

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 1 พฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าวก่ำเพาะงอก

2. ผลการศึกษาปริมาณข้าวก่ำเพาะงอก ปริมาณเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส และเวลาในการย่อย

จากการกำหนดเป้าหมายของความหนืดของอาหารเหลว โดยอ้างอิงจากผลิตภัณฑ์อาหารเหลวที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด (5.65-6.68 cP) การใช้ข้าวก่ำเพาะงอกในปริมาณร้อยละ 5-25 มีผลทำให้ค่าความหนืด และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มมากขึ้น ดังตารางที่ 3 และจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้สมการถดถอย (ตารางที่ 4) พบว่า ตัวแปรต้นมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งที่อยู่ในข้าวก่ำเพาะงอก เนื่องจากเม็ดแป้งเกิดการพองตัว และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิมากกว่า 80 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ความหนืดของแป้งเพิ่มมากขึ้น [23] แต่เมื่อใช้ปริมาณเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส และเวลาในการย่อยข้าวมากขึ้น ทำให้ค่าความหนืดลดลง เนื่องจากเอนไซม์แอลฟาแอ-มิเลส ซึ่งจัดเป็น endoglucosidase จะตัดพันธะ α-1,4-glycosodic linkage เฉพาะที่ตำแหน่งข้างในของสายแอมิโลส และแอมิโลเพกทินได้เป็นเดกซ์ตริน และโอลิโกแซ็กคาไรด์ [24] ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตสายสั้นๆ และสามารถดูดซับน้ำได้ดี ทำให้ความหนืดลดลงได้ โดยความหนืดมีค่าที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ท้องตลาด และสภาวะที่เหมาะสมคือปริมาณข้าวก่ำเพาะงอกร้อยละ 15 ปริมาณเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสร้อยละ 1.5 และเวลาในการย่อยข้าว 25 นาที

3. การพัฒนาสูตรอาหารเหลวสำเร็จรูปบริโภคง่ายชนิดลดน้ำตาลและเสริมใยอาหาร

จากการผันแปรสารทดแทนน้ำตาล ได้แก่ ซูคราโลส และเส้นใยอาหารเพื่อให้เป็นแหล่งของใยอาหาร โดยใช้อินูลินร้อยละ 2.5 ได้ผลดังตารางที่ 5 โดยทำการศึกษาทั้งหมด 3 สิ่งทดลองซึ่งในการทดลองจะใช้ปริมาณน้ำตาลต่างกัน พบว่าคะแนนความชอบโดยรวมในอาหารเหลวที่ใช้ปริมาณน้ำตาลต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ค่าคะแนนความชอบด้านสี และกลิ่นข้าวในอาหารเหลวที่ใช้ปริมาณน้ำตาลต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และค่าคะแนนความชอบด้านความหนืด รสหวาน และรสชาติโดยรวมในอาหารเหลวสำเร็จรูปที่ใช้ปริมาณน้ำตาลทรายร้อยละ 2.998 และซูคราโลสร้อยละ 0.002 (สิ่งทดลองที่ 3) ไม่มีความแตกต่างกันกับการใช้ปริมาณน้ำตาลทรายร้อยละ 5 (สิ่งทดลองที่ 1, control) อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังนั้นสูตรที่ใช้น้ำตาลทรายร้อยละ 2.998 และและซูคราโลสร้อยละ 0.002 สามารถลดการใช้น้ำตาลทราย และใช้สารทดแทนความหวานแทนได้ โดยให้ผลคะแนนความชอบไม่แตกต่างกับสิ่งทดลองที่ใช้น้ำตาลทรายเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 3 ผลของปริมาณข้าวก่ำเพาะงอก ปริมาณเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส และเวลาในการย่อยข้าวต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และความข้นหนืดของอาหารเหลว

สิ่งทดลอง	ข้าว (กรัม)	เอนไซม์ (กรัม)	เวลาย่อย (นาที)	ความหนืด (cP)	น้ำตาลรีดิวซ์ (mg/mL)
1	5	0.5	5	1.96	6.47
2	25	0.5	5	49.40	27.16
3	5	1.5	5	2.08	5.69
4	25	1.5	5	32.16	38.58
5	5	0.5	25	2.07	8.27
6	25	0.5	25	10.50	35.03
7	5	1.5	25	1.89	10.46
8	25	1.5	25	26.58	49.24
9	5	1.0	15	1.90	5.33
10	25	1.0	15	45.24	31.98
11	15	0.5	15	5.94	14.72
12	15	1.5	15	5.97	26.40
13	15	1.0	5	4.79	28.17
14	15	1.0	25	4.63	29.95
15	15	1.0	15	5.12	32.74
16	15	1.0	15	4.70	29.95
17	15	1.0	15	5.16	31.22

ตารางที่ 4 สมการความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด และน้ำตาลรีดิวซ์ต่อปริมาณข้าวก่ำเพาะงอก ปริมาณเอนไซม์ และเวลาในการย่อยข้าว

ค่าคุณภาพ	สมการ# (uncoded equation)	Adj. R^2
ความหนืด	$16.36-1.28^{*}rice-12.62^{*}enzyme-0.44^{*}digestion+0.12^{*}rice^{2}$ $-0.06^{*}rice^{*}digestion+0.82^{*}\ enzyme^{*}digestion$	0.844
น้ำตาลรีดิวซ์	$-16.75+2.64^{*}rice+31.15^{*}enzyme-1.06^{*}\ digestion-0.06^{*}rice^{2}$ $-16.25^{*}enzyme^{2}+0.04^{*}digestion^{2}+0.61^{*}rice^{*}enzyme$	0.907

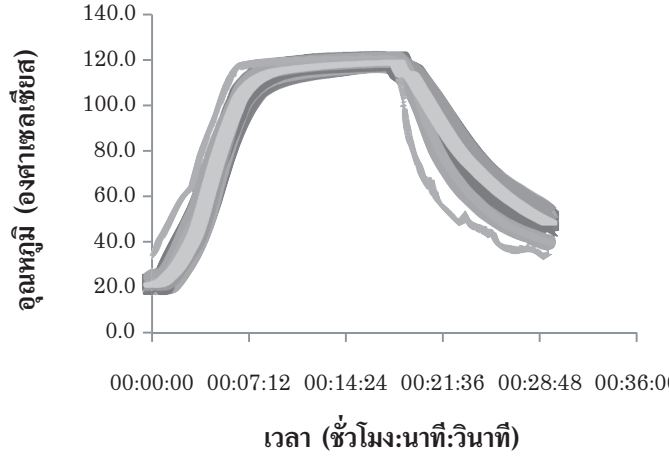
ตารางที่ 5 คะแนนความชอบของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารเหลวสำเร็จรูปจากข้าวก่ำเพาะงอก (n=50)

คุณภาพ	สิ่งทดลองที่ 1 น้ำตาลร้อยละ 5 (control)	สิ่งทดลองที่ 2 น้ำตาลทรายร้อยละ 1.747 และซูคราโลส ร้อยละ 0.003	สิ่งทดลองที่ 3 น้ำตาลทรายร้อยละ 2.998 และซูคราโลส ร้อยละ 0.002
ความชอบโดยรวม	7.4±0.8[a]	6.9±0.4[b]	7.6±0.6[a]
สี[ns]	7.4±0.5	7.2±0.7	7.5±0.5
กลิ่นข้าว[ns]	7.2±0.6	7.1±0.7	7.2±0.6
ความหนืด	7.2±0.6[a]	6.9±0.5[b]	7.4±0.6[a]
รสหวาน	7.3±0.6[a]	6.3±0.9[b]	7.4±0.6[a]
รสชาติโดยรวม	7.5±0.6[a]	6.8±0.6[b]	7.4±0.5[a]

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4. สภาวะที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อ

จากการนำสูตรอาหารเหลวสำเร็จรูปจากข้าวก่ำเพาะงอกที่พัฒนาได้ ไปหาสภาวะที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อแบบ Sterilization ด้วย Water Retort เพื่อศึกษาถึงการผลิตใกล้เคียงกับเชิงพาณิชย์มากขึ้น ในการทดลองกำหนดเวลาในการฆ่าเชื้อ จะทำการวัดค่าอุณหภูมิในแต่ละจุดของ Water Retort ที่เป็นจุดที่ร้อนช้าที่สุด และวัดค่าอุณหภูมิขณะทำการฆ่าเชื้อด้วยชุดอุปกรณ์วัดค่า F_0 เพื่อทำการประเมินผลค่า F_0 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 2 จากข้อมูลที่ได้ เมื่อใช้อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อเท่ากับ 121 องศาเซลเซียส come up time เท่ากับ 7.24 นาที พบว่าใช้เวลาในการฆ่าเชื้อเท่ากับ 17.64 นาที



รูปที่ 2 อุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการ Sterilization ($F_0 = 6$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดแอมิโนในอาหารเหลวจากข้าวก่ำงอกพบว่า มีปริมาณลิวซีน ฟีนิลอะลานีน ไอโซลิวซีน ไลซีน เมไทโอนีน ทรีโอนีน และทริปโตเฟน ตามลำดับ ดังตารางที่ 6 ซึ่งข้าวที่นำมาเพาะงอกจะมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าในข้าวปกติ โดยเฉพาะ GABA และยังผลิตกรดแอมิโนที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์หรือสร้างได้คือ ไนอะซีน และไลซีนเพิ่มขึ้น 4 เท่า ซึ่งกรดแอมิโนนี้ช่วยเสริมสร้างและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย [25] สำหรับปริมาณวิตามิน และแร่ธาตุในผลิตภัณฑ์อาหารเหลวสำเร็จรูปจากข้าวก่ำเพาะงอกที่พัฒนาได้เปรียบเทียบกับปริมาณวิตามิน และแร่ธาตุตามข้อกำหนดความต้องการพลังงาน และสารอาหารที่ผู้สูงอายุควรได้รับในแต่ละวัน (ร้อยละ 10 Thai RDI) พบว่าในอาหารเหลวที่พัฒนาได้เป็นอาหารจากข้าวก่ำเพาะงอกสำเร็จรูป มีปริมาณวิตามิน และแร่ธาตุครบถ้วนตามข้อกำหนดปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2546 (Thai RDI, 2546) ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ปริมาณกรดแอมิโนในผลิตภัณฑ์อาหารเหลวสำเร็จรูปจากข้าวก่ำเพาะงอก

ชนิดกรดแอมิโน	ปริมาณ (ต่ออาหารเหลว 250 มิลลิลิตร)	ชนิดกรดแอมิโน	ปริมาณ (ต่ออาหารเหลว 250 มิลลิลิตร)
อะลานีน	116.77	ลิวซีน	571.67
อาร์จีนีน	<5.00	ไลซีน	152.02
กรดแอสปาร์ติก	168.10	เมทโธโอนีน	102.77
ซีสทีน	<5.00	ฟีนิลอะลานีน	536.52
กรดกลูตามิก	329.05	โพรลีน	294.27
ไกลซีน	84.07	ซีรีน	79.15
ฮีสทีดีน	73.67	ทรีโอนีน	90.67
ไฮดรอกซีไลซีน	<5.00	ทริปโตเฟน	84.25
ไฮดรอกซีโพรลีน	<5.00	ไทโรซีน	223.72
ไอโซลิวซีน	418.45		

ตารางที่ 7 ปริมาณวิตามิน และแร่ธาตุในผลิตภัณฑ์อาหารเหลวสำเร็จรูปจากข้าวก่ำเพาะงอก

วิตามิน และแร่ธาตุ	ปริมาณ (ต่ออาหารเหลว 250 มิลลิลิตร)	ร้อยละ 10 Thai RDI
วิตามิน A	0.1	0.07
วิตามิน B1	0.16	0.12
วิตามิน B12	0.00035	0.00024
วิตามิน B2	0.325	0.13
วิตามิน B3 (Niacin)	3.4	1.60
วิตามิน B6	0.5	0.20
วิตามิน D	0.0013	0.001
วิตามิน E	3.25	1.5
แคลเซียม (Ca)	160.25	100
เหล็ก (Fe)	2.255	1.04
แมกนีเซียม (Mg)	62.5	30
แมงกานีส (Mn)	0.5375	0.23
ฟอสฟอรัส (P)	199	70
โพแทสเซียม (K)	286.5	-

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเหลวสำเร็จรูปจากข้าวก่ำเพาะงอกที่พัฒนาได้พบว่า ค่าคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านความชอบโดยรวม สี กลิ่นข้าว ความหนืด รสหวาน รสชาติโดยรวมของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับความชอบปานกลาง (7.4-7.5) ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 คะแนนความชอบของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารเหลวสำเร็รูปจากข้าวก่ำเพาะงอก (n=100)

ลักษณะคุณภาพ	คะแนนความชอบ
ความชอบโดยรวม	7.5 ± 0.6
สี	7.5 ± 0.5
กลิ่นข้าว	7.4 ± 0.6
ความหนืด	7.4 ± 0.6
รสหวาน	7.4 ± 0.6
รสชาติโดยรวม	7.5 ± 0.6

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และทางด้านจุลินทรีย์ของอาหารเหลวสำเร็จรูปจากข้าวก่ำเพาะงอกพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้มีสีน้ำตาล โดยมีค่าสี L^*, C^* และ h^* เท่ากับ 35.85, 10.83 และ 52.34 ตามลำดับ มีความหนืดมีค่าเท่ากับ 4.68 cP ซึ่งใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด (5.65-6.25 cP) ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้มีพลังงานเท่ากับ 104.09 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม โดยมีความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 76.50, 2.10, 2.89, 1.09, 6.58 และ 10.84 ตามลำดับ ไม่พบจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และรา ดังตารางที่ 9 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำข้าวกล้อง

ตารางที่ 9 คุณภาพด้านเคมี กายภาพ และทางจุลินทรีย์ของอาหารเหลวสำเร็จรูปจากข้าวก่ำเพาะงอกที่ผ่านการฆ่าเชื้อ

ค่าคุณภาพ	ค่าที่วิเคราะห์ได้
DPPH (IC_{50}, g/mL)	1.53 ± 0.00
ABTS (IC_{50}, g/mL)	0.51 ± 0.03
ค่าสี L^*	35.85 ± 0.41
C^*	10.83 ± 0.04
h°	52.34 ± 0.58
ความหนืด (cP)	4.68 ± 0.86
จุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g sample)	<10
ยีสต์ และรา (cfu/g sample)	<10

สรุปและอภิปรายผล

สภาวะที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเหลวสำเร็จรูปคือข้าวก่ำเพาะงอกร้อยละ 15 ปริมาณเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลสร้อยละ 1.5 และเวลาในการย่อยข้าว 25 นาที และสามารถลดการใช้น้ำตาลทรายได้โดยใช้น้ำตาลทรายร้อยละ 2.998 และซูคราโลสร้อยละ 0.002 ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวสำเร็จรูปจากข้าวก่ำเพาะงอกสำหรับผู้สูงอายุมีสารอาหารรวมทั้งวิตามินและแร่ธาตุ ตามข้อกำหนดปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย มีความเหมาะสมตามหลักเกณฑ์วิธีการผลิตอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคสูงอายุ และประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และสำนักงานพัฒนาการเกษตร (องค์การมหาชน) สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. กองวางแผนทรัพยากรมนุษย์ สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2538. *การคาดประมาณประชากรของประเทศไทย* 2533-2563. หน้า 17-19.
2. Laokuldilok, T; Shoemaker, C. F; Jongkaewwattana, S; & Tulyathan, V. 2011. Antioxidants and Antioxidant Activity of Several Pigmented Rice Brans. *Journal of Agriculture and Food Chemistry.* 59(1): 193-199.
3. Huang, D; Ou, B; Hampsch, M; Flanagan, A. J; & Deemer, E. K. 2002. Development and Validation of Oxygen Radical Absorbance Capacity Assay for Lipophilic Antioxidants Using Randomly Methylated β-Cyclodextrin as the Solubility Enhancer. *Journal of Agriculture and Food Chemistry.* 50(7): 1815-1821.
4. มัณฑนา นครเรียบ และไมตรี สุทธจิตต์. 2555. สารพฤกษเคมีในเมล็ดข้าวเหนียวดำ และประโยชน์ที่ดีต่อสุขภาพ. *วารสารนเรศวรพะเยา.* 5(1): 28-35.
5. Parnsakhorn, S; & Langkapin, J. 2013. Changes in Physicochemical Characteristics of Germinated Brown Rice and Brown Rice during Storage at Various Temperatures. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal.* 15(2): 293-303.
6. Kayahara, H; Tsukahara, K; & Tatai, T. 2000. Flavor, Health and Nutritional Quality of Pre-Germinated Brown Rice. *In 10th International Flavor Conference.* 546-551.
7. Karladee, D; & Suriyong, S. 2012. γ-Aminobutyric Acid (GABA) Content in Different Varieties of Brown Rice During Germination. *Science Asia.* 38: 13-17.
8. ศุภนุช ใส่แปง นิรมล อุตมอ่าง และยุทธนา พิมลศิริผล. 2553. ผลของสภาวะในการแช่ข้าวต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงงอก. *ใน เอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48:* สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ. หน้า 100-107.
9. Sompong, R; Siebenhandl-Ehn, S; Linsberger-Martin, G; & Berghofer, E. 2011. Physico-chemical and Antioxidative Properties of Red and Black Rice Varieties from Thailand, China and Sri Lanka. *Food Chemistry.* 124:132-140.
10. Jannoey, P; Niamsup, H; Lumyong, S; Suzuki, T; Katayama, T. & Chairote, G. 2010. Comparison of Gamma-Aminobutyric Acid Production in Thai Rice Grains. *World Journal of Microbiology and Biotechnology.* 26: 257-263.
11. Phimolsiripol, Y; Siripatrawan, U; & Henry, C. J. K. 2011. Pasting Behaviour, Textural Properties and Freeze-Thaw Stability of Wheat Flour-Crude Malva Nut *(Scaphium scaphigerum)* Gum System. *Journal of Food Engineering.* 105: 557-562.
12. สุทัศน์ สุระวัง. 2552. *คู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์คุณภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์* คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
13. สุทัศน์ สุระวัง สุรินทร์พร ศรีไพรสนธิ์ สุจินดา ศรีวัฒนะ เมธินี เห่วซึ่งเจริญ ไพโรจน์ วิริยจารี และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2550. *กระบวนการทำอาหารเหลวสำเร็จรูปสำหรับผู้สูงอายุ.* มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

14. Manthey, J. A. 2004. Fractionation of Orange Peel Phenols in Ultrafiltered Molasses and Mass Balance Studies of Their Antioxidant Levels. *Journal of Agriculture and Food Chemistry.* 52(25): 7586-7592.
15. AOAC. 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. 17th ed., Washington D.C., USA: The Association of Official Analytical Chemists.
16. อรพิน เกิดชูชื่น ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และอรทัย โกกิลกนิษฐ. 2556. ผลของพีเอชและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่เมล็ดข้าวต่อคุณค่าทางอาหารของข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. *วารสารวิจัย มสด สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.* 6(1): 171-186.
17. Alpi, A; & Beervers, H. 1983. Effects of O_2 Concentration on Rice Seedlings. Plant Physiology. (71): 30-34.
18. พัชราภรณ์ รัตนธรรม ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และ อรพิน เกิดชูชื่น. 2556. สารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องสีงอก. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.* 44(2): 442-444.
19. Oki, T; Masuda, M; Kobayash, M; Nishiba, Y; Furuta, S; Suda, I; & Sato, T.2002. Polymeric Procyanidinsas Radical-scavenging Components in Red-hulled Rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 50: 7524-7529.
20. จักรพงษ์ โสวะพันธ์ กมลวรรณ แจ้งชัด และพัชรี ตั้งตระกูล. 2554. ผลของสภาพการงอกต่อสมบัติความหนืด และปริมาณ GABA ของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวเปลือก. ใน เอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ. หน้า 250-257.
21. ชนิษฎา วงศ์บาสก์ กมลวรรณ แจ้งชัด อนุวัตร แจ้งชัด พัชรี ตั้งตระกูล และสุคนธรส ธาดากิตติสาร. 2552. ผลของสภาวะในการงอกที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข้าวเหนียวกล้องงอก. *ในเอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47:* สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ. หน้า 630-638.
22. Mohan, B.H; Malleshi, N.G; & Koseki, T. 2010. Physico-Chemical Characteristics and Non-Starch Polysaccharide Contents of Indica and Japonica Brown Rice and Their Malts. *LWT-Food Science and Technology.* 43: 784-791.
23. Wong, D.W.S. 1995. Food Enzymes: Structure and Mechanism. Chapman & Hall. New York.
24. BeMiller, J.N; & Whistler, R.L.1996. Carbohydrates. In: Food chemistry, O.R. Fennema (Ed.), CRC Press Taylor and Francis Group: Boca Raton, Fl. p. 157-223.
25. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. 2558. กลุ่มผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเมล็ดข้าว. ได้จาก http://www.arda.or.th/kasetinfo/rice/rice_product/rice-product1_3.html. 10 มีนาคม 2558.

ได้รับบทความวันที่ 18 มีนาคม 2558
ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 15 พฤษภาคม 2558