

ผลของพีเอชและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่เมล็ดข้าวต่อคุณค่าทางอาหารของข้าวกล้อง
งอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105**

Effect of pH and Temperature of Seed Soaking Water on Nutrition
Quality of Germinated 'Khao Dowk Mali 105' Rice

อรพิน เกิดชูชื่น* ญัฐรา เลหาทกุลจิตต์ และอรรถัย โกกิลกนิษฐ
คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของพีเอชและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่เมล็ดข้าวต่อคุณค่าทางอาหารของข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยนำเมล็ดข้าวแช่น้ำที่มีอุณหภูมิ 35 และ 45 °C และพีเอช 4 และ 6 พบว่าการงอกส่งผลให้ปริมาณสารอาหาร ได้แก่ โปรตีน ไขมัน วิตามินบี 1 ปริมาณแอมมา บิวทริก แอซิด (กาบา) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น โดยการแช่เมล็ดข้าวในน้ำที่พีเอช 6 และอุณหภูมิ 35 °C ทำให้ข้าวกล้องงอกมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงขึ้น แต่ทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลง อย่างไรก็ตามข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำอุณหภูมิ 45 °C พีเอช 4 มีปริมาณวิตามินบี 1 สูงกว่าการแช่น้ำที่สภาวะอื่น สำหรับปริมาณแอมมา บิวทริก แอซิด (กาบา) และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด พบสูงขึ้นในข้าวกล้องงอกที่ผ่านการแช่น้ำที่พีเอชเท่ากับ 4 และ 6 อุณหภูมิ 35 °C โดยพบปริมาณแอมมา บิวทริก แอซิด (กาบา) ของเมล็ดข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (20.96 มิลลิกรัม/ 100 กรัม) สูงกว่าข้าวที่ไม่งอก 2.3 เท่า

คำสำคัญ: แอมมา อะมิโน บิวทริก แอซิด (กาบา) โปรตีน วิตามินบี 1

* ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)
e-mail: orapin.ker@kmutt.ac.th

Effect of pH and Temperature of Seed Soaking Water on Nutrition Quality
of Germinated 'Khao Dowk Mali 105' Rice

** งานวิจัยเรื่องนี้ได้รับอุดหนุนการวิจัยจาก โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (NRU) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Abstract

Effect of pH and temperature of soaking water on nutritional values of germinated 'Khao Dowk Mali 105' brown rice was monitored. The seeds were soaked in water at temperature of 35 °C or 45 °C and pH 4 or 6. It was found that soaking rice seeds prior germination resulted in greater contents of protein, lipid, vitamin B1, γ -amino-butyric acid (GABA), total phenolics and carotenoids in germinated brown rice. Although, soaking rice seeds at pH 6 and 35(C gave the highest protein and fat contents, carbohydrate content was the lowest. However, brown rice soaked at temperature 45 °C and pH 4, had a higher vitamin B1 content than the other conditions of soaking. It was also found that γ -amino-butyric acid (GABA) and total phenolics of germinated brown rice soaking at pH 4 or 6 and temperature 35 °C was increased. The γ -amino-butyric acid (GABA) of germinated 'Khao Dowk Mali 105' brown rice soaking at at pH 4 or 6, and 35 °C was 2.3 time higher than the control rice (non-germinated seed).

Keywords: γ -amino-butyric acid (GABA), protein, vitamin B1

บทนำ

ธัญพืช (cereal) มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง ให้พลังงานสูง และสามารถเก็บได้นาน ซึ่งธัญพืชที่มีการผลิตมากที่สุดในโลก ได้แก่ ข้าวสาลี (wheat) รองลงมาคือข้าวโพด (maize) ข้าว (rice) ข้าวฟ่าง (sorghum) ข้าวโอ๊ต (oat) ข้าวบาร์เลย์ (barley) และข้าวไรย์ (rye) ตามลำดับ (Food and Agriculture Organization (FAO), 2008) เมล็ดธัญพืชนอกจากนำมาเป็นอาหารโดยตรงแล้ว ยังสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อใช้ประกอบอาหาร เช่น แป้งสาลี ใช้ทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ขนมอบต่างๆ (Hogy & Fangmeier, 2008) แป้งข้าวโพด ใช้ทำไส้ขนมอบ ใช้เป็นส่วนผสมอาหารคาว แป้ง buckwheat สามารถนำมาผลิตเป็นเส้นบะหมี่ (Kim et al., 2008) ข้าวบาร์เลย์ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ และอาหารสัตว์ (Yalcin et al., 2007) รวมทั้งยังมีการนำธัญพืชมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ (Tatala et al., 2007) ซึ่งอาหารบำรุงสุขภาพที่ได้จากธรรมชาติกำลังเป็นที่นิยมมากในโลกตะวันตก โดยเฉพาะธัญพืชงอก ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้น (Mwikya et al., 2001; Lin & Lai, 2006)

กระบวนการงอกของเมล็ดธัญพืช มีปัจจัยที่สำคัญหลายประการที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพทั้งการเพิ่มหรือลดลงของสารอาหาร ซึ่งปัจจัยเหล่านั้น ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้ในการงอก ชนิดของพืช พีเอช (pH) และอุณหภูมิ (ในการงอก) เป็นต้น ซึ่ง Khalil et al. (2007) ได้รายงานว่าการงอกในเมล็ดถั่ว chickpea (*Cicer arietinum* L.) งอก มีการเปลี่ยนแปลงในปริมาณสูงขึ้น เช่น ไขมัน เส้นใย โปรตีน กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) กรดไฟติก (phytic acid) และเมื่อนำถั่วเหลือง 6 พันธุ์ ถั่วเหลืองผิวดำ (black

soybean) 7 พันธุ์ และ ถั่ว Azuki 4 พันธุ์ มาผ่านกระบวนการงอก มีผลให้ปริมาณสารอาหารสูงขึ้น ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ฟีนอลิก (phenolics) และสารไอโซฟลาโวน (isoflavones) (Lin & Lai, 2006) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า พีเอช อุณหภูมิ และเวลาในการงอก มีอิทธิพลต่อคุณภาพทางกายภาพ-เคมี เช่น สี ปริมาณไขมัน โปรตีน เฮกซานัล (hexanal) คาร์โบไฮเดรต อะไมโลส กรดไฟติก และ 2 อะเซทิล-1-ไพโรลีน (2-acetyl-1-pyrroline; ACPY) แกมมา อะมิโน บิวทริก แอซิด (กาบา) (gamma amino butyric acid; GABA) และวิตามิน บี 1 (vitamin B1) ของข้าวกล้องงอก (สุพัตรา เลิศวิชัยวัฒนา, 2545; วัฒนา วัชรอาภาไพบุลย์, 2550) อย่างไรก็ตามกระบวนการงอกของเมล็ดพืชยังมีผลต่อการเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compound) ที่เมล็ดสร้างขึ้นมาในระหว่างการงอกใช้สำหรับป้องกันการเข้าทำลายของศัตรูพืช (Pei-Yin & His-Mei, 2006) โดยสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารฟีนอลิก วิตามินบี 1 และแคโรทีนอยด์ ที่เมล็ดสร้างขึ้นนี้ได้รับความนิยมสำหรับนำมาบริโภคเพื่อสุขภาพอนามัยที่ดีของคนในยุคปัจจุบัน

ประเทศไทยมีการผลิตเมล็ดพืชออก เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้อยมาก ส่วนใหญ่เป็นการนำธัญพืชมาบริโภคโดยตรง ประกอบกับประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตธัญพืชที่สำคัญของโลก โดยเฉพาะข้าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลของพีเอช (pH) (พีเอช 4 และ 6) และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่เมล็ดข้าว (35 และ 45 °C) ต่อคุณค่าทางอาหารของข้าวกล้องงอก เพื่อลดระยะเวลาในการแช่น้ำของเมล็ดข้าว (ลดจาก 24 ชั่วโมงเหลือเพียง 6 ชั่วโมง) และลดกลิ่นหมักในข้าวกล้องงอก (จากการที่แช่น้ำเป็นเวลานาน) และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวของไทย รวมทั้งยังตอบสนองกระแสตลาดอาหารเพื่อสุขภาพอีกด้วย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอิทธิพลของพีเอชและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้แช่เมล็ดข้าวที่ส่งผลต่อคุณค่าทางอาหารของข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

วิธีการศึกษา

1. การเตรียมวัตถุดิบและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี - กายภาพ

นำข้าวกล้องเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มาทำความสะอาดแล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี-กายภาพ ได้แก่ ความชื้น โดยเครื่อง moisture analyzer (ยี่ห้อ Sartorius รุ่น MA50C ประเทศเยอรมัน) โปรตีนโดยใช้ Kjeldahl's method (เครื่อง Micro Kjeldahl ยี่ห้อ Buchi รุ่น B-324 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) ไขมัน โดยวิธี gravimetric solvent extraction (ยี่ห้อ Gerhardt รุ่น EV6All/16 ประเทศเยอรมัน) (AOAC, 1990) เถ้า โดยการเผาตัวอย่างจนเป็นสีขาว (AOAC, 1990) เยื่อใย โดย acid detergent digestion (AOAC, 1990) ส่วนคาร์โบไฮเดรต คำนวณจากสูตร

$$\text{คาร์โบไฮเดรต (\%)} = 100 - (\text{ความชื้น} + \text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เถ้า} + \text{เยื่อใย})$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมี (phytochemical) ได้แก่ วิตามินบี 1 วิตามินซี ปริมาณฟีนอลิก ปริมาณกาบา (GABA) และปริมาณแคโรทีนอยด์ (carotenoids) มีรายละเอียดดังนี้

2.1 ปริมาณวิตามินบี 1 ดัดแปลงตามวิธีของ Liu et al. (2002)

ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียด 0.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร และกรองผ่านกระดาษกรอง นำส่วนที่กรองได้ 1 มิลลิลิตร มาเติม 1.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 1% Triton X-100 จำนวน 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 15 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 0.05% phenol red เขย่า 10 นาที นำสารละลายที่สกัดได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 427 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณวิตามินบี 1 โดยเทียบผลกับกราฟมาตรฐานวิตามินบี 1 (vitamin B 1 standard curve) ความเข้มข้น 10, 20, 30 และ 40 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

2.2 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid)

โดยวิธี 2, 6-dichlorophenolindophenol titration method ซึ่งการเตรียม dye solution เตรียมโดยละลาย sodium 2, 6-dichlorophenolindophenol 0.25 กรัม ลงในน้ำอุ่น (60 °C) และเติมโซเดียมโบคาร์บอเนต 100 มิลลิกรัม กรองสารละลายใส่ในขวดสีชา เก็บในตู้เย็นจนกระทั่งนำไปใช้ ส่วน acid solution เตรียมโดยละลาย meta-phosphoric acid 10 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 60 °C ประมาณ 20 มิลลิลิตร ใน volumetric flask ขนาด 500 มิลลิลิตร ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเติม glacial acetic acid 40 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เก็บไว้ในตู้เย็น สารละลายสามารถใช้ได้ 7-10 วัน และสารละลายมาตรฐาน ascorbic acid เตรียมโดยละลาย ascorbic acid บริสุทธิ์ (m.p. 190-192 °C) 0.1 กรัม ด้วย acid solution 10 มิลลิลิตร ใน volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้มีกรดแอสคอร์บิก 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เตรียมและใช้ได้ทันที สำหรับการปรับสารละลายเข้มข้นมาตรฐานโดยนำ dye solution มาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และเปิดสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก 10 มิลลิลิตร ลงใน flask และเติม acid solution 10 มิลลิลิตรไทเทรต dye solution ทันที จนกระทั่งเป็นสีชมพูถาวรนานอย่างน้อย 5-10 วินาที แล้วคำนวณกรดแอสคอร์บิก (ascorbic; AA) หรือ วิตามินซี จากสูตร

$$\text{mg AA/100} = \frac{(\text{dry conc.})(\text{ml titrated})(100 \text{ ml sample})}{\text{ml sample}}$$

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิก โดยวิธี Folin-Ciocalteu Phenol Test

นำตัวอย่าง 1 กรัม บดกับ 80% ethanol ปริมาตร 3 มิลลิลิตร นำไปตกตะกอนด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็วรอบของเครื่อง 12,000 รอบต่อนาที (rpm) เป็นเวลา 20 นาที ดูดสารละลายส่วนใสปริมาตร 50 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 0.95 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 10% Folin-Ciocalteu Phenol Reagent ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และ เติมน้ำกลั่น 7.5% sodium carbonate

ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที นำสารละลายที่สกัดได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer เทียบกับ blank โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolics) โดยเทียบผลกับกราฟของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (gallic acid)

2.4 ปริมาณกาบา (GABA) ดัดแปลงตามวิธีของ Kitaoka & Nakano (1969)

ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ละลายใน 80% ethanol 30 มิลลิลิตร เขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ตั้งทิ้งไว้จน ethanol ระเหยออกหมด จากนั้นเติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้มา 0.2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติม borate buffer 0.2 มิลลิลิตร และ 6% phenol 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และทำให้เย็น จากนั้นเติม 7.5% NaOCl จำนวน 0.4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปต้มในน้ำเดือด 10 นาที ทำให้เย็นทันทีในอ่างน้ำแข็ง 5 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 630 นาโนเมตร โดยเทียบผลกับกราฟของสารละลายมาตรฐาน

2.5 การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ (carotenoids) โดยใช้ spectrophotometer (AOAC, 1990)

นำตัวอย่างที่บดละเอียด 1 กรัม มาเติม 80% acetone ปริมาณ 20 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำไปกรองโดยใช้กระดาษกรอง Whatman No.1 และค่อยๆ เติม acetone ลงไปจนไม่มีสีเขียวติดอยู่ที่กระดาษกรอง ปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร นำสารละลายที่สกัดได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่อง spectrophotometer (รุ่น Genesys 10 UV บริษัท Thermo Electron Corporation, USA) เทียบกับ blank ที่เป็น 80% acetone โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470, 645 และ 663 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณแคโรทีนอยด์ จากสมการ

$$\text{Carotenoids (mg/g of F.W.)} = [(1,000A_{470} - 3.27C_a - 104C_b) / 229] \times [V/1,000 \times W]$$

- เมื่อ
- A = ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากความยาวช่วงคลื่น หน่วยเป็น นาโนเมตร
 - V = ปริมาตรสุดท้ายของสารเคมีที่ใช้สกัด หน่วยเป็น มิลลิลิตร
 - W = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการสกัด หน่วยเป็น กรัม
 - C_a = ปริมาณ chlorophyll a
 - C_b = ปริมาณ chlorophyll b

3. ศึกษาผลของพีเอช (pH) และอุณหภูมิ ในการแช่เมล็ดข้าวกล้องต่อการเปลี่ยนแปลงสารอาหารในระหว่างการงอกของข้าวเจ้า

นำเมล็ดข้าวกล้องมาเลือกเอาเมล็ดที่สมบูรณ์ โดยคัดเมล็ดที่แตกหักทิ้ง จากนั้นชั่งมาชนิดละ 200 กรัม นำมาล้างน้ำให้สะอาด แล้วบรรจุเมล็ดข้าวในถุงตาข่ายพลาสติก ผูกปากถุงให้แน่น แล้วแช่ในน้ำ 10 ลิตร โดยแปรสภาวะการแช่น้ำที่ pH 4 และ 6 อุณหภูมิ 35 และ 45 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (ประยุกต์จากวัฒนา วัชรอาภาไพบูลย์, 2550) นำมางอกที่อุณหภูมิห้องจนธัญพีชมีความยาวราก ประมาณ 0.5-1.0 มิลลิเมตร นำเมล็ดที่งอกไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 2 ชั่วโมง ก่อนนำมาตรวจสอบความชื้น และคุณภาพทางกายภาพและเคมี เช่นเดียวกับข้อ 1 และ 2

4. วางแผนการทดลองแบบ 2x2 Factorial in RCBD

จำนวน 4 ซ้ำ หาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan New Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SAS (1991)

5. สถานที่ศึกษาและระยะเวลา

ห้องปฏิบัติการ Plant Science and Analysis และ Flavor Technology คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน ระยะเวลา เดือน พฤษภาคม 2552 - มกราคม 2554

ผลการศึกษา

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน บี 1 กรดแอสคอร์บิก (หรือวิตามินซี) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแคโรทีนอยด์ของข้าวกล้องงอก เปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก (control) ที่แปรสภาวะการงอกโดยการแช่น้ำที่พีเอช 4 และ 6 และอุณหภูมิของน้ำ 35 และ 45 °C มีดังต่อไปนี้

1. ปริมาณโปรตีน

ข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (control) มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 13.29 ส่วนข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอกทุกสภาวะนั้นปริมาณโปรตีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้อง control โดยปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องงอกนั้นอยู่ในช่วงร้อยละ 13.71 ถึง 13.90 (ตารางที่ 1) และพบว่าสภาวะการแช่น้ำที่พีเอช 6 และอุณหภูมิการแช่ที่ 35 °C มีปริมาณโปรตีนสูงสุด คือร้อยละ 13.90 แต่สภาวะที่มีปริมาณโปรตีนต่ำสุด (ร้อยละ 13.71) คือ พีเอช 4 อุณหภูมิการแช่ที่ 45 °C (ตารางที่ 1) ซึ่งการแช่น้ำทำให้เกิดกิจกรรมทางชีวโมเลกุลของเมล็ดพีชเกิดขึ้น โดย hydrolytic enzyme กระตุ้นให้เกิดการย่อยสลายโปรตีนที่บริเวณชั้นรำข้าวทำให้เกิดการสังเคราะห์ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น การแช่ข้าวที่พีเอช 6 อุณหภูมิ

35 °C ส่งผลให้มีปริมาณโปรตีนเพิ่มสูง เนื่องจากเป็นช่วงพีเอชและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ protease (Shoichi, 2004) และผลการทดลองสอดคล้องกับงานของวัฒนา วัชรอาภาไพบูลย์ (2550) และ Sawaddiwong *et al.* (2008) ที่รายงานว่า การแช่เมล็ดข้าวที่พีเอช 6 อุณหภูมิ 35 °C เวลาการแช่น้ำ 24 ชั่วโมง มีผลทำให้ข้าวกล้องงอกมีปริมาณโปรตีนสูงสุด

2. ปริมาณไขมัน

ในระหว่างการงอกทุกสภาวะพบว่าปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอยู่ในช่วงร้อยละ 3.67 ถึง 4.43 (ตารางที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวกล้อง control ที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 3.49 (ตารางที่ 1) ซึ่งสภาวะที่ดีที่สุดที่ทำให้ปริมาณไขมันสูงสุดคือสภาวะเดียวกับที่มีผลให้ปริมาณโปรตีนสูง (พีเอช 6 อุณหภูมิ 35 °C) เช่นเดียวกับการทดลองโดย วัฒนา วัชรอาภาไพบูลย์ (2550) ที่พบว่าปริมาณไขมันในข้าวกล้องงอกเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านงอก โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณไขมันนั้นเป็นผลมาจากในกระบวนการงอก เกิดการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ fatty acid synthase หรือเอนไซม์ใน melvionate pathway ทำให้เกิดการสังเคราะห์ไขมันสูงขึ้น โดยเฉพาะบริเวณชั้นรำข้าว หรือ bran layer (Shoichi, 2004)

3. ปริมาณเยื่อใย

จากการทดลองพบว่า ปริมาณเยื่อใยในเมล็ดข้าวกล้อง control มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.29 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงการศึกษาของ Kent (1983) ที่พบว่าปริมาณเยื่อใยในเมล็ดข้าวกล้องมีค่าเท่ากับร้อยละ 1.20 และเมื่อผ่านการงอกพบปริมาณเยื่อใยสูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งสภาวะการแช่น้ำที่ทำให้ปริมาณเยื่อใยสูงสุดคือสภาวะเดียวกับที่มีปริมาณโปรตีนและไขมันเพิ่มขึ้น (พีเอช 6 อุณหภูมิ 35 °C) รองลงมาคือ สภาวะการแช่ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 °C (ตารางที่ 1) เนื่องจากเมล็ดขณะงอกโปรตีนและแป้งถูกย่อยสลายไปสู่บริเวณที่มีการเจริญเป็นรากอ่อน ซึ่งส่งเสริมการสังเคราะห์สารพอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble polysaccharides) เช่นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ให้มีปริมาณสูงขึ้น (Bravo, 1998) เป็นสาเหตุให้เยื่อใยเพิ่มขึ้นในข้าวกล้องงอก เช่นเดียวกับรายงานโดย Koehler *et al.* (2007) ที่พบว่าอุณหภูมิในการแช่น้ำเท่ากับ 30 °C มีผลให้ปริมาณเยื่อใยเพิ่มขึ้น

4. ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

จากทดลองพบว่าหลังจากการงอกปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านการงอกซึ่ง สภาวะพีเอช 6 อุณหภูมิ 45 °C ปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลงน้อยที่สุด โดยยังคงมีคาร์โบไฮเดรตในเมล็ดสูง เท่ากับ ร้อยละ 78.67 ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่พบเหลือน้อยที่สุดในเมล็ดคือ การแช่ที่พีเอช 6 อุณหภูมิ 35 °C (ตารางที่ 1) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้อาจมาจากเอนไซม์อะไมเลสเพิ่มมากขึ้นระหว่างการงอก มีการเปลี่ยนแปลงเมตาบอลิซึมภายในเมล็ด คาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนรูปเป็นน้ำตาลอิสระและเด็กซ์ทรินด้วยเอนไซม์ย่อยแป้ง การที่พีเอช 6 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยสุด เนื่องจากเป็น

ช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส ส่งผลทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองในข้าวโอ๊ตของ Bartlett (1997) และการทดลองในข้าว buckwheat ของ Kim et al. (2008) ที่พบว่าการงอกทำให้ปริมาณแป้งของธัญพืชดังกล่าวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลงจากร้อยละ 60 เหลือร้อยละ 30

5. ปริมาณวิตามินบี 1

จากการทดลอง พบว่า พีเอชและอุณหภูมิในการแช่น้ำมีผลร่วมกันต่อการเพิ่มขึ้นของวิตามินบี 1 ในเมล็ดข้าวกล้องงอกเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้อง control โดยสภาวะที่มีปริมาณวิตามินบี 1 สูงสุด คือ การแช่น้ำที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 °C มีวิตามินบี 1 เท่ากับ 7.62 มิลลิกรัม/100 กรัม รองลงมาคือ สภาวะการแช่น้ำพีเอช 4 อุณหภูมิ 45 °C โดยปริมาณวิตามินบี 1 เท่ากับ 3.81 มิลลิกรัม/100 กรัม (ตารางที่ 2) โดยการเพิ่มขึ้นของวิตามินบี 1 ในช่วงการงอก เนื่องจากเมล็ดมีการหายใจ ได้พลังงานในรูปของ ATP ซึ่งสามารถนำมาสังเคราะห์สาร pyrimidine และ thiazole ซึ่งถูกเอนไซม์ thiamine phosphate synthase ย่อยสลายเป็น thiamine phosphate และเกิดปฏิกิริยาเติมหมู่ฟอสเฟตโดยเอนไซม์ thiamine phosphate kinase ได้เป็น thiamine pyrophosphate ซึ่งเป็น thiamine ที่อยู่ในรูปพร้อมทำงาน (Begley, 1996) ในขณะที่สภาวะการแช่น้ำที่พีเอช 6 อุณหภูมิ 35 °C มีปริมาณวิตามินบี 1 ต่ำสุดเท่ากับ 2.90 มิลลิกรัม/100 กรัม เนื่องมาจากพีเอช 6 อาจไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ thiamine pyrophosphate

6. ปริมาณวิตามินซี

ปริมาณวิตามินซีในเมล็ด control มีปริมาณเท่ากับ 0.03 มิลลิกรัม AA/100 มิลลิลิตร แต่ไม่พบปริมาณวิตามินซีในเมล็ดข้าวงอกทุกสภาวะ (ตารางที่ 2) เนื่องจากเป็นวิตามินซีเป็นวิตามินที่ละลายน้ำ (water-soluble vitamin) และสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกความร้อนในขณะอบแห้ง (อุณหภูมิ 65 °C) (รัชนี ตันตะพานิชกุล, 2540)

7. ปริมาณกาบา (GABA)

ปริมาณกาบาในเมล็ดข้าว control มีปริมาณเท่ากับ 9.13 มิลลิกรัม/100 กรัม โดยในระหว่างการงอกปริมาณกาบาเพิ่มขึ้นในทุกสภาวะการแช่ ซึ่งสภาวะการแช่น้ำที่มีปริมาณกาบาสูงสุดคือการแช่ที่พีเอช 6 อุณหภูมิ 35 °C มีค่าเท่ากับ 20.96 มิลลิกรัม/100 กรัม (ตารางที่ 2) ส่วนสภาวะที่มีปริมาณกาบาต่ำที่สุดคือที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 45 °C โดยมีปริมาณกาบา เท่ากับ 13.06 มิลลิกรัม/100 กรัม เนื่องจากในสภาวะที่มีการปรับพีเอชให้เป็นกรดเล็กน้อย H^+ ไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์กลูตาเมต ดีคาร์บอกซีเลส (glutamate decarboxylase) ทำให้เกิดการเปลี่ยนกรดกลูตามิก (glutamic acid) ไปเป็นสารกาบา (Shelp et al., 1999)

8. ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolics)

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในเมล็ดข้าวก่อนงอกมีค่าเท่ากับ 2.24 มิลลิกรัม/100 กรัม แต่เมล็ดข้าวที่ผ่านการงอกมีปริมาณฟีนอลิกเพิ่มขึ้นในทุกสภาวะการแช่น้ำ โดยการแช่น้ำที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 °C มีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 3.98 มิลลิกรัม/100 กรัม รองลงมาคือที่สภาวะพีเอช 6 อุณหภูมิ 35 °C เท่ากับ 3.86 มิลลิกรัม/100 กรัม โดยสภาวะพีเอช 4 อุณหภูมิ 45 °C เท่ากับ 3.16 มิลลิกรัม/100 กรัม (ตารางที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jongjareonrak et al. (2009) ที่นำข้าวกล้องงอกที่อุณหภูมิ 25 °C ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการงอก

9. ปริมาณแคโรทีนอยด์ (carotenoids)

ปริมาณแคโรทีนอยด์ในข้าวกล้องงอกอยู่ในช่วง 0.25-0.43 มิลลิกรัม/ กรัม น้ำหนักสด (fresh weight; FW) โดยการงอกที่ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุด คือ การแช่น้ำที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 °C รองลงมาคือที่พีเอช 6 อุณหภูมิ 35 °C อย่างไรก็ตามการแช่น้ำส่งผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเมล็ดข้าวลดลงเมื่อเทียบกับข้าว control (0.343 มิลลิกรัม/ กรัม FW) ยกเว้นเมล็ดข้าวงอกที่สภาวะการแช่น้ำพีเอช 4 อุณหภูมิ 35 °C (ตารางที่ 3) การที่อุณหภูมิมีผลต่อสีของเมล็ดพืช เนื่องด้วยความร้อนที่เกิดในกระบวนการงอกอาจส่งผลให้เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและเอนไซม์เพอรอกซิเดสทำงานได้ดี ทำปริมาณแคโรทีนอยด์ในเมล็ดข้าวเปลี่ยนแปลง (Ramesh et al., 2001)

ตารางที่ 1 ปริมาณโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรตของข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

pH	อุณหภูมิ (°C)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เยื่อใย (%)	เถ้า (%)	คาร์โบไฮเดรต (%)
Control		13.29	3.41 ^a	1.29	1.98	79.94
4		13.71	3.94 ^b	1.48	2.18	78.67
6		13.84	4.37 ^a	1.44	1.93	78.41
F-test		ns	*	ns	ns	ns
LSD		0.78	0.44	0.27	0.38	1.49
	Control	13.29	3.49	1.29	1.98	79.94
	35	13.81	4.31	1.52	2.11	78.24
	45	13.74	4.00	1.40	2.00	78.84
	F-test	ns	ns	ns	ns	ns
	LSD	0.78	0.44	0.27	0.38	0.99
Control		13.29	3.49	1.29	1.98	79.94
4	35	13.72	4.20	1.50	2.24	78.33
	45	13.71	3.67	1.46	2.13	78.02
6	35	13.90	3.60	1.54	1.98	78.15
	45	13.77	4.43	1.35	1.88	78.67
F-test		ns	ns	ns	ns	ns
LSD		0.95	0.54	0.33	0.46	1.22
C.V.(%)		3.83	7.46	12.85	12.53	0.85

หมายเหตุ: ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการเปรียบเทียบ

ค่าเฉลี่ย Least Significant Difference (LSD) ตามวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ตารางที่ 2 ปริมาณวิตามินบี 1 วิตามินซี และกาบา (GABA) ของข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

pH	อุณหภูมิ (°C)	วิตามินบี 1 (mg/100 g)	วิตามินซี (mgAA/100 ml)	GABA (mg/100 g)
Control		2.11 ^b	0.030	9.13 ^c
4		5.71 ^a	0.000	13.86 ^b
6		2.98 ^b	0.000	18.91 ^a
F-test		**	ns	**
LSD		1.80	0.0038	1.8676
	Control	2.11 ^b	0.033	9.13 ^c
	35	5.26 ^a	0.000	17.81 ^a
	45	3.44 ^b	0.000	14.96 ^b
	F-test	*	ns	**
	LSD	1.80	0.0038	1.8676
Control	Control	2.11 ^b	0.033	9.13 ^d
4	35	7.62 ^a	0.000	14.66 ^b ^c
	45	3.81 ^b	0.000	13.06 ^c
6	35	2.90 ^b	0.000	20.97 ^a
	45	3.07 ^b	0.000	16.87 ^b
F-test		*	ns	**
LSD		2.2065	0.0047	0.2873
C.V.(%)		31.06	38.729	8.4150

หมายเหตุ: ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, *, ** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และ 99 ตามลำดับ
ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการเปรียบเทียบ
ค่าเฉลี่ย Least Significant Difference (LSD) ตามวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ตารางที่ 3 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolics) และแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ของข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

pH	อุณหภูมิ (°C)	total phenolics (mg/100 g)	carotenoids (mg/g of F.W)
Control		2.24 ^b	0.34 ^a
4		3.57 ^a	0.34 ^a
6		3.69 ^a	0.27 ^b
F-test		ns	**
LSD		0.3817	0.0287
	Control	2.24 ^c	0.34 ^a
	35	3.92 ^a	0.36 ^a
	45	3.34 ^b	0.25 ^b
	F-test	**	**
	LSD	0.3817	0.0287
Control	Control	2.24 ^c	0.34 ^b
4	35	3.98 ^a	0.43 ^a
	45	3.16 ^b	0.25 ^d
6	35	3.86 ^a	0.29 ^c
	45	3.51 ^{ab}	0.26 ^{cd}
F-test		ns	**
LSD		0.4675	0.0352
C.V.(%)		7.660	6.114

หมายเหตุ: ns คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, ** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Least Significant Difference (LSD) ตามวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

สรุปผลการศึกษา

การควบคุมพีเอชและอุณหภูมิน้ำ สามารถปรับปรุงคุณค่าทางอาหารของเมล็ดข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ได้ดังนี้

1. เมล็ดข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำพีเอช 6 และอุณหภูมิการแช่ที่ 35 °C มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเยื่อใยเพิ่มขึ้น และส่งผลให้เมล็ดข้าวกล้องงอกมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลง
2. จากการทดลองพบว่าพีเอชและอุณหภูมิในการแช่เมล็ดข้าวกล้องงอกมีผลร่วมกันต่อการเพิ่มขึ้นของวิตามินบี 1 โดยเฉพาะในข้าวกล้องงอกที่แช่น้ำที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 °C และการแช่น้ำก่อนงอกส่งผลให้ปริมาณวิตามินซีสูญเสียหมด (ไม่สามารถตรวจพบได้)
3. ปริมาณกาบาของเมล็ดข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ก่อนงอกมีปริมาณเท่ากับ 9.133 มิลลิกรัม/100 กรัม และมีปริมาณเพิ่มขึ้นในทุกสภาวะการแช่น้ำ โดยเฉพาะการแช่น้ำที่พีเอช 6 อุณหภูมิ 35 °C มีปริมาณกาบาส่งสูงที่สุด เท่ากับ 20.96 มิลลิกรัม/100 กรัม
4. ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณแคโรทีนอยด์ของเมล็ดข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการแช่น้ำที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 35 °C

จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105 ที่เมล็ดพันธุ์เริ่มต้นมีความงอกไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 เมื่อนำมาแช่น้ำที่อุณหภูมิ 35 °C และปรับพีเอชของน้ำให้เป็นกรด มีค่าพีเอช เท่ากับ 4 หรือ 6 ก่อนนำมาผ่านกระบวนการงอกสามารถ สามารถทำให้สารอาหารหลายๆชนิดเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะโปรตีน ไขมัน วิตามิน บี 1 สารกาบา และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นสามารถนำข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105 เป็นบริโภคเป็นอาหารเสริม ร่วมกับข้าวหุงสุกที่มีคุณค่าทางอาหารต่ำ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับปรุงวิธีการงอกข้าวกล้องงอกและธัญพืชงอกด้วยวิธีอื่น เช่น การหมัก ที่ส่งผลให้คุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้นสูงกว่ากระบวนการงอก
2. ควรศึกษาปัจจัยอื่น เช่น ปริมาณก๊าซออกซิเจน ปริมาณน้ำที่ใช้ในการแช่ ที่เพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ในกระบวนการงอก และเพิ่มอัตราการหายใจที่สามารถส่งเสริมการสร้างและสังเคราะห์สารอาหารในเมล็ดข้าวงอก
3. ควรศึกษาการนำเมล็ดข้าวกล้องงอกและต้นอ่อนจากข้าวงอกไปเป็นอาหารเสริมสุขภาพ (functional foods)
4. ควรศึกษาเพิ่มเติมในธัญพืชอื่น เพื่อนำมาเป็นข้อมูลสำหรับผลิต functional foods

เอกสารอ้างอิง

- รัชนี้ ตันทะพานิชกุล. (2549). *เคมีอาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 408 หน้า.
- วัฒนา วัชรอาภาไพบูลย์. (2550). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้างกล้งงอกที่มีคุณค่าทางอาหารสูง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า. 148 หน้า.
- สุพัตรา เลิศวณิชย์วัฒนา. (2546). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวงอก*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 109 หน้า.
- A.O.A.C. (1990). *Official Method of Analysis*, 15th ed. Association of Official Analytical Chemistry. Washington, D.C. 1298 p.
- Bartlett, J.M. (1997). The chemical composition of green sprouted oats. *Journal of the Mysore Agricultural Experiment Union*, 266, 113-116.
- Begley, P.T. (1996). The Biosynthesis and degradation of thiamin (vitaminB1). *Natural Product Reports*, 177-185.
- Bravo, L. (1998). Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Reviews*, 56, 317-333.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2008). *Prodstat faostat*. Online Available 2008, August 26: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx#ancor>.
- Hogy, P. & Fangmeier, A. (2008). Effect of elevated atmospheric CO₂ on grain quality of wheat. *Journal of Cereal Science*, 48(3), 1-12.
- Jongjareonrak, A., Sawaddiwong, R., Benjakul, S., Osako, K. & Tanaka, M. (2009). Effect of germination conditions on antioxidant activity of germinated brown rice. *Czech Journal of Food Sciences*, 27, 53-61.
- Kent, N.L. (1983). *Chemical composition of cereal, In Technology of Cereals (3rd edition.)*. Pergamon Press, New York, pp. 27-48.
- Khalil, A.W., Zeb, A., Mahmood, F., Tariq, S., Khattak, A.B. & Shah, H. (2007). Comparison of sprout quality characteristics of desi and kabuli type chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *Swiss Society of Food Science and Technology*, 40, 937-945.

- Kim, H.J., Lee, D.S. & Paik, H.D. (2004). Characterization of *Bacillus cereus* isolates from raw soybean sprouts. *Journal of Food Protection*, 67, 1031-1035.
- Kim, S.J., Zaidul, I.S.M., Suzuki, T., Mukasa, Y., Hashitomo, N., Takigawa, S., Noda, T., Matsuura-Endo, C., & Yamauchi, H. (2008). Comparison of phenolic composition between common and tartary buckwheat (*Fagopyrum*) sprouts. *Food Chemistry*, 110, 814-820.
- Kitaoka, S., & Nakano, Y. (1969). Colorimetric determination of ω -amino acids. *Journal of Biochemistry*, 66, 87-94.
- Koehler, P., Hartmann, G., Wieser, H.T., & Rychlik, M. (2007). Changes of folates, dietary fiber, and proteins in wheat as affected by germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 4678-4683.
- Lin, P.Y. & Lai, H.M. (2006). Bioactive compounds in legumes and their germinated products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 3807-3814.
- Liu, S., Zhang, Z., Liu, Q. Luo, H., & Zheng, W. (2002). Spectro photometric determination of vitamin B1 in a pharmaceutical formulation using triphenylmethane acid. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 30, 685-694.
- Mwikya, S.M., Camp, J.V., Yiru, Y., & Huyghebaert, A. (2001). Nutrient and antinutrient changes in finger millet (*Eleusine coracana*) during sprouting. *Lebensmittel-Wiss. u. Technology*, 33, 9-14.
- Pei-Yin, L., & His-Mei, L. (2006). Bioactive compounds in legumes and their germinated products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 3807-3814.
- Ramesh, M.N., Wolf, W., Tevini, D., & Jung, G. (2001). Influence of processing parameters on the drying of spice paprika. *Journal of Food Engineering*, 49, 63-72.
- Sawaddiwong, R., Jongjareonrak, A., & Benjakul, S. (2008). *Phenolic content and antioxidant activity of germinated brown rice as affected by germination temperature and extraction solvent*. Online Available [2009 May 18]: http://www.kmitl.ac.th/science/sci__journal/.
- Shelp, B.J., Bown, A.W., & Mclean, M.D. (1999). Metabolism and functions of gamma-amino butyric acid. *Trends in Plant Science*, 4, 446-452.

- Shoichi, I. (2004). Marketing of value-added rice products in Japan: Germinated brown rice and rice bread. *FAO Rice Conference*, 1-10.
- Tatala, S., Ndossi, G., Ash, D., & Mamiro, P. (2007). Effect of germination of finger millet on nutritional value of foods and effect of food supplement on nutrition and anaemia status in Tanzanian children. *The National Center for Biotechnology Information*, 9, 77-86.
- Yalcin, E., Celik, S., Akar, T., Sayim, I., & Koksel, H. (2007). Effect of genotype and environment on β -glucan and dietary fiber contents of hull-less barleys grown in Turkey. *Food Chemistry*, 101, 171-176.

คณะผู้เขียน

รองศาสตราจารย์ ดร.อรพิน เกตุชูชื่น

ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชเขตร้อนและกึ่งร้อน คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี 49 ถนนเทียนทะเล 25 แขวงท่าข้าม
เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150
e-mail: orapin.ker@kmutt.ac.th

รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐา เลาทกุลจิตต์

ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชเขตร้อนและกึ่งร้อน คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี 49 ถนนเทียนทะเล 25 แขวงท่าข้าม
เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150
e-mail: nutta.lao@kmutt.ac.th

นางอรัญญ์ โกกิลกนิษฐ

มหาดบัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีชีวภาพ
คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
49 ถนนเทียนทะเล 25 แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150
e-mail: orataicomca@hotmail.com