

ค่าดัชนีน้ำตาลและคุณภาพของมกกะโรนีที่มีส่วนผสมของแป้งถั่วแปะยี

Glycemic index and certain qualities of macaroni containing lablab flour (*Dolichos lablab*)

Wanus Marachai, Sukunya Kwangpan and Yuthana Phimolsiripol*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแป้งถั่วแปะยีต่อค่าดัชนีน้ำตาลและคุณภาพของมกกะโรนี โดยศึกษาการเตรียมแป้งจากถั่วแปะยีด้วยวิธีต่างกันต่อคุณภาพมกกะโรนี ได้แก่ แป้งจากถั่วแปะยีที่ผ่านการแช่น้ำ การงอก การต้ม และการหมักเปรียบเทียบกับแป้งเซโมลินา 100% โดยพบว่า มกกะโรนีผสมแป้งจากถั่วแปะยีที่ผ่านการหมักในอัตราส่วนร้อยละ 10 มีผลทำให้ค่าสี L^* , b^* ค่าคุณภาพเนื้อสัมผัส ปริมาณของแข็งที่สูญเสียไปในระหว่างต้ม ค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏกลิ่นรสโดยรวม รสชาติโดยรวม ความเหนียวนุ่ม และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากมกกะโรนีที่ผลิตจากแป้งเซโมลินา 100% อย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) จากการศึกษาอัตราส่วนแป้งเซโมลินาต่อแป้งถั่วแปะยีหมัก (ร้อยละ 100:0, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 โดยน้ำหนัก) ที่เหมาะสม พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมประกอบด้วย แป้งเซโมลินาต่อแป้งถั่วแปะยีหมักร้อยละ 85:15 โดยมีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 64 ซึ่งลดลงร้อยละ 13 เมื่อเปรียบเทียบกับมกกะโรนีที่ผลิตจากแป้งเซโมลินา 100% ที่มีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 77 และมีความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย (6.1) ซึ่งการใช้แป้งถั่วแปะยีหมักในมกกะโรนีทำให้เป็นผลดีต่อสุขภาพมากขึ้นในแง่ของการลดค่าดัชนีน้ำตาลลง

คำสำคัญ: มกกะโรนี, แป้งถั่วแปะยี, เซโมลินา, อัตราการย่อยสลาย, ค่าดัชนีน้ำตาล

Abstract

The objective of this research was to study the effect of lablab flour on the glycemic index (GI) and certain qualities of macaroni. Four different preparation methods (soaking, germination, cooking and fermentation) of lablab flour for macaroni were compared to macaroni made from 100% semolina flour. Color L^* , b^* , texture value, cooking loss, sensory hedonic score of appearance, overall odor, overall taste, stickiness and overall liking of macaroni containing fermented lablab flour were not significantly different ($P \geq 0.05$) from macaroni made from 100% semolina flour. The ratios of semolina and lablab flour (100:0, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25 and 70:30 w/w) were investigated. Results revealed that the optimal ratio of semolina and lablab flour was 85:15. The GI of mixed macaroni was 64, which was lower by about 13% when compared to macaroni made from 100% semolina flour (GI = 77). Overall-liking hedonic score was like slightly (6.1). In conclusion, use of fermented lablab flour provides health benefits in terms of lowering GI.

Keywords: Macaroni, lablab flour (*Dolichos lablab*), semolina, in vitro starch digestibility, glycemic index

Division of Product Development Technology, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University,
Chiang Mai 50100, Thailand

* Corresponding author. Tel: +66 5394 8236 E-mail: yuthana.p@cmu.ac.th

1. บทนำ

การบริโภคอาหารในชีวิตประจำวันได้เปลี่ยนแปลงไป เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคอ้วน (obesity) ซึ่งเป็นปัญหาหลักของสาธารณสุขที่พบมากขึ้น โดยมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการบริโภคอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตมากเกินไป รวมถึงการบริโภคไขมันมากเกินไป ซึ่งอาจส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดได้ และยังเป็นสาเหตุให้เกิดความเสี่ยงในโรคอื่นๆ เช่น โรคความดันโลหิตสูง ไขมันในเลือดสูง โรคเกาต์ และโรคเบาหวาน เป็นต้น (Araya et al., 2002) ซึ่ง Mohan et al. (2009) พบว่าการบริโภคคาร์โบไฮเดรตจากข้าวมีผลทำให้มีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ดังนั้น FAO/WHO (1998) จึงแนะนำให้ใช้ค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index, GI) ซึ่งเป็นดัชนีที่แสดงผลกระทบของคาร์โบไฮเดรตต่อระดับน้ำตาลในเลือดในการวางแผนควบคุมอาหาร โดย GI มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ขึ้นกับว่าอาหารนั้น มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดมากหรือน้อย หลังการบริโภคอาหารนั้น 2 ถึง 3 ชั่วโมง ซึ่งค่า GI สามารถจำแนกได้ 3 ระดับ คือ ค่า GI สูง (มีค่ามากกว่า 70) ค่า GI ปานกลาง (56-69) และค่า GI ต่ำ (มีค่าน้อยกว่า 55) โดยการบริโภคอาหารที่มีค่า GI ต่ำ หรือมีค่า GI ลดลง จะช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด และลดความเสี่ยงในการเกิดโรคได้ (Mulholland et al., 2009)

พาสตาเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ โดยเฉพาะในปี 2011 ประเทศสหรัฐอเมริกามียอดจำหน่ายสูงถึง 2.84 พันล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา (Statista, 2013) ซึ่งอาหารประเภทนี้เป็นที่นิยมในประเทศไทยมากเช่นกัน จากสถิติของกรมศุลกากร พบว่าในปี 2012 ประเทศไทย มีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ประเภทพาสตา มักกะโรนี หรือประเภทเส้นต่างๆ เป็นจำนวนเงินมากกว่า 81 ล้านบาท (The custom Department, 2013) แสดงถึงปริมาณความต้องการการบริโภคที่มากในปัจจุบัน มักกะโรนีเป็นพาสตาชนิดหนึ่งนิยมรับประทานกันโดยผลิตมาจากแป้งเซโมลินาเป็นหลักซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงร้อยละ 71 (Chillo et al., 2011) จึงอาจส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดได้ โดยค่า GI ของพาสตาทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 43-54 ขึ้นกับองค์ประกอบและวัตถุดิบของพาสตา (Aston et al., 2008) ซึ่งมีความพยายามในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเส้น เช่น พาสตา และมักกะโรนี เพื่อลดอัตราการย่อยสลายและค่า GI ลง (Aravind et al., 2012; Chillo et al., 2011)

ถั่วเป็นแหล่งโปรตีน ที่มีราคาถูกลง และนิยมนำมาใช้เป็นอาหารอย่างแพร่หลายและยังเป็นแหล่งวิตามินบี เกลือแร่ (Dostalova et al., 2009) และแหล่งของใยอาหาร (Morrow, 1991) ในการนำถั่วมาใช้ประโยชน์มักจะต้องมีการกระบวนการต่างๆ เช่น การต้ม การเพาะงอก หรือการหมัก เพื่อเป็นการทำลาย trypsin inhibitor ได้ (Borijindakul and Phimolsiripol, 2013; Herken et al., 2007; Prinyawiwatkul et al., 1996) โดยถั่วถูกพิจารณาให้เป็นอาหารประเภท GI ต่ำ (Chung et al., 2008) จากการศึกษาของ Brennan and Tudorica (2008) และ Petitot et al. (2010) พบว่า การผสมแป้งถั่วชนิดต่างๆ เช่น ถั่วแขก (*Phaseolus vulgaris* L.) และถั่วเมล็ดแห้งของพืชตระกูลถั่ว (Leguminosae) ในผลิตภัณฑ์พาสตา สปาเกตตี้ หรือมักกะโรนี สามารถลดอัตราการย่อยสลาย และค่า GI ลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับพาสตาที่ผลิตจากแป้งเซโมลินา 100% เนื่องจากแป้งจากพืชตระกูลถั่วยังเป็นแป้งต้านทานการย่อย (resistant starch) และมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) ประมาณร้อยละ 13-19 สูงกว่าในแป้งสาลีที่มีใยอาหารเพียงร้อยละ 3 (Portugal et al., 2013) จึงทำให้อัตราการย่อยสลายมีค่าลดลง ส่งผลต่อ

การเพิ่มขึ้นของระดับกลูโคสที่ถูกปล่อยเข้าไปในกระแสเลือดเกิดได้อย่างช้าๆ จึงส่งผลต่อการทำให้ GI มีค่าลดลง (Hoover and Zhou, 2003)

ถั่วแปะยี (*Dolichos lablab*) มีการเพาะปลูกในภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งปลูกมากในเขตพื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน และมักส่งเสริมการปลูกถั่วแปะยีสลับเปลี่ยนระหว่างการปลูกข้าวโพดเพื่อช่วยปรับปรุงดิน และผลผลิตถั่วแปะยีมีมากถึง 1,087 กิโลกรัม/ไร่/ปี ซึ่งเพียงพอต่อระบบอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากถั่วแปะยี (อุทิศ และอดิเรก, 2553) และยังพบว่าเป็นแหล่งเส้นใยอาหาร (ร้อยละ 13-19) ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพและมีประสิทธิภาพในการลดระดับคอเลสเตอรอลได้ (Chau et al., 1998; Chau and Cheung, 1999) และใยอาหารมีผลต่อการลดค่า GI (Brennan and Tudorica, 2008) อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์ของถั่วแปะยีในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ยังพบไม่มากนัก โดยมากจะเป็นการแปรรูปในลักษณะของถั่วทอดเป็นหลัก ซึ่งมีมูลค่าไม่สูงนัก การใช้ประโยชน์ของถั่วแปะยีในรูปแบบอื่นๆ เช่นการผลิตเป็นแป้ง หรือนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ถั่วแปะยีได้สูงขึ้นได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการพัฒนามั๊กกะโรนีจากแป้งถั่วแปะยี โดยทำการศึกษา วิธีการเตรียมแป้งถั่วแปะยีที่เหมาะสม และอัตราส่วนของแป้งถั่วแปะยีต่อคุณภาพของมั๊กกะโรนี เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากถั่วแปะยีให้มากขึ้น

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัตถุดิบ

ถั่วแปะยี (*Dolichos lablab*) ที่เก็บเกี่ยวภายในปี 2554/ 2555 อำเภอไชยปราการ จังหวัดเชียงใหม่ แป้งเซโมลินา และเกลือ (ยี่ห้อปรุ้งทิพย์ บริษัทอุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด ประเทศไทย)

2.2 การเตรียมแป้งถั่วแปะยี

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการเตรียมแป้งถั่วแปะยี 4 วิธี ในการผลิตมั๊กกะโรนี ตามวิธีการของ Herken et al. (2007) โดยทำการเตรียมดังนี้

- 2.2.1 การเตรียมแป้งถั่วแปะยีที่ผ่านการแช่น้ำโดยนำถั่วแปะยีแช่น้ำอัตราส่วน 1:4 โดยน้ำหนักเป็นเวลา 10 ชั่วโมงมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง
- 2.2.2 การเตรียมแป้งถั่วแปะยีที่ผ่านการงอก โดยนำถั่วแปะยีแช่น้ำอัตราส่วน 1:4 โดยน้ำหนักเป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นสับเต้าน้ำ นำถั่วมาวางกระจายบนผ้าฝ้าย แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง
- 2.2.3 การเตรียมแป้งถั่วแปะยีที่ผ่านการต้ม โดยนำถั่วแปะยีแช่น้ำอัตราส่วน 1:4 โดยน้ำหนักเป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- 2.2.4 การเตรียมแป้งถั่วแปะยีที่ผ่านการหมัก โดยนำแป้งถั่วแปะยีที่ได้จากวิธีการที่ 2.2.1 มาผสมกับน้ำในอัตราส่วนแป้งต่อน้ำเท่ากับ 1:4 ให้เป็นน้ำแป้งจากนั้นมาหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปิดด้วยอลูมิเนียมฟอยล์เพื่อป้องกันการระเหยน้ำและอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

จากนั้น นำแป้งที่ได้จากแต่ละวิธีมาบดละเอียดด้วยเครื่อง Hammer mill (Series 2000, Armfied, Germany) และ Ultra centrifugal mill (ZM200, Retsch, Germany) ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพได้แก่ ค่าสีในระบบ CIE L^* a^* b^* ด้วยเครื่องวัดค่าสี (CR410, Konica-Minolta, Japan) ปริมาณความชื้นตามวิธีการของ AOAC (2000) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) ด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (CX3TE, Decagon, USA) และค่าดัชนีการละลายน้ำ (Water Solubility Index, WSI) ตามวิธีการของ Jangchud et al. (2003)

2.3 การศึกษาวิธีการเตรียมแป้งถั่วแปะยีที่เหมาะสมในการผลิตมั๊กกะโรนี

นำแป้งถั่วแปะยีแต่ละวิธีที่ได้จากการทดลองที่ 2.2 มาทดสอบคุณภาพ โดยผลิตเป็นเส้นมั๊กกะโรนีใช้อัตราส่วนแป้งเซโมลินาต่อแป้งถั่วแปะยีร้อยละ 90:10 โดยน้ำหนัก โดยผลิตมั๊กกะโรนีตามวิธีการดัดแปลงจาก Herken et al. (2007) ซึ่งมีส่วนผสม ได้แก่ แป้งเซโมลินา แป้งถั่วแปะยี เกลือ และน้ำเท่ากับร้อยละ 64.0, 7.1, 0.4 และ 28.5 ตามลำดับ ทำการร่อนแป้งเซโมลินา แป้งถั่วแปะยี และเกลือเข้าด้วยกัน เติมน้ำลงไป นวดด้วยเครื่องผสม (model 5K533, Kitchen aid, USA) เป็นเวลา 25 นาที จากนั้นขึ้นรูปด้วยเครื่องทำมั๊กกะโรนีแบบมือหมุน (Regina ATLAS, Italy) และอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (model 600, Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำมั๊กกะโรนีที่ได้มาต้มในน้ำเดือด ประมาณ 25 นาที ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

2.3.1 ค่าสี CIE L^* a^* b^* หลังการปรุงสุก ด้วยเครื่องวัดค่าสี (CR410, Konica-Minolta, Japan)

2.3.2 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

2.3.3 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (CX3TE, Decagon, USA)

2.3.4 ค่าความแน่นเนื้อ (firmness) และความเหนียว (stickiness) ตามวิธีการดัดแปลงของ Sozer et al. (2007) ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (TA-Xtplus, Stable Micro Systems, Surrey, UK) ที่ต่อกับหัววัดแบบ P100(100 มิลลิเมตร) โดยกำหนดค่าดังนี้ Mode: Texture profile analysis; Option:Return to start; Pre-Test Speed: 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที; Test Speed:1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที; Post-Test Speed: 3.0 มิลลิเมตรต่อวินาที; Strain: ร้อยละ 75;Time: 2 วินาที; Trigger Force: 0.05 นิวตัน; Data AcquisitionRate: 200 จุดต่อวินาทีโดยนำเส้นที่ผ่านการต้มสุกแล้วยาว 7 เซนติเมตร บันทึกค่า firmness เป็นแรงสูงสุดที่ใช้ และค่า stickiness เป็นค่าแรงที่ติดลบเมื่อถอนหัววัดออกจากตัวอย่างทำการวัดแต่ละตัวอย่างจำนวน 10 ครั้ง

2.3.5 ปริมาณของแข็งที่สูญเสียไปในระหว่างต้ม (cooking loss) ตามวิธีการของ Pinarli et al. (2004)

2.3.6 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 50 คน โดยมีคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ ความเหนียวนุ่ม (stickiness) และความชอบโดยรวม

2.4 การศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวที่ผสม

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แปรผันปริมาณแป้งเซโมลินาต่อแป้งข้าวเหนียวร้อยละ 100:0, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30 โดยน้ำหนัก ทำการผลิตมั๊กกะโรนีและนำมาวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.3 และวิเคราะห์คุณภาพเพิ่มเติมดังนี้

2.4.1 ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดตามวิธีการของ AACC (2000) number 76.13 โดยใช้ชุดทดสอบของ Megazyme

2.4.2 อัตราการย่อยแป้ง (in vitro starch digestibility) ตามวิธีการของ Sopade and Gidley (2009) และ Mahasukhonthachat et al. (2010b) ตามสมการ the modified first-order kinetic ดังนี้

$$D_t = D_0 + D_{\infty} (1 - \exp(-kt))$$

โดยที่ค่า	D_0	=	อัตราการย่อยสตาร์ชที่เวลา $t = 0$
	D_{∞}	=	อัตราการย่อยสตาร์ชที่เวลา $t = \infty$
	k	=	อัตราการย่อยต่อนาที
	t	=	เวลา (นาที)

2.4.3 ค่า GI จากการคำนวณ (predicted GI, pGI) นำค่าอัตราการย่อยสตาร์ชที่ได้จาก 2.4.2 มาคำนวณค่า GI จากสมการ $GI = 39.21 + (0.803 \times H_{90})$ ตามวิธีการของ Goni et al. (1997) โดยที่ค่า H_{90} เป็นค่าอัตราการย่อยของสตาร์ชที่เวลา 90 นาที

2.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลที่วิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$)

3. ผลและวิจารณ์

3.1 ค่าคุณภาพของแป้งข้าวเหนียวที่เตรียมด้วยวิธีต่างกัน

จากผลการศึกษาคุณภาพของแป้งข้าวเหนียวที่เตรียมด้วยวิธีต่างกัน พบว่า แป้งข้าวเหนียวที่เตรียมด้วยวิธีต่างกันให้ค่าสี L^* , a^* , b^* ความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี และค่าดัชนีการละลายน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ดัง Table 1 โดยรวม แป้งจากข้าวเหนียวมีค่าความสว่าง (L^*) มากกว่าแป้งเซโมลินา ยกเว้นแป้งจากข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการหมัก นอกจากนี้ ค่าดัชนีการละลายน้ำของแป้งข้าวเหนียวหมักมีค่าที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ผ่านการแช่น้ำและการต้ม โดยเกิดจากแป้งข้าวเหนียวหมักที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนหลายครั้งที่อุณหภูมิสูง ทำให้โครงสร้างของแป้งถูกทำลายระหว่างสายโซ่ของพอลิเปปไทด์ (polypeptide chains) และพันธะไฮโดรเจน เมื่อนำมาละลายน้ำที่ข้อน้ำ (hydrophilic) จะทำปฏิกิริยากับพันธะไฮโดรเจนกับกลุ่มไฮดรอกซิลระหว่างแป้งกับน้ำได้ง่ายขึ้น (Xu et al., 2005) นอกจากนี้ การที่ค่าดัชนีการละลายน้ำของแป้งที่มีค่าสูงกว่าในแป้งเซโมลินา อาจ

เนื่องมาจากการหลุดออกของของแข็งที่ละลายได้ เช่น ปริมาณน้ำตาล และใยอาหารที่ละลายน้ำ (Jangchud et al., 2003)

Table 1. Physicochemical properties of lablab flour (soaked, germinated, cooked and fermented) compared to semolina flour.

Properties	Semolina flour	Soaked lablab flour	Germinated lablab flour	Cooked lablab flour	Fermented lablab flour
L*	89.02 ± 0.21 ^b	90.24 ± 0.40 ^a	90.51 ± 0.06 ^a	90.55 ± 0.14 ^a	84.82 ± 0.18 ^c
a*	0.96 ± 0.13 ^b	0.13 ± 0.08 ^d	0.14 ± 0.07 ^d	0.47 ± 0.06 ^c	1.23 ± 0.03 ^a
b*	13.43 ± 0.13 ^{ab}	12.48 ± 0.59 ^{bc}	11.68 ± 0.14 ^c	14.24 ± 0.08 ^a	12.53 ± 0.26 ^{bc}
Moisture (% wb)	13.22 ± 0.52 ^b	13.32 ± 0.90 ^b	11.04 ± 0.32 ^c	17.20 ± 0.27 ^a	4.60 ± 0.28 ^d
a _w	0.70 ± 0.00 ^b	0.68 ± 0.00 ^c	0.61 ± 0.00 ^d	0.84 ± 0.00 ^a	0.17 ± 0.00 ^e
WSI (g/g dry sample)	3.59 ± 0.72 ^d	14.20 ± 0.56 ^b	27.32 ± 1.55 ^a	8.88 ± 0.73 ^c	13.82 ± 0.90 ^b

Different letters in same row indicate statistical differences (P<0.05).

3.2 ผลของแป้งถั่วแปะยี่ที่เตรียมด้วยวิธีต่างกันต่อคุณภาพของมัทกะโรนี

แป้งจากถั่วแปะยี่ที่ผ่านการหมักมีผลทำให้มัทกะโรนีมีค่าสี L*, b* ค่าความแน่นเนื้อ ค่าความเหนียว ปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม ค่าคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรสโดยรวม รสชาติโดยรวม ความเหนียวนุ่ม และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากมัทกะโรนีที่ผลิตจากแป้งเซโมลินาล้วนอย่างมีนัยสำคัญ (P≥0.05) ดัง Table 2 และ 3 โดยมัทกะโรนีอบแห้งมีปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วงร้อยละ 8-10 และ 0.37-0.61 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ สำหรับปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มอยู่ในช่วงร้อยละ 4.72-6.40 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพาสตาทั่วไปที่มีค่าประมาณร้อยละ 6 (Aravind et al., 2012) โดย Hosene (1999) ระบุว่าพาสตาที่ดีควรมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มน้อยกว่าร้อยละ 12 นอกจากนี้ การใช้แป้งถั่วแปะยี่ที่ผ่านการหมักในมัทกะโรนี มีผลทำให้ค่าคะแนนความชอบในด้านกลิ่นและความเหนียวนุ่มสูงกว่าวิธีการเตรียมแบบอื่นๆ อีกทั้งจากงานวิจัยของ Borjindakul and Phimolsiripol (2013) พบว่า แป้งถั่วที่ผ่านกระบวนการหมักจะสามารถลดปริมาณแอลฟาไกลโคไซด์ได้ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาด้านการบริโภคถั่วที่อาจเกิดอาการท้องอืดได้ ดังนั้นจึงเลือกแป้งถั่วแปะยี่ที่ผ่านการหมักมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป

Table 2. Color and textural properties of cooked macaroni containing lablab flour prepared from different methods.

Properties	Semolina flour	Soaked lablab flour	Germinated lablab flour	Cooked lablab flour	Fermented lablab flour
L*	68.47±3.60 ^{ab}	73.82±0.52 ^a	68.93±4.15 ^{ab}	70.17±0.39 ^{ab}	64.71±1.20 ^b
a*	-1.29±0.27 ^c	-0.59±0.27 ^{bc}	-0.16±0.17 ^{ab}	-0.43±0.34 ^{ab}	0.31±0.40 ^a
b* ^{ns}	6.85±0.50	8.66±1.42	7.41±0.76	8.44±0.96	7.06±1.58
Firmness (kg.force)	4.46±0.81 ^a	3.65±0.44 ^{ab}	3.44±0.79 ^b	2.01±0.22 ^c	4.37±0.75 ^a
Stickiness	-621.1±222.1 ^c	-231.9±89.2 ^a	-385.6±109.0 ^{ab}	-244.6±71.9 ^a	-489.9±144.8 ^{bc}
Cooking loss (%) ^{ns}	4.72±0.12	5.06±0.48	6.40±1.10	5.62±0.07	5.64±0.23
Moisture (% wb)	9.10±0.19 ^{ab}	10.19±0.10 ^a	8.84±0.40 ^{ab}	8.51±0.40 ^b	8.00±0.74 ^b
a _w	0.54±0.00 ^b	0.61±0.00 ^a	0.56±0.00 ^b	0.57±0.02 ^{ab}	0.37±0.00 ^c

Different letters in same column indicate statistical differences (p<0.05). ns indicates no significantly different (p<0.05).

Table 3. Sensory properties of cooked macaroni containing lablab flour prepared from different methods (n=50).

Macaroni sample	Appearance ^{ns}	Color	Overall Odor	Overall taste	Stickiness	Overall liking
Semolina flour	6.4±0.8	6.6±0.7 ^a	6.3±0.8 ^a	6.3±1.0 ^a	6.6±1.0 ^a	6.4±0.6 ^a
Soaked lablab flour	6.4±0.9	6.2±0.6 ^{ab}	5.3±1.4 ^b	5.7±0.9 ^{bc}	5.6±1.0 ^c	5.6±1.2 ^b
Germinated lablab flour	6.3±0.7	6.4±0.8 ^a	5.4±1.1 ^b	5.2±1.4 ^c	6.3±0.7 ^{ab}	5.9±1.1 ^{ab}
Cooked lablab flour	5.9±1.2	6.4±1.0 ^a	6.1±0.8 ^a	6.1±1.0 ^{ab}	6.0±1.0 ^{bc}	6.1±0.8 ^{ab}
Fermented lablab flour	6.3±0.8	5.9±0.9 ^b	6.2±0.9 ^a	5.9±1.1 ^{ab}	6.2±1.03 ^{ab}	6.1±0.9 ^a

Different letters in same column indicate statistical differences (p<0.05). ns indicates no significantly different (p<0.05).

3.3 ผลของการศึกษาอัตราส่วนของแป้งถั่วแปะยีที่เหมาะสม

จากผลการศึกษาอัตราส่วนของแป้งถั่วแปะยีที่เหมาะสม พบว่า ค่าสี L* และ a* ของเส้น มักกะโรนีหลังการปรุงสุก ปริมาณวอเตอร์แอกทิวิตี ค่าความแน่นเนื้อ ค่าความเหนียว และปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม ให้ค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ดัง Table 4 โดยความชื้นและวอเตอร์แอกทิวิตีมีค่าอยู่ในช่วง (7.93-9.04) และ (0.33-0.41) สำหรับค่าสี พบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งถั่วแปะยีหมักเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) ของมักกะโรนีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ซึ่งการใช้แป้งถั่วแปะยีหมักร้อยละ 30 ทำให้มักกะโรนีมีค่า b* เท่ากับ 12.71 ในขณะที่มักกะโรนีที่ใช้แป้งเซโมลินา 100% มีค่าสี b* เท่ากับ 5.66

สำหรับปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของแป้งถั่วแปะยีเพิ่มขึ้น (Table 4) จากการเติมส่วนผสมของแป้งที่ไม่มีกลูเตนจะทำให้ปริมาณกลูเตนในแป้งเซโมลินา

นาลดลง ส่งผลต่อโครงสร้างกลูเตนที่ไม่แข็งแรง ทำให้เมื่อให้ความร้อนระหว่างการปรุงสุกส่งผลต่อโครงสร้างของโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างสายโซ่ของโพลีเปปไทด์และพันธะไฮโดรเจน จึงทำให้ความสามารถในการกักเก็บสารหรือของแข็งลดลงทำให้ความสามารถในการกักเก็บสารลดลง (Rayas-Duarte et al., 1996) รวมถึงการละลายออกของของแข็งที่ละลายได้ เช่นเดียวกับที่พบในการใช้แป้งถั่วในอาหารประเภทเส้นต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น การใช้แป้ง yellow peas, lentils และ chickpeas (Zhao et al., 2005) หรือการใช้แป้งถั่วร้อยละ 15 หรือ 30 ในการผลิตพาสต้าที่มีปริมาณของแข็งที่สูงสูญเสียในระหว่างการต้มสุกถึงร้อยละ 14-21 (Gallegos-Infante et al., 2010) และยังเกี่ยวข้องกับสมบัติรีโอโลยี (rheological properties) ที่มีสมบัติในการเกิดโครงสร้างและมีความหนืดมากพอที่จะกักเก็บสารไว้ของโปรตีนในแป้งเซโมลินาอีกด้วย (Gallegos-Infante et al., 2010)

ส่วนปริมาณร้อยละสตาร์ชทั้งหมด พบว่า มักกะโรนีจากแป้งเซโมลินา 100% มีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดมากที่สุดที่ร้อยละ 82.94 ดัง Table 5 ซึ่งเห็นว่าปริมาณสตาร์ชมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากปริมาณอัตราส่วนผสมแป้งถั่วแปะยีที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าคงที่อัตราการย่อย (k) ที่บ่งชี้ถึง อัตราเร็วในการย่อยสตาร์ช โดยการเติมแป้งถั่วแปะยีหมักจะมีผลต่อการลดอัตราการย่อยลงจาก 0.036 ต่อนาทิจากมักกะโรนีจากเซโมลินา 100% เป็น 0.002-0.021 ต่อนาทิจา (Table 5) ซึ่งเช่นเดียวกับการเติมใยอาหารจากถั่วที่ร้อยละ 7.5 ในพาสต้าที่ทำให้อัตราการย่อยสตาร์ชลดลง เนื่องจากโครงสร้างของโปรตีนที่จับกับสตาร์ชเปลี่ยนแปลงไป (Tudorica et al., 2002)

จากการวิเคราะห์อัตราการย่อยสตาร์ช และนำมาคำนวณค่า GI ตามสมการของ Goni et al. (1997) พบว่าค่า GI ของมักกะโรนีที่ผสมแป้งถั่วแปะยีหมักในทุกระดับ (ร้อยละ 10-30) มีค่าต่ำกว่ามักกะโรนีจากแป้งเซโมลินา 100% ดัง Fig. 1 ซึ่งค่า GI ของมักกะโรนีที่ผสมแป้งถั่วแปะยีหมักมีค่าลดลงเหลือ 60-69 เมื่อเปรียบเทียบกับมักกะโรนีจากเซโมลินา 100% ที่มีค่า GI เท่ากับ 77 ดัง Table 6 โดยค่า GI ที่ลดลง เนื่องจากปริมาณใยอาหารที่มีในแป้งถั่วแปะยี ซึ่งทำให้เอนไซม์ย่อยเม็ดแป้งได้ยากขึ้นจึงส่งผลให้การย่อยช้าลงได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Brennan and Tudorica (2008) ที่พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วในพาสต้าทำให้อัตราการย่อยแป้งได้ช้าลงส่งผลให้ค่า GI ลดลง โดยพบว่า GI ของพาสตาลดลงเหลือ 27-32 อย่างไรก็ตาม ค่า GI อาจขึ้นกับวิธีการวัดค่า และขนาดของอนุภาคด้วย (Mahasukhonthachat et al., 2010a)

สำหรับคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสผู้บริโภคนจำนวน 50 คน โดยใช้ 9-point hedonic scale พบว่า การเติมแป้งถั่วแปะยีหมักมีผลทำให้ค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสี กลิ่นรสโดยรวม รสชาติโดยรวม ความเหนียวนุ่ม และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ดัง Table 6 แม้ว่าการใช้แป้งถั่วแปะยีที่ร้อยละ 20 จะมีค่าคะแนนความชอบโดยรวมไม่ต่างจากการใช้แป้งเซโมลินา 100% และทำให้ได้ค่า GI น้อยที่สุด แต่คะแนนความชอบจะมีค่าค่อนข้างน้อย (5.9) ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราส่วนผสมแป้งเซโมลินากับแป้งถั่วแปะยีหมักร้อยละ 85:15 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตมักกะโรนีซึ่งมีค่าคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย (6.1)

Table 4. Physicochemical properties of cooked macaroni with different ratio of semolina and fermented lablab flours.

Semolina flour	Fermented lablab flour	L*	a*	b*	Moisture (% wb)	a _w	Firmness (kg.force)	Stickiness	Cooking loss (%)	Total starch (g/100 g dry sample)
100	0	68.9±1.7 ^a	-1.4±0.2 ^c	5.7±0.4 ^c	9.0±0.3 ^a	0.41 ± 0.00 ^a	4.5±0.4 ^a	-479.2±158.5 ^b	4.1±0.2 ^c	82.94
90	10	62.5±1.9 ^b	0.5±0.2 ^b	8.7±1.3 ^b	8.7± 0.9 ^a	0.39 ± 0.00 ^{ab}	4.2±0.6 ^a	-420.2±183.8 ^b	7.4±1.1 ^b	78.83
85	15	63.7±1.2 ^b	0.3±0.3 ^b	8.6±0.7 ^b	8.5±0.3 ^a	0.38 ± 0.01 ^{abc}	3.9±0.4 ^a	-318.3±120.5 ^{ab}	7.8±0.9 ^b	79.64
80	20	61.4±0.3 ^b	1.9±0.4 ^a	11.7±1.3 ^a	8.3± 0.3 ^a	0.36 ± 0.01 ^{bc}	3.7±0.7 ^a	-223.0±102.3 ^a	8.1±0.3 ^b	81.41
75	25	61.7±0.4 ^b	1.6±0.2 ^a	11.9±1.1 ^a	8.2± 0.1 ^a	0.35 ± 0.01 ^{cd}	2.8±0.8 ^b	-154.6±79.8 ^a	9.8±0.7 ^{ab}	74.92
70	30	62.5±0.9 ^b	2.2±0.3 ^a	12.7±0.8 ^a	7.9± 1.3 ^a	0.33 ± 0.01 ^d	2.2±0.8 ^b	-182.9±90.2 ^a	10.9±0.2 ^a	73.35

Different letters in same column indicate statistical differences (p<0.05).

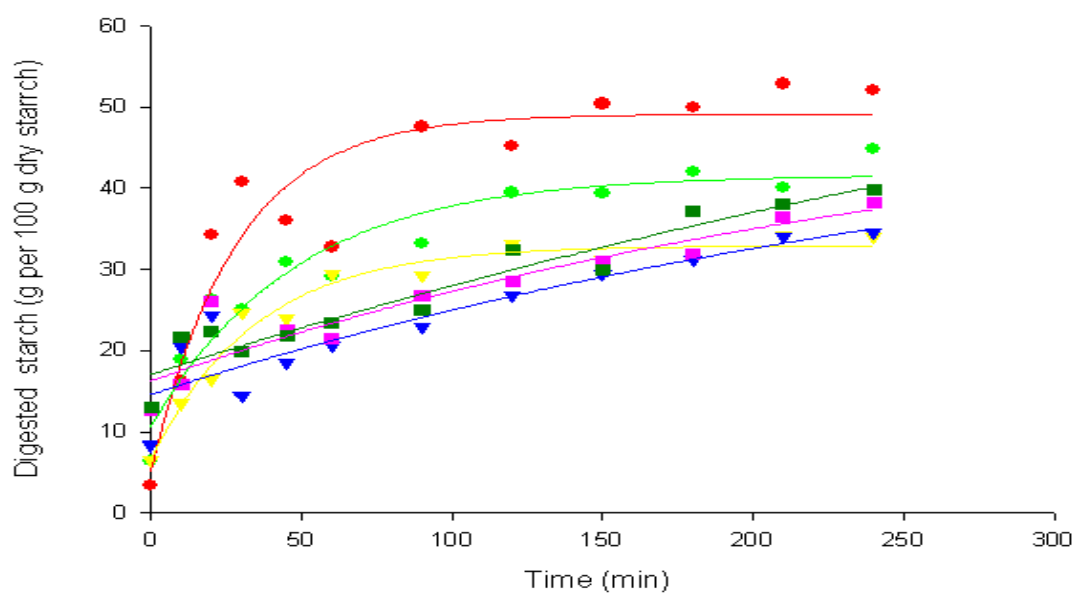


Figure. 1 Starch digestograms of macaroni with different ratio of semolina and fermented lablab flour.

Table 5. Model parameters, hydrolysis index (HI) and predicted glycemic index (pGI) of macaroni containing different levels of fermented lablab flour.

Semolina flour	Fermented lablab flour	D_0	D_α	$k \text{ (min}^{-1}\text{)}$	H_{90}^a	HI ^b	pGI ^c
100	0	5.22	43.92	0.036	47.35	49.06	77.24
90	10	10.66	30.98	0.021	36.96	40.93	68.89
85	15	6.62	26.30	0.029	30.98	32.78	64.08
80	20	14.60	38.54	0.003	23.98	31.08	58.47
75	25	16.27	36.70	0.004	26.43	33.78	60.43
70	30	17.07	63.25	0.002	27.01	35.39	60.90

^{a,b} Predicted digestibility starch at 90 and 180 min using the modified first-order kinetic model of Mahasukhonthachat et al. (2010b). ^c Predicted GI using the equation of Goni et al. (1997) as $GI = 39.21 + (0.803 \times H_{90})$. H_{90} is the starch hydrolysis at 90 min.

Table 6. Sensory properties of cooked macaroni with different ratio of semolina and fermented lablab flours (n=50).

Semolina flour	Fermented lablab flour	Appearance ^{ns}	Color	Overall Odor	Overall Taste	Stickiness	Overall liking
100	0	6.5 ± 1.2	6.8 ± 1.6 ^a	6.4 ± 0.8 ^a	6.4 ± 0.9 ^a	6.6 ± 1.4 ^a	6.5 ± 1.4 ^a
90	10	6.4 ± 0.9	5.9 ± 0.8 ^b	6.0 ± 0.6 ^{ab}	6.0 ± 0.2 ^{ab}	6.3 ± 0.9 ^{ab}	6.4 ± 0.8 ^a
85	15	6.3 ± 1.2	5.8 ± 0.8 ^b	5.7 ± 0.5 ^{bc}	5.8 ± 0.4 ^b	6.3 ± 0.5 ^{ab}	6.1 ± 0.7 ^{ab}
80	20	6.2 ± 0.5	5.7 ± 0.4 ^b	5.6 ± 0.6 ^{bc}	5.7 ± 0.4 ^b	6.2 ± 0.6 ^{abc}	5.9 ± 0.4 ^{abc}
75	25	6.2 ± 0.8	5.5 ± 1.0 ^b	5.5 ± 0.7 ^{cd}	5.5 ± 1.3 ^{bc}	5.9 ± 1.1 ^{bc}	5.6 ± 1.4 ^{bc}
70	30	6.0 ± 1.4	5.4 ± 1.5 ^b	5.1 ± 1.1 ^d	5.2 ± 1.2 ^c	5.7 ± 1.2 ^c	5.5 ± 1.3 ^c

Different letters in same column indicate statistical differences ($p < 0.05$). ns indicates no significantly different ($p < 0.05$).

4. สรุป

วิธีการหมักแป้งถั่วแปะยีเหมาะสำหรับผลิตมกกะโรนี โดยสูตรที่เหมาะสมประกอบด้วย แป้งเซโมลินาต่อแป้งถั่วแปะยีหมักร้อยละ 85:15 โดยผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้มีค่า GI เท่ากับ 64 ซึ่งลดลงร้อยละ 13 เมื่อเปรียบเทียบกับมกกะโรนีจากแป้งเซโมลินา 100% ซึ่งพิจารณาได้ว่าเป็นอาหารที่มีค่า GI ปานกลาง และมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นการใช้แป้งถั่วแปะยีในมกกะโรนี ทำให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่อสุขภาพมากขึ้นในแง่ของการลดค่าดัชนีน้ำตาลลง อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาผลของการเตรียมแป้งต่อปริมาณใยอาหารและค่า GI ในแป้งที่เตรียมขึ้นด้วย

เอกสารอ้างอิง

- อุทิศ เตจ๊ะใจ และอดิเรก ปัญญาธิอ. 2553. การศึกษาระบบการปลูกข้าวโพดโดยไม่ไถพรวนและเหลื่อมด้วยพืชตระกูลถั่ว. รายงานผลการสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่อง การแลกเปลี่ยนองค์ความรู้การวิจัยและพัฒนาที่สูง 19 กุมภาพันธ์ 2553. เชียงใหม่: สถาบันวิจัยและพัฒนาที่สูง (องค์การมหาชน).
- AACC. 2000. Approved methods of the AACC. (10th ed). Minnesota, USA: The Association of Cereal Chemists.
- AOAC. 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. (17th ed). Washington D.C: The Association of Official Analytical Chemists.
- Aravind, N., Sissons, M. and Fellows, M.C. 2012. Effect of soluble fibre (guar gum and carboxymethylcellulose) addition on technological, sensory and structural properties of durum wheat spaghetti. Food Chemistry. 131: 893-900.
- Araya, H., Contreras, P., Alviña, M., Vera, G. and Pak, N. 2002. A comparison between an *in vitro* method to determine carbohydrate digestion rate and the glycemic response in young men. European Journal of Clinical Nutrition. 56: 735-739.

- Aston, L.M., Gambell, J.M., Lee, D.M., Bryant, S.P. and Jebb, S.A. 2007. Determination of the glycaemic index of various staple carbohydrate-rich foods in the UK diet. *European Journal of Clinical Nutrition*. 62: 279-285.
- Borijindakul, L. and Phimolsiripol, Y. 2013. Physicochemical and functional properties of starch and germinated flours from *Dolichos lablab*. *Food and Applied Bioscience Journal*. 1: 69-80.
- Brennan, S.C. and Tudorica, C.M. 2008. Evaluation of potential mechanisms by which dietary fibre additions reduce the predicted glycaemic index of fresh pastas. *International Journal of Food Science and Technology*. 43: 2151-2162
- Chau, C.-F. and Cheung, P.C.-K. 1999. Effects of the physico-chemical properties of three legume fibers on cholesterol absorption in hamsters. *Nutrition Research*. 19: 257-265.
- Chau, C.-F., Cheung, P.C.-K. and Wang, Y.-S. 1998. Chemical composition of three underutilized legume seeds grown in China. *Food Chemistry*. 61: 505-509.
- Chillo, S., Ranawana, D.V., Pratt, M. and Henry, C.J.K. 2011. Glycemic response and glycemic index of semolina spaghetti enriched with barley β -glucan. *Nutrition*. 27: 653-658.
- Chung, H.-J., Liu, Q., Pauls, K.P., Fan, M.Z. and Yada, R. 2008. *In vitro* starch digestibility, expected glycemic index and some physicochemical properties of starch and flour from common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in Canada. *Food Research International*. 41: 869-875.
- Dostalova, J., Kadlac, P., Bernaskova, J., Houska, M. and Strohalm, J. 2009. The changes of α -Galactosides during germination and high pressure treatment of legume seeds. *Czech Journal of Food Science*. 27: 76-79.
- FAO/WHO. 1998. Carbohydrates in human nutrition. Food and Agriculture Organization. 66: 1-140
- Gallegos-Infante, J.-A., Bello-Perez, L.A., Rocha-Guzman, N.E., Gonzalez-Laredo, R.F. and Avila-Ontiveros, M. 2010. Effect of the addition of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour on the *In vitro* digestibility of starch and undigestible carbohydrates in spaghetti. *Journal of Food Science*. 75: 151-156.
- Goni, I., Garcia-Aolnso, A. and Saura-Calixto, F. 1997. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*. 17: 427-437.
- Herken, E.N., İbanoğlu, Ş., Öner, M.D., Bilgiçli, N. and Güzel, S. 2007. Effect of storage on the phytic acid content total antioxidant capacity and organoleptic properties of macaroni enriched with cowpea flour. *Journal of Food Engineering*. 78: 366-372.

- Hoover, R. and Zhou, Y. 2003. *In vitro* and *in vivo* hydrolysis of legume starches by α -amylase and resistant starch formation in legumes—A review. *Carbohydrate Polymers*. 54: 401-417.
- Hoseney, C. 1999. Principles of cereal science and technology (pp. 269–274). St. Paul, MN, USA: American Association of Cereal Chemists.
- Jangchud, K., Phimolsiripol, Y. and Haruthaithanasan, V. 2003. Physicochemical properties of sweet potato flour and starch as affected by blanching and processing. *Starch/Stärke*. 55: 258-264.
- Mahasukhonthachai, K., Sopade, P.A. and Gidley, M.J. 2010a. Kinetics of starch digestion in sorghum as affected by particle size. *Journal of Food Engineering*. 96: 18-28.
- Mahasukhonthachai, K., Sopade, P.A. and Gidley, M.J. 2010b. Kinetics of starch digestion and functional properties of twin-screw extruded sorghum. *Journal of Cereal Science*. 51: 392-401.
- Mohan, V., Shanthirani, C.S. and Deepa, R. 2003. Glucose intolerance (diabetes and IGT) in a selected South Indian population with special reference to family history, obesity and life style factors: the Chennai Urban Population Study (CUPS 14). *Journal of the Association of Physicians of India*. 51: 771–777.
- Morrow, B. 1991. The rebirth of legumes. *Food Technology*. 9: 96.
- Mulholland, H.G., Mulholland, M.M., Anderson, L.A., Johnston, B.T., Watson, R.G.P., Murphy, S.J., Ferguson, H.R., McGuigan, J., Reynolds, J.V., Comber, H. and Murray, L.J. 2009. Glycemic index, carbohydrate and fiber intakes and risk of reflux esophagitis, barrett's esophagus, and esophageal adenocarcinoma. *Cancer Causes Control*. 20: 279-288.
- Petitot, M., Barron, C., Morel, M.H. and Micard, V. 2010. Impact of legume flour addition on pasta structure: consequences on its *in vitro* starch digestibility. *Food Biophysics*. 5: 284-299.
- Pinarli, İ., İbanoğlu, Ş. and Öner, M.D. 2004. Effect of storage on the selected properties of macaroni enriched with wheat germ. *Journal of Food Engineering*. 64: 249-256.
- Portugal, T.R., Parcon, R.V. and Udarbe, M.A. 2013. Proficiency test on total dietary fiber in wheat flour. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*. 4: 82-87.
- Prinyawiwatkul, W., Beuchat, L.R., McWatters, K.H. and Phillips, R.D. 1996. Fermented cowpea flour: Production and characterization of selected physicochemical properties. *Journal of Food Processing and Preservation*. 20: 265–284.
- Rayas-Duarte, P., Mock, C. M. and Saterlee, L. D. 1996. Quality of spaghetti containing buckwheat, amaranth and lupin flours. *Cereal Chemistry*. 73: 381–387.

- Sopade, P.A. and Gidley, M.J. 2009. A rapid *In-vitro* digestibility assay based on glucometry for investigating kinetics of starch digestion. *Starch/Stärke*. 61: 245-255.
- Sozer, N., Dalgic, A. C. and Kaya, A. 2007. Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch. *Journal of Food Engineering*. 81: 476-484.
- Statista. 2013. Market size of pasta varieties in the United States between 2007 and 2016. Retrieved from <http://www.statista.com/statistics/248867/market-sizes-of-pasta-categories-in-the-us/>. (5 March, 2013)
- Thailand Customs Department. 2013. HS-CODE 19.02 Retrieved from <http://internet1.customs.go.th/ext/Statistic/StatisticResult2550.jsp?productCodeCheck=Y&productCode=1902&statType=import&month=12&year=2012&Submit=Search> (10 April, 2013).
- Tudorica, C.M., Kuri, V. and Brennan, C.S. 2002. Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50: 347-356.
- Xu, Y.X., Dzenis, Y. and Hanna, M.A. 2005. Water solubility, thermal characteristics and biodegradability of extruded starch acetate foams. *Industrial Crops and Products*. 21: 361-368.
- Zhao, Y., Manthey, F., Chang, S. and Yuan, S. 2005. Quality characteristics of spaghetti as affected by green and yellow pea, lentil and chickpea flours. *Journal of Food Science*. 70: S371–S376.