

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

ข้าวกล้องสีนเหล็กเป็นข้าวที่มีการพัฒนาสายพันธุ์เพื่อให้มีธาตุเหล็กสูง โดยมีการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวหอมมะลิและข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ พบว่าข้าวกล้องสีนเหล็กเป็นข้าวที่มีโปรตีนและธาตุเหล็กสูงกว่าข้าวกล้องหอมมะลิ มีปริมาณเถ้าและเส้นใยใกล้เคียงกับข้าวกล้องหอมมะลิ แต่มีปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรตที่ต่ำกว่าข้าวกล้องหอมมะลิ ดังนั้นข้าวกล้องสีนเหล็กจึงเป็นข้าวที่เหมาะสมสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการโปรตีนและธาตุเหล็ก และยังดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคเนื่องจากมีปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรตที่ต่ำกว่าข้าวกล้องหอมมะลิที่บริโภคโดยทั่วไป

เมื่อนำข้าวกล้องสีนเหล็กมาผ่านการโม่แบบแห้ง ได้เป็นแป้งข้าวกล้องสีนเหล็กและทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งที่ได้ พบว่า ในด้านคุณสมบัติทางเคมี แป้งข้าวกล้องสีนเหล็กมีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมตามที่มาตรฐานกำหนดและใกล้เคียงกับแป้งข้าวเจ้าโดยทั่วไป ส่วนปริมาณโปรตีนเถ้า และเหล็กในแป้งข้าวกล้องสีนเหล็กมีอยู่ค่อนข้างสูง แต่มีปริมาณอะไมโลสต่ำเมื่อเทียบกับแป้งข้าวเจ้า ดังนั้นแป้งข้าวกล้องสีนเหล็กจึงจัดอยู่ในกลุ่มแป้งที่มีอะไมโลสต่ำ ในด้านคุณสมบัติทางกายภาพ สีของแป้งข้าวกล้องสีนเหล็กจะออกเป็นสีน้ำตาลอ่อน อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชันต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้าเล็กน้อย อยู่ที่ 91.05°C เมื่อพิจารณาจากรูปแบบความหนืดของแป้งแสดงให้เห็นว่าแป้งข้าวกล้องสีนเหล็กจัดอยู่ในกลุ่มแป้งที่มีกำลังการพองตัวปานกลาง ในด้านคุณสมบัติเชิงหน้าที่ แป้งข้าวกล้องสีนเหล็กจะมีค่าดัชนีการละลายน้ำที่สูงกว่าแป้งข้าวเจ้า แต่มีค่าดัชนีการดูดซับน้ำที่ไม่แตกต่างกับแป้งข้าวเจ้าที่มีขายตามท้องตลาด

เมื่อนำแป้งข้าวกล้องสีนเหล็กมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์บราวนี่แป้งข้าวกล้องสีนเหล็ก โดยใช้แป้งข้าวกล้องสีนเหล็กเป็นวัตถุดิบทดแทนแป้งสาลีที่ 0-100% พบว่า สีของผลิตภัณฑ์บราวนี่แต่ละสูตรใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องสีนเหล็กจะมีผลให้ค่าสีเหลือง (b) ที่ลดลง การทดแทนแป้งข้าวกล้องสีนเหล็กในปริมาณ 0-50% ไม่ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บราวนี่ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวกล้องสีนเหล็กเป็น 75-100% จะส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็ง (Hardness) ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อนำผลิตภัณฑ์บราวนี่มาประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์บราวนี่สูตรที่ 4 ซึ่งมีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องสีนเหล็ก 75% เป็นสูตรที่ผู้ประเมินชอบมากที่สุดในทุกด้าน โดยเฉพาะในด้านความนุ่มและความชอบโดยรวมและผู้ทดสอบให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์บราวนี่แป้งข้าวกล้องสีนเหล็กสูงถึงร้อยละ 90 และเมื่อนำผลิตภัณฑ์บราวนี่แป้งข้าวกล้องสีนเหล็กมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ พบว่า เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และธาตุเหล็กสูงกว่าผลิตภัณฑ์บราวนี่ที่ทำจากแป้งสาลี ดังนั้นผลิตภัณฑ์บราวนี่แป้งข้าวกล้องสีนเหล็กจึงเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่เหมาะสมสำหรับผู้ที่ต้องการคุณค่าทางโภชนาการและธาตุเหล็กสูง

อภิปรายผล

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องสีนเหล็ก

ในการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องสีนเหล็ก พบว่าเป็นข้าวที่มีปริมาณโปรตีนและธาตุเหล็กสูงกว่าข้าวกล้องหอมมะลิ และมีปริมาณเถ้าและเส้นใยที่ใกล้เคียงกันกับข้าวกล้องหอมมะลิ โดยทั่วไปเมล็ดข้าวกล้องจะประกอบไปด้วยเปลือกหุ้มเนื้อเมล็ด จมูกข้าว และเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด ส่งผลให้มีคุณค่าทางโภชนาการ แร่ธาตุและวิตามินที่สูงกว่าข้าวขาว แต่ผู้บริโภคมักไม่ชอบรับประทานเนื่องจากมีคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสที่ไม่ดี (Lin et al., 2016) เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการระหว่างข้าวขาวและข้าวกล้อง พบว่า ผู้บริโภคที่ทานแต่ข้าวขาวจะขาดแร่ธาตุที่จำเป็น วิตามิน โปรตีน เส้นใย และคุณค่าทางโภชนาการอื่น ๆ ได้ (Bouis et al., 2003) นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยที่ได้ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการระหว่างข้าวขาวและข้าวกล้อง พบว่า ข้าวกล้องมีปริมาณโปรตีน ไขมัน โยอาหาร วิตามิน ได้แก่ วิตามินบี โนอาซีน และแร่ธาตุ ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียมและฟอสฟอรัส ที่สูงกว่าข้าวขาวอย่างชัดเจน (ใจทิพย์ วานิชชัง และคณะ, 2556) อย่างไรก็ตามในพันธุ์ข้าวโดยทั่วไปที่นิยมบริโภคกันมาก เช่น ข้าวดอกมะลิ หอมสุพรรณบุรี ชัยนาท 1 และกข6 จะมีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวค่อนข้างต่ำอยู่ประมาณ 8-11 mg/kg ในข้าวกล้อง และ 5-8 mg/kg ในข้าวขาว แต่ข้าวพันธุ์พื้นเมืองของไทยบางพันธุ์ เช่น พันธุ์จะนะแ่นะ ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่อยู่บนพื้นที่สูงของประเทศไทย มีปริมาณธาตุเหล็กสูงเช่นเดียวกัน (ชนากานต์ พรหมอุทัย และคณะ, 2547; ทราญคำ ปินตาเสน และคณะ, 2549) แต่ข้าวกล้องสีนเหล็กเป็นข้าวที่มีการพัฒนาพันธุ์ให้มีธาตุเหล็กสูงถึง 17.10 ± 0.34 mg/kg ซึ่งปริมาณธาตุเหล็กที่วิเคราะห์ได้ อยู่ในช่วงของปริมาณธาตุเหล็กที่มีการรายงานไว้ คือ 15-21 mg/kg (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว, 2558)

คุณสมบัติของแป้งข้าวกล้องสีนเหล็ก

แป้งข้าวกล้องสีนเหล็กที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้จากการนำข้าวกล้องสีนเหล็กมาไม่ด้วยวิธีการไม่แห้ง โดยนำข้าวเข้าเครื่องโม่และบดแห้งให้เป็นผง และร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาดตามต้องการ วิธีการโม่แห้งจะไม่มีกรใช้น้ำในกระบวนการโม่ แป้งที่ได้จะแห้ง เม็ดค่อนข้างหยาบและมีสิ่งเจือปนสูงกว่าวิธีการโม่และวิธีผสม (รสิดา โอสถานนท์, 2555) แต่วิธีการโม่แห้งจะทำให้มีการสูญเสียสารต้านออกซิเดชันที่ต่ำที่สุด (กาญจนา ลากุลเพลิน และคณะ, 2553) เนื่องด้วยคุณสมบัติของสารต้านออกซิเดชันที่อยู่ในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานินสามารถละลายน้ำได้ดี (Žilić et al., 2016) เมื่อนำแป้งข้าวกล้องสีนเหล็กมาวิเคราะห์คุณสมบัติในด้านต่าง ๆ จะพบว่า แป้งข้าวสีนเหล็กมีปริมาณอะไมโลสค่อนข้างต่ำ ($7.49 \pm 0.16\%$) แต่ใกล้เคียงกับแป้งข้าวกล้องสีนซึ่งมีปริมาณอะไมโลสอยู่ที่ $9.88 \pm 0.25\%$ (อิดารัตน์ เปรมประสพโชค และคณะ, 2557) และแป้งข้าวเจ้าที่มีขายทางการค้าสายพันธุ์ Japonica ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสอยู่ที่ 8.90 ± 0.82 (Ferng et al., 2016) แป้งข้าวกล้องสีนเหล็กได้จากการโม่แห้ง ซึ่งยังคงมีปริมาณไขมันอยู่ในแป้งปริมาณมากกว่า แป้งที่ได้จากการโม่ น้ำ เนื่องจากน้ำจะช่วยแยกสิ่งเจือปนออกจากแป้งได้ดี ส่งผลให้เกิดสารประกอบ

เชิงซ้อน Amylose-lipid complex ได้ ทำให้อะไมโลสที่อยู่ในแป้งไม่สามารถจับกับไอโอดีนได้ เมื่อทำการวัดค่าสีที่เกิดขึ้นได้ต่ำ (มนทกานต์ เบญจพลากร, 2549) โดยทั่วไปแป้งข้าวเจ้าจะมีปริมาณอะไมโลสอยู่ที่ 18-27% (กล้านรงค์ ศรีวรรต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) อย่างไรก็ตามแป้งข้าวกล้องสีนหลักยังจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันกับแป้งข้าวเจ้า ซึ่งเป็นกลุ่มของแป้งที่มีอะไมโลสต่ำ โดยมีปริมาณอะไมโลสอยู่ระหว่าง 7-20% (สุนทรี เจริญพร, 2555) อะไมโลสมีผลต่อคุณภาพของแป้งเนื่องจากโครงสร้างของอะไมโลสเป็นเส้นตรง และประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ถ้ามีปริมาณอะไมโลสสูงจะส่งผลต่อการดูดน้ำและขยายตัวได้มากเมื่อให้ความร้อน และเมื่อเย็นตัวลงโมเลกุลของอะไมโลสจะมาจับเรียงตัวกัน และปลดปล่อยน้ำออกจากโครงสร้างได้ง่าย (รสิตา ไอสถานนท์, 2555) สำหรับค่าความหนืดของแป้งข้าวกล้องสีนหลัก ที่วัดด้วยเครื่อง Rapid viscosity analyzer (RVA) พบว่า อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืดหรืออุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชัน (Pasting temperature) ที่ได้ของแป้งข้าวกล้องสีนหลักอยู่ที่ 91.05°C ซึ่งใกล้เคียงกับแป้งข้าวเจ้าที่มีขายตามท้องตลาด (92.90 °C) ที่ได้ทำการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ และงานวิจัยของ Hasjim & Dhital, 2013 (89.9-94.5 °C) และ Falade & Christopher, 2015 (78.7-93.7 °C) แต่มีค่าที่สูงกว่าแป้งข้าวเจ้าที่เคยมีการรายงานในงานวิจัยของ Kim & Shin, 2014 (70.4-72.5 °C) และ Cappa et al., 2016 (73.3-78.3 °C) อุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชันของธัญชาติ เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวโพด จะค่อนข้างสูง เนื่องจากแป้งมีปริมาณไขมันสูง และมีขนาดเล็ก ไขมันสามารถรวมตัวกับอะไมโลส ส่งผลให้โครงสร้างเกิดความแข็งแรง การพองตัวจึงลดลงและเกิดเจลาติไนซ์ช้าลง (มนทกานต์ เบญจพลากร, 2549)

ผลิตภัณฑ์บราวนี่แป้งข้าวกล้องสีนหลัก

เมื่อนำแป้งข้าวกล้องสีนหลักมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนแป้งสาลีในการผลิตบราวนี่พบว่า การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องสีนหลักที่ 75-100% ในผลิตภัณฑ์ จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสในทุกด้านแตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แป้งสาลีมีคุณสมบัติเฉพาะที่ไม่เหมือนแป้งชนิดอื่น โดยมีโปรตีน 2 ชนิด คือ กลูเตนิน (Glutenin) และไกลอะดิน (Gliadin) อยู่ร่วมกันในสัดส่วนที่เหมาะสม โดยกลูเตนินมีคุณสมบัติทำให้โดอัมแก๊สต่าง ๆ ได้ เกิดการขึ้นฟู และเกิดโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ส่วนไกลอะดินมีคุณสมบัติในการยึดตัวและยืดหยุ่น เมื่อนำแป้งผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะทำให้เกิดกลูเตน (Gluten) ซึ่งมีลักษณะเหนียว เป็นยาง และยืดหยุ่นได้ดี (จิตรา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2553) เมื่อปริมาณกลูเตนลดลงเนื่องด้วยการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเจ้า ส่งผลให้ความยืดหยุ่น และความเหนียวลดลง ในส่วนของด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์ พบว่า ผลิตภัณฑ์บราวนี่จะมีความแข็งที่ลดลง เมื่อทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องสีนหลักในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแป้งข้าวกล้องสีนหลักมีปริมาณอะไมโลสที่ต่ำกว่าแป้งสาลี เมื่อทดแทนแป้งข้าวเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความนุ่มเพิ่มมากขึ้น (อริสรา รอดมัย และอรอุมา จิตราโรภาส, 2550) ค่าความแข็ง ค่าการต้านทานการเคี้ยว และค่าการยึดติดที่ลดลงในผลิตภัณฑ์บราวนี่แป้งข้าวกล้องสีนหลักสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเจ้าสายพันธุ์ต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์ชีฟฟอนเค้ก (Feng et al., 2016) นอกจากนั้นขนาดอนุภาคของแป้งก็มีผลต่อ

เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยของ Kim & Shin (2014) พบว่า ขนาดอนุภาคของแป้งข้าวที่มีความละเอียดมากจะทำให้ค่าความแข็งของคัพเค้กลดลง แต่ค่าความยืดหยุ่นและค่าการยึดเกาะมีค่าที่เพิ่มขึ้น ส่วนงานวิจัยของ Kim et al. (2009) พบว่า ขนาดอนุภาคของแป้งที่มีความละเอียดมากจะส่งผลให้คูกี้มีค่าความแข็งและความแน่นเนื้อที่สูงขึ้น

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ผลงานวิจัยที่ได้เป็นข้อมูลพื้นฐานในด้านคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติของแป้งข้าวกล้องสีนํ้าเงิน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัย นักวิชาการ และผู้ที่สนใจในด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต่อไป
2. ผลงานวิจัยที่ได้เป็นองค์ความรู้ เพื่อเผยแพร่ให้กับผู้ที่สนใจด้านการแปรรูปอาหาร การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ รวมถึงประชาชนทั่วไปที่สนใจเกี่ยวกับการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. นำแป้งข้าวกล้องสีนํ้าเงินมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่หลากหลายมากขึ้น เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภคอาหารเพื่อสุขภาพอีกทางหนึ่ง
2. ทำการศึกษาลักษณะของเม็ดแป้งหรือสตาร์ชที่ได้จากแป้งข้าวกล้องสีนํ้าเงิน หรือทำการดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อทราบถึงคุณสมบัติของแป้ง และการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเม็ดแป้งในสภาวะต่าง ๆ ทำให้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสม และได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค