

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

กากงาขาวและกากงาดำที่ไม่ผ่านและผ่านการฆ่าเชื้อมีสารให้กลิ่น Methylpyrazine มากที่สุด เมื่อนำกากงาไปฆ่าเชื้อด้วยความร้อน พบว่า สารให้กลิ่นเกือบทุกชนิดมีปริมาณลดลง ยกเว้น 2-Methoxyphenol และ 2-Ethyl-6-methyl-pyrazine ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นที่พบในกากงาขาวมีปริมาณเพิ่มขึ้น การเก็บรักษากากงาที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนในถุงรีทอร์ทเพาซ์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน ส่งผลให้สารให้กลิ่นทุกชนิดมีปริมาณลดลง ผลการวิเคราะห์สารอาหารแสดงให้เห็นว่า กากงาขาวและกากงาดำมีคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และกากใยแตกต่างกัน กรดไขมันที่พบมากที่สุด ในกากงาทั้ง 2 ชนิด คือ กรดไลโนเลอิก (C18:2,n-6) ผลการหาปริมาณสารสำคัญและศักยภาพ ในการต้านอนุมูลอิสระ แสดงให้เห็นว่ากากงาดำมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ไชยานินดิน วิตามินอี เซซามิน เซซาโมลิน และศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ เมื่อวัดด้วยวิธี ORAC และ FRAP มากกว่ากากงาขาว รวมถึงพบว่า กากงาดำสามารถป้องกันภาวะเครียดจากออกซิเดชันในเซลล์ลำไส้ (Caco-2) ได้ดีกว่า กากงาขาว เนื่องจากกากงาดำสามารถยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระในกลุ่ม Reactive oxygen species (ROS) และยับยั้งการหลั่งอินเตอร์ลิวคิน-8 (IL-8) ในเซลล์ลำไส้ที่มีสาเหตุมาจาก H₂O₂ ได้ดีกว่ากากงาขาว ดังนั้นจึงเลือกกากงาดำมาพัฒนาเป็นวอฟเฟิลสำหรับเด็กวัยเรียน ซึ่งทำโดยเสริม กากงาดำ 20, 40 หรือ 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งสาลีในตำรับพื้นฐาน ผลการประเมินทาง ประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point hedonic scale พบว่า ตำรับที่มีกากงาดำ 40 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนน ประเมินสูงสุดในทุกคุณลักษณะ โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ที่ระดับชอบมาก (8.23) จากนั้น นำวอฟเฟิลเสริมกากงาดำ 40 เปอร์เซ็นต์ ไปผ่านการจำลองการย่อยและนำไปหาปริมาณโพลีฟีนอล ทั้งหมด ศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP และความสามารถในการป้องกัน ภาวะเครียดจากออกซิเดชันในเซลล์ลำไส้ ผลการศึกษาพบว่า วอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ผ่านการจำลอง การย่อยมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถ ในการยับยั้งการหลั่ง IL-8 ในเซลล์ลำไส้ที่มีสาเหตุมาจาก H₂O₂ สูงกว่าวอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ไม่ผ่าน การจำลองการย่อย วอฟเฟิลเสริมกากงาดำร้อยละ 40 ปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภค (85 g) มีคาร์โบไฮเดรต 41.32 g โปรตีน 9.73 g ไขมัน 9.76 g กากใย 3.15 g และพลังงาน 292.04 kcal

อภิปรายผล

ชนิดและปริมาณสารให้กลิ่นกากงา

ผลการหาชนิดและปริมาณสารให้กลิ่นในกากงาที่ไม่ผ่านและผ่านการฆ่าเชื้อ พบว่า กากงาทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณสารให้กลิ่นในกลุ่มไพราซีน (Pyrazine) มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Nakamura และคณะ (1989) และ Shimoda และคณะ (1996) ที่พบว่าน้ำมันจากเมล็ดงามีสารให้ กลิ่นในกลุ่มไพราซีนมากที่สุด สารไพราซีนเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็น

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากการรวมตัวกันของน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนเกิดเป็น Schiff 's base และ N-substituted glycosylamine และมีการเรียงตัวใหม่ได้เป็น Amadori หรือ Heyns compounds จากนั้นจะเกิดการสลายตัวแบบ Strecker degradation ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างไดคาร์บอนิลกับกรดอะมิโนได้ α -Dicarbonyls และ α -Aminocarbonyls ซึ่งอาจเกิดการรวมตัวกันเกิดเป็นสารให้กลิ่นรสในกลุ่มพาราซีน (Belitz, Grosch & Schieberle, 2009; Olabode & Arueya, 2016) ซึ่งพบในอาหารหลายชนิดที่ผ่านการคั่ว การอบ เช่น เบเกอรี่ กาแฟ โกโก้ ถั่วลิสง ถั่วเหลือง มันฝรั่ง เป็นต้น สารพาราซีนที่พบทั้งในกากงาขาวและกากงาดำ คือ Methylpyrazine ซึ่งให้กลิ่นเหม็นเขียวและกลิ่นถั่ว (Leffingwell, 1998; Dresow & Böhm, 2009) และ 2, 5-Dimethylpyrazine ให้กลิ่นถั่วคั่วและกลิ่นซ็อกโกแลต (Leffingwell, 1998) ส่วนสารพาราซีนที่พบเฉพาะในกากงาขาว เช่น Pyrazine ให้กลิ่นถั่ว กลิ่นเหม็นเขียว และกลิ่นคั่ว (Nakamura et al., 1989) 2-Ethyl-6-methylpyrazine ให้กลิ่นถั่วเน่า, 2-Ethyl-3-methylpyrazine ให้กลิ่นข้าวโพดคั่ว (จิรสวัสดิ์ ภูวิกรมย์ และสิริ ชัยเสรี, ม.ป.ป.) นอกจากนี้ในกากงาขาวยังมีสารให้กลิ่น เช่น 2-Furanmethanol ให้กลิ่นไหม้ กลิ่นเหม็นเขียว และกลิ่นถั่ว 2-methoxyphenol ให้กลิ่นพริกคั่ว (จิรสวัสดิ์ ภูวิกรมย์ และ สิริ ชัยเสรี, ม.ป.ป.; Puvipirom & Chaiseri, 2012) Hexanal ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นในกลุ่มอัลดีไฮด์ (Aldehyde) ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น กรดไขมันไลโนเลอิก ทำให้เกิดสาร Monohydroperoxides ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของสารในกลุ่มอัลดีไฮด์ โดยพบว่า Hexanal ให้กลิ่นเหม็นเขียว (Min, Lee & Lee, 1989; Shahidi, 2001) ซึ่งพบในอาหารที่ผ่านการคั่ว เช่น แมคคาเดเมีย กาแฟโรบัสต้า ข้าวโพด ข้าว ถั่วเหลือง และงา (Min, Lee & Lee, 1989; Puvipirom & Chaiseri, 2012) ส่วนสารให้กลิ่นที่พบในกากงาดำ เช่น 4, 6-Dimethyl-2-pyridinamine ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นในกลุ่มไพริดีนที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Taylor, McDougall & Stewart, 2007) โดยทั่วไปสารในกลุ่มไพริดีนจะให้รสขมและกลิ่นคั่ว (Sanz et al., 2001) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า กากงาขาวและกากงาดำมีชนิดและปริมาณสารให้กลิ่นที่แตกต่างกันซึ่งส่งผลให้กากงาทั้ง 2 ชนิด มีกลิ่นที่แตกต่างกันด้วย เมื่อนำกากงามาผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน พบว่า สารให้กลิ่นเกือบทุกชนิดมีปริมาณลดลง ยกเว้น 2-Methoxy-phenol ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งสารให้กลิ่นชนิดนี้เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนของลิกแนน (Maga, 1988) เมื่อนำกากงาไปฆ่าเชื้อด้วยความร้อน จึงทำให้มีปริมาณ 2-Methoxy-phenol เพิ่มขึ้น จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนส่งผลให้สารให้กลิ่นในกากงามีปริมาณลดลง ซึ่งเมื่อนำกากงาที่ผ่านการฆ่าเชื้อไปประยุกต์ใช้ในอาหาร อาจทำให้ผู้บริโภคไม่ได้กลิ่นของกากงาและอาจส่งผลให้มีผู้บริโภคไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์อาหารได้ ดังนั้น จึงนำกากงาที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนไปใช้ในการศึกษาต่อไป

สารอาหารในกากงา

เมื่อพิจารณาปริมาณสารอาหารในกากงาขาวและกากงาดำ พบว่า กากงาขาวและกากงาดำ มีปริมาณความชื้น ไขมัน และกากใยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งให้ผลในแนวทางเดียวกับการศึกษาในเมล็ดงาขาวและเมล็ดงาดำของ Kanu (2011) แต่พบว่ากากงาขาว มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และเถ้า แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับกากงาดำ โดยกากงาขาวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่ากากงาดำ แต่มีปริมาณโปรตีนและเถ้าต่ำกว่ากากงาดำ

ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในงาทั้งเมล็ดของ Makinde และ Akinoso (2013) แต่ให้ผลตรงข้ามกับการศึกษาของ Kanu (2011) และ Saeed และคณะ (2015) ที่พบว่า งาขาวทั้งเมล็ดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่างาดำทั้งเมล็ด รวมถึงมีปริมาณโปรตีนมากกว่างาดำทั้งเมล็ด นอกจากนี้ยังพบว่า กากงาที่ใช้ในการศึกษานี้มีปริมาณกากใยและเถ้าสูงกว่าการศึกษาของ Abdelazim Mahmoud และ Ramadan-Hassanien (2013) รวมถึงมีปริมาณโปรตีน และเถ้าสูงกว่าการศึกษาของ Suja และคณะ (2004) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากากงามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด รองลงมาคือ กากใยและโปรตีน รวมถึงพบว่า กากงามีสารอาหารบางชนิด เช่น คาร์โบไฮเดรต และกากใยสูงกว่างาทั้งเมล็ด โดย Makinde และ Akinoso (2013) พบว่า งาขาวและงาดำทั้งเมล็ดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 16.95 เปอร์เซ็นต์ และ 10.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีกากใย 4.70 เปอร์เซ็นต์ และ 7.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ผลการหาชนิดและปริมาณกรดไขมันในกากงา แสดงให้เห็นว่า กรดไขมันที่พบมากที่สุดในการศึกษา คือ กรดไลโนเลอิก (C18:2n-6) และกรดไขมันโอเลอิก (C18:1n-9) ตามลำดับ ผลที่ได้จากการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาในเมล็ดงาของ Nzikou และคณะ (2009) ที่พบว่าเมล็ดงามีปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิกสูงสุด (46.26 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ กรดไขมันโอเลอิก (38.84 เปอร์เซ็นต์) แต่ให้ผลตรงข้ามกับการศึกษาของ Kanu (2011) ที่พบว่า เมล็ดงาขาวและเมล็ดงาดำมีปริมาณกรดไขมันโอเลอิกสูงสุด คือ 45.85 และ 46.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิกมากเป็นอันดับ 2 คือ 37.89 และ 38.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กรดไขมันไลโนเลอิกเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งในกลุ่มโอเมก้า 6 และเป็นกรดไขมันจำเป็นที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ได้เอง จำเป็นต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น ส่วนกรดไขมันโอเลอิกเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว 1 ตำแหน่งในกลุ่มโอเมก้า 9 โดยกรดไขมันทั้ง 2 ชนิดนี้ มีส่วนช่วยลด LDL และเพิ่ม HDL ในกระแสเลือด จึงมีส่วนช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด

ปริมาณสารสำคัญและศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระของกากงา

ผลการหาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด พบว่า กากงาขาวมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด 1,549.57 mg GAE/100g ขณะที่กากงาดำมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด 2,073.13 mg GAE/100g ซึ่งปริมาณโพลีฟีนอลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้มีปริมาณสูงกว่าที่พบในแคโรทสัม (9.40 mg GAE/100g) และแคโรทม่วง (187.80 และ 492.00 mg GAE/100g) (Algarra et al., 2014) แอนโทไซยานินเป็นสารในกลุ่มโพลีฟีนอลที่ให้สีส้ม สีแดง สีส้มเงิน หรือสีม่วงกับพืช โครงสร้างของแอนโทไซยานินประกอบไปด้วยแอนโทไซยานินจับอยู่กับน้ำตาล แอนโทไซยานินที่พบมากในพืช เช่น ไซยานิดิน ฟิโอนิดิน เป็นต้น (Anderson & Markham, 2006) จากการหาปริมาณแอนโทไซยานินในกากงา พบว่า มีเพียงกากงาดำเท่านั้นที่พบแอนโทไซยานินชนิดไซยานิดิน 1.34 mg/100g เซซามิน และเซซาโมลิน เป็นลิแกแนนที่อยู่ในกลุ่มของสารโพลีฟีนอลที่พบมากในเมล็ดงา โดยพบว่า กากงาขาวและกากงาดำมีปริมาณสารเซซามิน 37.94 และ 45.68 mg/100g ตามลำดับ และมีปริมาณสารเซซาโมลิน 22.10 และ 24.97 mg/100g ตามลำดับ ปริมาณสารเซซามินและเซซาโมลินที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าการศึกษาของ Suja, Jayalekshmy & Arumughan (2005b) ที่พบว่า เมล็ดงาขาวมีสารเซซามิน และเซซาโมลิน 399.30 และ 205.40 mg/100g ตามลำดับ ขณะที่เมล็ดงาดำมีสารดังกล่าว

203.70 และ 356.30 mg/100g ตามลำดับ รวมถึงพบว่าในกากงา มีสารเซซามิน 443.10 mg/100g และสารเซซาโมลิน 93.90 mg/100g วิตามินอีเป็นวิตามินที่ละลายในไขมันและมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระโดยสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันได้ จากการศึกษาพบว่า กากงาดำมีปริมาณวิตามินอีสูงกว่ากากงาขาว ซึ่งปริมาณวิตามินอีที่วิเคราะห์ได้จากกากงามีค่าน้อยกว่าปริมาณวิตามินอีที่พบในเมล็ดงาและน้ำมันงา โดย Kanu (2011) พบว่าเมล็ดงาขาวและเมล็ดงาดำมีวิตามินอี 28.46 และ 17.45 mg/100g ตามลำดับ ขณะที่ Youssef, Eshak และ Hana (2013) พบว่า น้ำมันงามีวิตามินอี 0.597 mg/100ml

การหาคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของกากงา ทำโดยใช้วิธี DPPH ซึ่งเป็นการวัดความสามารถของตัวอย่างในการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH[•] วิธี ORAC เป็นการวัดความสามารถของตัวอย่างในการยับยั้งอนุมูลเปอร์ออกซี (Peroxy radical) และวิธี FRAP ซึ่งเป็นการวัดความสามารถของตัวอย่างในการรีดิวซ์สารประกอบ Fe^{3+} -TPTZ ให้อยู่ในรูปของ Fe^{2+} -TPTZ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า กากงาขาวมีค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระเมื่อวัดด้วยวิธี DPPH เท่ากับ 37.76 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่กากงาดำมีค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธีดังกล่าว 24.22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ผลตรงข้ามกับการศึกษาของ Lieu และ Dang (2015) ที่พบว่า กากงาขาวมีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ต่ำกว่ากากงาดำ เนื่องจากกากงาขาว มีค่า IC50 เมื่อวัดด้วยวิธี DPPH เท่ากับ 833.1 mg/l ขณะที่กากงาดำมีค่า IC50 เท่ากับ 817.4 mg/l รวมถึง Saeed และคณะ (2015) ยังพบว่า กากงาขาวทั้งเมล็ดมีเปอร์เซ็นต์ยับยั้งอนุมูลอิสระเมื่อวัดด้วยวิธี DPPH เท่ากับ 4.83 ซึ่งต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์ยับยั้งอนุมูลอิสระที่พบในงาดำทั้งเมล็ด คือ 14.86 นอกจากนี้ Abdelazim Mahmoud และ Ramadan-Hassanien (2013) พบว่า สารสกัดจากกากงามีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH[•] ได้ดีกว่า BHA ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ ส่วนศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ORAC และ FRAP ให้ผลตรงข้ามกับวิธี DPPH เนื่องจากพบว่า กากงาขาวมีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ORAC และ FRAP ต่ำกว่ากากงาดำ โดยกากงาขาวมี ค่า ORAC และ FRAP เท่ากับ 28,782.55 และ 3,153.97 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ ตามลำดับ ขณะที่กากงาดำมีค่าดังกล่าว 37,083.33 และ 4,953.13 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ ตามลำดับ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า กากงามีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระโดยฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่พบในกากงาน่าจะมาจากสารโพลีฟีนอล ไซยานิดิน เซซามิน เซซาโมลิน และวิตามินอีที่พบในกากงา Kumar และ Singh (2015) พบว่า สารเซซามินและเซซาโมลินที่สกัดได้จากเมล็ดงามีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระเมื่อวัดด้วยวิธี DPPH เท่ากับ 30 และ 32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีค่า FRAP เท่ากับ 0.06 และ 0.12 $\mu\text{mol TE}$ ตามลำดับ และมีค่า ORAC เท่ากับ 0.8 และ 1.52 $\mu\text{mol TE}/\text{ml}$ นอกจากนี้ยังพบว่า สารเซซามินและเซซาโมลินที่สกัดได้จากกากงามีศักยภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระคิดเป็น 59 และ 65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสารทั้ง 2 มีฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระได้ดีกว่า BHT ที่มีเปอร์เซ็นต์ยับยั้งอนุมูลอิสระคิดเป็น 48 เปอร์เซ็นต์ (Suja Jayalekshmy & Arumughan, 2005a) กลไกสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระน่าจะมาจากความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระ (Scavenging free radical) โดยการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ หรือจับกับโลหะ (Metal chelation) เช่น เหล็ก ซึ่งสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารโพลีฟีนอลและ ไซยานิดิน รวมถึงความสามารถในการหยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (Chain-

breaking) ของวิตามินอีโดยทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนจากอนุมูลอิสระทำให้ลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระสิ้นสุดลง (Nimse & Pal, 2015)

การป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระในเซลล์ลำไส้ (Caco-2) ของกากงา

การศึกษาประสิทธิภาพของกากงาในการป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระในเซลล์ลำไส้ (Caco-2) ทำโดยนำเซลล์ลำไส้ไปเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเซลล์ที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากกากงาขาวและกากงาดำ ในแต่ละความเข้มข้น (5, 10 หรือ 20 mg/ml) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระด้วย H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 1 mM เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งจะส่งผลให้เซลล์ลำไส้สร้างอนุมูลอิสระในกลุ่ม ROS ออกมา โดย ROS ที่สร้างขึ้นจะส่งผลให้เซลล์ลำไส้ภาวะเครียดจากออกซิเดชัน และก่อให้เกิดการอักเสบตามมา เมื่อเซลล์เกิดการอักเสบจะกระตุ้นให้มีการหลั่งสารในกลุ่มอินเตอร์ลิวคิน เช่น IL-8 ออกมาตอบสนองต่อภาวะการอักเสบร่วมด้วย จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากากงาสามารถยับยั้งการสร้าง ROS และยับยั้งการหลั่ง IL-8 ที่มีสาเหตุมาจาก H_2O_2 ได้ ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของสารโพลีฟีนอล ไซยานิดิน เซซามิน เซซาโมลิน และวิตามินอี Nam และคณะ (2016) รายงานว่า ไซยานิดินสามารถลดการสร้าง ROS ในเซลล์ Tenofibroblast ได้ โดยพบว่าเซลล์ Tenofibroblast กลุ่มที่ได้รับ H_2O_2 ร่วมกับไซยานิดินมีปริมาณ ROS ต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับ H_2O_2 เพียงอย่างเดียว โดยปริมาณ ROS ลดลงตามปริมาณไซยานิดินที่เพิ่มขึ้น รวมถึงพบว่าไซยานิดินสามารถลดการเกิด ROS ที่มีสาเหตุมาจากยาซิสพลาติน (Cisplatin) ได้เช่นกัน (Gao et al., 2013) Hou และคณะ (2003) รายงานว่า เซซามินและเซซาโมลินสามารถลดอันตรายของภาวะเครียดจากออกซิเดชันที่มีสาเหตุมาจาก H_2O_2 ได้ โดยพบว่า Rat pheochromocytoma (PC-12) cell line กลุ่มที่ได้รับเซซามินและเซซาโมลินร่วมกับ H_2O_2 มีชีวิตรอดมากกว่ากลุ่มที่ได้รับ H_2O_2 เพียงอย่างเดียว รวมถึงพบว่า เซซามินและเซซาโมลินสามารถลดการเกิด ROS ที่มีสาเหตุมาจาก H_2O_2 ได้ Hou และคณะ (2005) รายงานว่า เซซาโมลินสามารถยับยั้งการสร้าง ROS และยับยั้งการกระตุ้น p38 MAPK และ Caspase-3 ใน Murine microglial (BV-2) cell line ที่มีสาเหตุมาจาก H_2O_2 ได้ ซึ่งกลไกการยับยั้ง H_2O_2 น่าจะมาจากความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระของเซซาโมลิน รวมถึง Lee และคณะ (2011) ยังพบว่า สารเซซามินสามารถยับยั้งแมคโครฟาจไม่ให้นเหนี่ยวนำให้มีการแสดงออกของ IL-6, IL-8 และ Tumor necrosis factor- α ในเซลล์มะเร็งเต้านม (MCF-7) ได้ Wu และคณะ (2008) ศึกษาผลของวิตามินอีต่อการยับยั้งการหลั่ง IL-8 ใน Human epidermal keratinocytes โดยใช้รังสี UVA ในการเหนี่ยวนำให้เซลล์ Keratinocytes หลั่ง IL-8 ผลการศึกษาพบว่า เซลล์ Keratinocytes กลุ่มที่ได้รับรังสี UVA ร่วมกับวิตามินอีมีการหลั่ง IL-8 ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับรังสี UVA เพียงอย่างเดียว ซึ่งกลไกการยับยั้งน่าจะมาจากความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของวิตามินอี

เมื่อพิจารณาชนิดของกากงา พบว่า กากงาดำสามารถยับยั้งการหลั่ง ROS และ IL-8 ได้ดีกว่ากากงาขาว ซึ่งน่าจะมาจากกากงาดำมีปริมาณสารโพลีฟีนอล แอนโทไซยานิดิน เซซามิน เซซาโมลิน และวิตามินอี มากกว่ากากงาขาว จึงอาจส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหลั่ง ROS และ IL-8 ได้ดีกว่า ดังนั้นจึงเลือกกากงาดำมาพัฒนาเป็นขนมเสริมกากงาสำหรับเด็กวัยเรียน

การพัฒนาขนมเสริมกากงาดำ

การสำรวจความชอบของเด็กวัยเรียนที่มีต่อขนมชนิดต่าง ๆ

ผลการสำรวจความชอบของเด็กวัยเรียนที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนม ได้แก่ แพนเค้ก วอฟเฟิล ชาโก ข้าวเกรียบ ขนมปังปอนด์ และคุกกี้ พบว่า ขนมที่ผู้ตอบแบบสอบถามชอบมากที่สุด คือ วอฟเฟิล อาจเนื่องมาจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่รับประทานง่าย มีหลากหลายรสชาติ เช่น ชาเขียว ใบเตย ช็อกโกแลต เป็นต้น รวมถึงมีการจัดเสิร์ฟคู่กับขนมชนิดอื่น ๆ เช่น ไอศกรีม ผลไม้สด

การพัฒนาขนมวอฟเฟิลเสริมกากงาดำ

จากการประเมินทางประสาทสัมผัสขนมวอฟเฟิลเสริมกากงาดำ พบว่า ผู้บริโภคมีความชอบขนมวอฟเฟิลเสริมกากงาดำ 40 เปอร์เซ็นต์ มากที่สุด โดยให้ข้อเสนอแนะว่า วอฟเฟิลเสริมกากงาดำ 20 เปอร์เซ็นต์ มีกลิ่นหอมของกากงาดำน้อยและมีสีของกากงาดำไม่เด่นชัด ในขณะที่ปริมาณกากงาดำ 60 เปอร์เซ็นต์ ให้กลิ่นและสีของกากงาดำมากเกินไป และขนมมีความแข็ง แสดงให้เห็นว่าปริมาณกากงาดำที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้วอฟเฟิลมีสีเข้มขึ้น และมีกลิ่นของกากงาดำมากขึ้น แต่มีความนุ่มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดค่าสีที่แสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณกากงาดำเพิ่มขึ้นส่งผลให้วอฟเฟิลมีค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลง เนื่องจากกากงาดำมีสีดำเมื่อนำไปเป็นส่วนผสมในวอฟเฟิลจึงส่งผลให้วอฟเฟิลมีสีเข้มขึ้น ดังภาพที่ 4.1 รวมถึงพบว่า เมื่อใส่กากงาดำเพิ่มขึ้นส่งผลให้วอฟเฟิลมีความแข็งเพิ่มขึ้น และค่าความยืดหยุ่นลดลง อาจเนื่องมาจากเมื่อใส่กากงาดำเพิ่มเข้าไปในส่วนผสมของวอฟเฟิลทำให้ส่วนที่เป็นของแข็งที่ไม่ละลายได้เพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้วอฟเฟิลที่ได้มีความแข็งเพิ่มขึ้นและความยืดหยุ่นลดลง

การหาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ และผลการป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระในเซลล์ลำไส้ (Caco-2) ของขนมวอฟเฟิลเสริมกากงาดำ

อาหารที่รับประทานเข้าสู่จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร ซึ่งสภาวะที่ใช้ อาหาร รวมถึงเอนไซม์ต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบทางเดินอาหารอาจส่งผลให้สารสำคัญที่อยู่ในอาหาร เช่น โพลีฟีนอลมีปริมาณเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ดังนั้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจึงควรคำนึงถึงปริมาณสารสำคัญในอาหารหลังจากผ่านกระบวนการย่อยในร่างกายด้วย ซึ่งในการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า วอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ไม่ผ่านการย่อยมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าวอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ผ่านการจำลองการย่อย ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาในน้ำปีทรูท ข้าวกล้องสุก ข้าวขาวสุก และข้าวหมากที่พบว่าอาหารที่ผ่านการย่อยมีปริมาณโพลีฟีนอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าอาหารที่ไม่ผ่านการย่อย (Wootton-Beard & Ryan, 2011; Ti, et al., 2015; ยศพร พลายโกล, 2559) ซึ่งอาจเนื่องมาจากเอนไซม์ กรด-ต่างที่ใช้ในการย่อยสามารถทำลายโครงสร้างของผนังเซลล์ (Cell wall) ทำให้สารสำคัญที่อยู่ในผนังเซลล์หลุดออกมามากขึ้น จึงส่งผลให้มีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นด้วย (ยศพร พลายโกล, 2559) ผลการทดสอบการป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระในเซลล์ลำไส้ (Caco-2) ของวอฟเฟิลเสริมกากงาดำพบว่าวอฟเฟิลเสริมกากงาดำสามารถยับยั้งการหลั่ง IL-8 ที่มีสาเหตุ มาจาก H_2O_2 ได้ ซึ่งเป็นผลมาจากสารโพลีฟีนอล แอนโทไซยานินดิน เซซามิน เซซาโมลิน และวิตามินอีที่พบในกากงาดำดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ การป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระในเซลล์ลำไส้ของกากงาดำ สิ่งที่น่าสนใจ คือ พบว่าวอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ผ่านการย่อยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหลั่ง IL-8 ได้ดีกว่าวอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ไม่ผ่าน

การจำลองการย่อย ซึ่งให้ผลเหมือนกับการศึกษาในข้าวหมากจากข้าวเหนียวดำลิ้มผิวของยศพร พลายนโถ (2559) ซึ่งอาจเนื่องจากวอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ผ่านการย่อยมีปริมาณโพลีฟีนอลและ คีทอยภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ไม่ผ่านการย่อยจึงสามารถยับยั้งการหลั่ง IL-8 ได้ดีกว่าวอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ไม่ผ่านการย่อย ผลที่ได้จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสารสำคัญที่อยู่ในกากงาไม่ถูกทำลายด้วยเอนไซม์ กรด-ต่างในระบบทางเดินอาหาร ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำกากงามา พัฒนาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ผลจากการวิจัยที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการอุตสาหกรรมอาหาร โดยการสังเคราะห์ กลิ่นของกากงาเพื่อนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารที่มีกากงาเป็นส่วนผสมเพื่อให้เป็นที่ยอมรับ ของผู้บริโภค รวมถึงสามารถนำกากงาไปพัฒนาเป็นอาหาร เนื่องจากกากงามีสารอาหารหลายชนิดที่มี ประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน โดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัว ในกลุ่มโอเมก้า 6 และโอเมก้า 9 ได้แก่ กรดไขมันไลโนเลอิกและกรดไขมันโอเลอิกซึ่งกรดไขมันทั้ง 2 ชนิด ช่วยลด ระดับ LDL ในกระแสเลือดรวมถึงช่วยเพิ่มระดับ HDL ในกระแสเลือด จึงมีส่วนช่วยลดการเกิดโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจและหลอดเลือด รวมถึงมีสารสำคัญในกลุ่มโพลีฟีนอล เช่น เซซามินและเซซาโมลิน ที่ช่วยต้านอนุมูลอิสระและป้องกันการเกิดภาวะเครียดจากออกซิเดชันได้

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ควรนำกากงาไปพัฒนาเป็นอาหารชนิดอื่นเพื่อเป็นการส่งเสริมการนำกากงามีใช้ประโยชน์ และควรศึกษาถึงประสิทธิภาพของกากงาและผลิตภัณฑ์อาหารจากกากงาในด้านการลดความเสี่ยงต่อ การเกิดโรคต่าง ๆ เช่น การลดระดับน้ำตาล หรือระดับไขมันในเลือด โดยอาจศึกษาในเซลล์หรือ ในสัตว์ทดลองต่อไป