บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลการหาชนิดและปริมาณสารให้กลิ่นในกากงา

จากผลการศึกษา ดังตารางที่ 4.1 พบว่า สารให้กลิ่นที่พบในกากงาขาวที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อมีทั้งหมด 10 ชนิด ได้แก่ ไพราซีน (Pyrazine) 5 ชนิด คือ Methyl-pyrazine, Pyrazine, 2,5-Dimethyl-pyrazine, 2-Ethyl-6-methyl-pyrazine, 2-Ethyl-3-methyl-pyrazine ไดอะซีน (Diazine) 1 ชนิด คือ 1, 3-Diazine อัลดีไฮด์ (Aldehyde) 1 ชนิด คือ Hexanal ฟีนอล (Phenol) 1 ชนิด คือ 2-Methoxy-phenol ฟูแรน (Furan) 1 ชนิด คือ 2-Furanmethanol และไทอะโซล (Thiazole) 1 ชนิด คือ 2, 4-Dimethyl-thiazole โดยสารให้กลิ่นที่พบมากที่สุดในกากงาขาวที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ คือ Methyl-pyrazine (54.81-28.98 ng/g) รองลงมาคือ 1, 3-Diazine (13.74-9.60 ng/g) และ Pyrazine (7.16 ng/g) ตามลำดับ เมื่อนำกากงาขาวไปผ่านการฆ่าเชื้อ พบว่า การฆ่าเชื้อด้วยความร้อนส่งผลให้สารให้กลิ่นเกือบทุกชนิดมีปริมาณลดลง ยกเว้น 2-Methoxy-phenol และ 2-Ethyl-6-methyl-pyrazine ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น รวมถึงพบว่า การฆ่าเชื้อด้วยความร้อนส่งผลให้มีการสูญเสียสารให้กลิ่นบางชนิด เช่น Pyrazine, 2, 5-Dimethyl-pyrazine และ 2-Ethyl-3-methyl-pyrazine โดยพบว่า กากงาขาวที่ผ่านการฆ่าเชื้อมีปริมาณสารให้กลิ่น Methyl-pyrazine (50.11 ng/g) มากที่สุด รองลงมาคือ 1, 3-Diazine (10.31 ng/g) และ 2-Methoxy-phenol (5.57 ng/g) ตามลำดับ เมื่อนำกากงาขาวที่ผ่านการฆ่าเชื้อไปเก็บรักษานาน 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่า สารให้กลิ่นทุกชนิดมีปริมาณลดลง

สารให้กลิ่นที่พบในกากงาดำที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ มีทั้งหมด 10 ชนิด ได้แก่ ไพราซีน (Pyrazine) 2 ชนิด คือ Methyl-pyrazine, 2, 5-Dimethyl-pyrazine คีโตน (Ketone) 2 ชนิด คือ Methyl isobutyl ketone และ 2, 6-Bis(1, 1-dimethylethyl)-2, 5-cyclohexadiene-1, 4-dione แอลกอฮอล์ (Alcohol) 1 ชนิด คือ 2-Ethyl-1-hexanol ไพริดีน (Pyridine) 1 ชนิด คือ 4, 6-Dimethyl-2-pyridinamine กรด (Acid) 1 ชนิด คือ 2-Butyl ester-2-trifluoromethylbenzoic acid และอื่น ๆ อีก 3 ชนิด คือ Toluene, Xylene และ Styrene โดยสารให้กลิ่นที่พบมากที่สุดในกากงาดำที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ คือ Methyl-pyrazine (44.23 ng/g) รองลงมา คือ Styrene (10.92 ng/g) และ 2, 5-Dimethyl-pyrazine (5.85 ng/g) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารให้กลิ่นที่พบในกากงาทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการฆ่าเชื้อ พบว่า สารให้กลิ่นทุกชนิดมีปริมาณลดลงหลังจากนำกากงาดำไปผ่านการฆ่าเชื้อ รวมถึงพบว่าการฆ่าเชื้อส่งผลให้เกิดการสูญเสียสารให้กลิ่นบางชนิด ได้แก่ Methyl isobutyl ketone, Toluene, Xylene, 4, 6-Dimethyl-2-pyridinamine, 2-Ethyl-1-hexanol, 2, 6-Bis(1, 1-dimethylethyl)-2, 5-cyclohexa-diene-1,4-dione และ 2-Butylester-2-trifluoromethy benzoic acid โดยกากงาดำที่ผ่านการฆ่าเชื้อมีปริมาณสารให้กลิ่น Methyl-pyrazine (36.79 ng/g) มากที่สุด รองลงมาคือ Styrene (6.99 ng/g) และ 2, 5-Dimethyl-pyrazine (3.85 ng/g) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลของการเก็บรักษาต่อปริมาณสารให้กลิ่นในกากงาดำ พบว่า เมื่อเก็บรักษากากงาดำนานขึ้นส่งผลให้สารให้กลิ่นมีปริมาณลดลง ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารให้กลิ่นในกากงาขาวที่ไม่ผ่านและผ่านการฆ่าเชื้อระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน

สารให้กลิ่น (ng/g)	**ระยะเวลาการเก็บกากงาขาว (เดือน)**				
	ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ	**ผ่านการฆ่าเชื้อ**			
		0	**2**	**4**	**6**
Methyl-pyrazine (RT 6.19)	54.81±5.64^{a}	50.11±4.13^{b}	37.91±3.72^{c}	32.17±3.10^{d}	28.98±4.75^{e}
Pyrazine (RT 3.54)	7.16±1.32^{a}	nf^{b}	nf^{b}	nf^{b}	nf^{b}
2-Ethyl-3-methyl-pyrazine (RT 15.30)	5.45±4.50^{a}	nf^{b}	nf^{b}	nf^{b}	nf^{b}
2-Ethyl-6-methyl-pyrazine (RT 15.11)	3.42±2.63^{b}	5.55±2.53^{a}	3.92±2.12^{b}	2.44±0.56^{c}	2.18±3.47^{c}
2, 5-Dimethyl-pyrazine (RT 10.49)	2.48±1.36^{a}	nf^{b}	nf^{b}	nf^{b}	nf^{b}
1, 3-Diazine (RT 3.72)	13.74±3.80^{a}	10.31±2.71^{bc}	10.06±5.03^{bc}	6.89±2.86^{b}	9.60±5.64^{c}
2-Furanmethanol (RT 7.68)	6.63±3.19^{a}	5.42±1.47^{b}	5.01±3.03^{b}	4.16±1.75^{c}	3.55±0.76^{d}
Hexanal (RT 5.42)	4.88±2.81^{a}	4.06±2.09^{a}	3.36±2.77^{b}	3.07±1.92^{bc}	2.48±5.02^{c}
2-Methoxy-phenol (RT 21.02)	2.75±1.34^{b}	5.57±3.94^{a}	5.21±2.66^{a}	5.18±2.61^{a}	5.37±1.90^{a}
2, 4-Dimethyl-thiazole (RT 9.00)	2.53±1.01^{a}	1.65±1.10^{b}	0.84±0.63^{c}	nf^{d}	nf^{d}

หมายเหตุ: nf คือ ไม่พบ

ค่าที่ได้แสดงในตาราง คือ Mean+SD (n=3)

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p<0.05$

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารให้กลิ่นในกากงาดำที่ไม่ผ่านและผ่านการฆ่าเชื้อระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน

สารให้กลิ่น (ng/g)	**ระยะเวลาการเก็บกากงาดำ (เดือน)**				
	ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ	**ผ่านการฆ่าเชื้อ**			
		0	**2**	**4**	**6**
Methyl-pyrazine (RT 6.20)	44.23±3.61[a]	36.79±2.33[a]	34.11±4.35[b]	34.56±3.84[b]	28.02±3.70[c]
2, 5-Dimethyl-pyrazine (RT 10.23)	5.85±2.00[a]	3.85±2.11[b]	3.80±3.40[b]	3.57±5.62[bc]	2.85±2.71[c]
2-Ethyl-1-hexanol (RT 17.43)	5.79±2.87[a]	nf[b]	nf[b]	nf[b]	nf[b]
2-Butyl ester-2-trifluoromethylbenzoic acid (RT 51.35)	4.48±3.14[a]	nf[b]	nf[b]	nf[b]	nf[b]
4, 6-Dimethyl-2-pyridinamine (RT 15.48)	4.48±3.41[a]	nf[b]	nf[b]	nf[b]	nf[b]
2, 6-Bis(1,1-dimethylethyl)-2,5-cyclohexadiene-1,4-dione (RT 45.06)	4.48±2.05[a]	nf[b]	nf[b]	nf[b]	nf[b]
Methyl isobutyl ketone (RT 3.69)	4.46±2.63[a]	nf[b]	nf[b]	nf[b]	nf[b]
Styrene (RT 9.07)	10.92±3.15[a]	6.99±2.07[b]	6.51±2.14[b]	6.95±1.80[b]	6.90±2.85[b]
Toluene (RT 4.39)	4.69±1.88[a]	nf[b]	nf[b]	nf[b]	nf[b]
Xylene (RT 8.01)	4.49±2.59[a]	nf[b]	nf[b]	nf[b]	nf[b]

หมายเหตุ: nf คือ ไม่พบ

ค่าที่ได้แสดงในตาราง คือ Mean+SD (n=3)

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p<0.05$

ผลการวิเคราะห์สารอาหารในกากงา

ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต กากใย และเถ้าในกากงาขาวและงาดำแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งพบว่า กากงาขาวและกากงาดำมีปริมาณความชื้น ไขมัน และกากใยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่พบว่า กากงาขาวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน เถ้า และพลังงานแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับกากงาดำ โดยกากงาขาวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่ากากงาดำ แต่มีปริมาณโปรตีน เถ้า และพลังงานต่ำกว่ากากงาดำ จากผลการวิเคราะห์สารอาหารแสดงให้เห็นว่า กากงาขาวมีความชื้น 5.38 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 25.43 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 17.64 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 12.15 เปอร์เซ็นต์ กากใย 18.97 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 20.45 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกากงาดำมีความชื้น 5.16 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 16.15 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 20.03 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 12.74 เปอร์เซ็นต์ กากใย 19.07 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 26.04 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาชนิดของกรดไขมันในกากงา พบว่า กรดไขมันที่พบมากที่สุดในกากงา คือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง รองลงมาคือ กรดไขมันไม่อิ่มตัว 1 ตำแหน่ง และกรดไขมันอิ่มตัว ตามลำดับ ปริมาณกรดไขมันที่พบมากที่สุดในกากงา คือ กรดไลโนเลอิก (C18:2n-6) และกรดไขมันโอลิอิค (C18:1n-9) ตามลำดับ โดยพบว่า กากงาขาวและกากงาดำมีปริมาณกรดไลโนเลอิกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยกากงาขาวและกากงาดำมีปริมาณกรดไลโนเลอิก 46.18 และ 43.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนกรดไขมันโอลิอิค (C18:1n-9) พบว่า กากงาทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณกรดโอเลอิกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กากงาขาวและกากงาดำมีปริมาณกรดโอเลอิก 36.04 และ 38.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารอาหารในกากงา (เปอร์เซ็นต์)

สารอาหาร	กากงาขาว	กากงาดำ
ความชื้น	5.38 ± 0.27^{a}	5.16 ± 0.30^{a}
คาร์โบไฮเดรต	25.43 ± 2.19^{a}	16.95 ± 1.19^{b}
โปรตีน	17.64 ± 0.78^{b}	20.03 ± 1.05^{a}
ไขมัน	12.15 ± 2.05^{a}	12.74 ± 1.82^{a}
C14:0	0.47 ± 0.03^{b}	0.52 ± 0.03^{a}
C16:0	5.52 ± 0.06^{a}	5.76 ± 0.20^{a}
C16:1, n-9	0.33 ± 0.01^{b}	0.45 ± 0.04^{a}
C18:0	6.92 ± 0.01^{a}	6.78 ± 0.10^{b}
C18:1, n-9	36.04 ± 0.06^{b}	38.64 ± 0.66^{a}
C18:2, n-6	46.18 ± 0.08^{a}	43.61 ± 0.23^{b}
C18:3, n-3	3.64 ± 0.04^{a}	3.28 ± 0.07^{b}
C20:0	0.38 ± 0.02^{b}	0.42 ± 0.02^{a}
C20:1, n-9	0.17 ± 0.01^{b}	0.20 ± 0.02^{a}

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารอาหารในกากงา (เปอร์เซ็นต์) (ต่อ)

สารอาหาร	กากงาขาว	กากงาดำ
ΣMUFA	36.54±0.06[b]	39.30±0.61[a]
ΣPUFA	49.82±0.05[a]	46.88±0.29[b]
Σn-3PUFA	3.64±0.04[a]	3.28±0.07[b]
Σn-6PUFA	46.18±0.08[a]	43.61±0.23[b]
กากใย	18.97±2.13[a]	19.07±1.93[a]
เถ้า	20.45±2.59[b]	26.04±2.18[a]
พลังงาน (kcal)*	281.63	262.58

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p<0.05$
*ได้จาก 4(กรัมโปรตีน+กรัมคาร์โบไฮเดรต)+9(กรัมไขมัน)

ผลการหาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด แอนโทไซยานิดิน เซซามีน เซซาโมลิน วิตามินอี และศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระของกากงา

ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด แอนโทไซยานิดิน เซซามีน เซซาโมลิน วิตามินอี และศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระของกากงาดังตารางที่ 4.4 พบว่า กากงาขาวและกากงาดำมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด แอนโทไซยานิดิน เซซามีน และวิตามินอี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยกากงาขาวมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด 1,549.57 mg GAE/100g เซซามีน 37.94 mg/100 g และวิตามินอี 0.21 mg/100g ขณะที่กากงาดำมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด 2,073.13 mg GAE/100g เซซามีน 45.68 mg/100g และวิตามินอี 0.26 mg/100g ผลการหาปริมาณแอนโทไซยานิดิน พบว่ามีเพียงกากงาดำที่พบไซยานิดิน 1.34 mg /100g เมื่อพิจารณาปริมาณเซซาโมลิน พบว่า กากงาทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณสารดังกล่าวไม่แตกต่างกัน โดยกากงาขาวและกากงาดำมีปริมาณเซซาโมลิน 22.10 และ 24.97 mg/100g ตามลำดับ

ผลการหาศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า กากงาขาวมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวัดด้วยวิธี DPPH ดีกว่ากากงาดำ โดยกากงาขาวและกากงาดำมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระเมื่อวัดด้วยวิธีดังกล่าวเท่ากับ 37.76 และ 24.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนศักยภาพในการต้านอนมูลอิสระด้วยวิธี ORAC และ FRAP ให้ผลตรงข้ามกับวิธี DPPH เนื่องจากพบว่า กากงาขาวมีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ORAC และ FRAP ต่ำกว่ากากงาดำ โดยกากงาขาวมีค่า ORAC และ FRAP เท่ากับ 28,782.55 และ 3,153.97 μmol TE/100g ตามลำดับ ขณะที่กากงาดำมีค่าดังกล่าว 37,083.33 และ 4,953.13 μmol TE/100g ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสารสำคัญและศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระของกากงา

สารสำคัญ/ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ	กากงาขาว	กากงาดำ
โพลีฟีนอลทั้งหมด[1]	1,549.57±14.93[b]	2,073.13±26.74[a]
แอนโทไซยานิดิน[2]		
ไซยานิดิน (Cyanidin)	nf[b]	1.34±0.04[a]
พีโอนิดิน (Peonidin)	nf	nf
เซซามีน[2]	37.94±1.28[b]	45.68±0.95[a]
เซซาโมลิน[2]	22.10±2.58[a]	24.97±1.88[a]
วิตามินอี[2]	0.21±0.02[b]	0.26±0.02[a]
DPPH[3]	37.76[a]	24.22[b]
ORAC[4]	28,782.55±530.77[b]	37,083.33±344.03[a]
FRAP[4]	3,153.97±18.61[b]	4,953.13±50.12[a]

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p<0.05$
nf คือ ไม่พบ
[1]mg GAE/100g
[2]mg/100g
[3]เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ
[4]μmol TE/100g

ผลการทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดจากกากงา

จากการทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดจากกากงาขาวและกากงาดำที่มีต่อเซลล์ลำไส้ดังตารางที่ 4.5 พบว่า เซลล์ลำไส้ที่ได้รับสารสกัดจากกากงาขาวและกากงาดำความเข้มข้น 5, 10 หรือ 20 mg/ml มีชีวิตมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดพิษกับเซลล์ ดังนั้นจึงนำความเข้มข้น 5, 10 หรือ 20 mg/ml ไปใช้ในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การมีชีวิตของเซลล์ลำไส้ที่ได้รับสารสกัดจากกากงา

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์การมีชีวิตของเซลล์ลำไส้ ที่ความเข้มข้นของตัวอย่าง 0-20 mg/ml			
	0	5	10	20
กากงาขาว	100	97	95	97
กากงาดำ	100	96	94	96

ผลการป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระในเซลล์ลำไส้ (Caco-2) ของกากงา

จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าเซลล์ลำไส้ที่ได้รับสารสกัดจากกากงาในปริมาณ 5, 10 หรือ 20 mg/ml ร่วมกับ H_2O_2 ความเข้มข้น 1 mM สามารถยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระ ROS และยับยั้งการหลั่ง IL-8 ได้ดีกว่าเซลล์ลำไส้ที่ได้รับ H_2O_2 ความเข้มข้น 1 mM เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาความสามารถในการยับยั้งการสร้าง ROS และการหลั่ง IL-8 พบว่า ความสามารถในการยับยั้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อเซลล์ลำไส้ได้รับสารสกัดจากกากงาในปริมาณมากขึ้น นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของกากงาขาวและกากงาดำที่ความเข้มข้นเดียวกันต่อความสามารถในการยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระ ROS และยับยั้งหลั่ง IL-8 พบว่า กากงาดำมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระ ROS และยับยั้งการหลั่ง IL-8 ดีกว่ากากงาขาว โดยกากงาดำปริมาณ 5, 10 หรือ 20 mg/ml มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระ ROS คิดเป็น 28.27, 42.57 และ 64.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสามารถยับยั้งการหลั่ง IL-8 คิดเป็น 24.00, 40.80 และ 60.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่กากงาขาวปริมาณ 5, 10 หรือ 20 mg/ml มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระ ROS คิดเป็น 17.49, 31.38 และ 52.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนความสามารถในการยับยั้งการหลั่ง IL-8 คิดเป็น 15.30, 26.90 และ 49.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ผลของสารสกัดจากกากงาต่อการยับยั้งการหลั่ง ROS และ IL-8 ในเซลล์ลำไส้ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดภาวะเครียดจากออกซิเดชั่นด้วย H_2O_2 (1 mM)

ตัวอย่าง	% ROS inhibition	% IL-8 inhibition
H_2O_2 1 mM (กลุ่มควบคุมผลบวก)	0	0
กากงาขาว 5 mg/ml + H_2O_2 mM	17.49	15.30
กากงาขาว 10 mg/ml + H_2O_2 1 mM	31.38	26.90
กากงาขาว 20 mg/ml + H_2O_2 1 mM	52.49	49.30
กากงาดำ 5 mg/ml + H_2O_2 1 mM	28.27	24.00
กากงาดำ 10 mg/ml + H_2O_2 1 mM	42.57	40.80
กากงาดำ 20 mg/ml + H_2O_2 1 mM	64.66	60.60

การพัฒนาขนมเสริมกากงาดำ

ผลการหาปริมาณเซซามีน เซซาโมลิน โพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระของกากงาขาวและกากงาดำ แสดงให้เห็นว่ากากงาดำมีปริมาณสารสำคัญและศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวัดด้วยวิธี ORAC และ FRAP สูงกว่ากากงาขาว ดังนั้น จึงนำกากงาดำมาพัฒนาเป็นขนมสำหรับเด็กวัยเรียน

ผลการสำรวจความชอบของเด็กวัยเรียนที่มีต่อขนมชนิดต่าง ๆ

ผลการสำรวจความชอบของเด็กวัยเรียนที่มีต่อขนม ได้แก่ แพนเค้ก วอฟเฟิล ขาไก่ ข้าวเกรียบ ขนมปังปอนด์ และคุกกี้ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชาย คิดเป็น 63 เปอร์เซ็นต์ และเพศหญิง คิดเป็น 37 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระดับการศึกษาพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อยู่ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 คิดเป็น 51 เปอร์เซ็นต์ และชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 คิดเป็น 49 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลการจัดระดับความชอบ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามชอบวอฟเฟิลมากที่สุด คิดเป็น 27 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จึงเลือกวอฟเฟิลมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขนมเสริมกากงาสำหรับเด็กวัยเรียน

ตารางที่ 4.7 ผลการสำรวจความชอบของเด็กวัยเรียนที่มีต่อขนม

ข้อมูล	เปอร์เซ็นต์
เพศ	
ชาย	63
หญิง	37
ระดับชั้น	
ประถมศึกษาปีที่ 5	51
ประถมศึกษาปีที่ 6	49
ชนิดขนม	
วอฟเฟิล	27
แพนเค้ก	25
ข้าวเกรียบ	15
ขาไก่	14
คุกกี้	11
ขนมปังปอนด์	8

ผลการคัดเลือกตำรับพื้นฐานวอฟเฟิล

ตำรับพื้นฐานของวอฟเฟิล ดังตารางที่ 4.8 จากผลการประเมินทางประสาทของเด็กวัยเรียนชั้นประถมศึกษาที่ 5 และ 6 จำนวน 65 คน ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9-Point hedonic scale พบว่า ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และรสชาติของตำรับ 1 และ 2 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับตำรับ 3 เมื่อพิจารณาความชอบโดยรวม พบว่าทั้ง 3 ตำรับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยตำรับ 1 มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด คือ 8.03 ดังตารางที่ 4.9 ดังนั้น จึงนำตำรับ 1 มาเป็นตำรับพื้นฐานสำหรับพัฒนาเป็นวอฟเฟิลเสริมกากงาสำหรับเด็กวัยเรียน

ตารางที่ 4.8 ตำรับพื้นฐานวอฟเฟิล

ส่วนผสม (g)	ตำรับ		
	1*	2**	3***
แป้งสาลีตราบัวแดง	250	-	-
แป้งอเนกประสงค์	-	120	200
แป้งข้าวโพด	-	-	50
ไข่ไก่	100	100	50
นมสด	150	190	50
เนยละลาย	75	45	-
น้ำตาลทราย	150	60	15
ผงฟู	1	8	3
เบคกิ้งโซดา	-	-	1
เกลือ	1	1	3
ผงอบเชยป่น	-	-	3
ผงลูกจันทน์เทศป่น	-	-	1
โยเกิร์ตรสธรรมชาติ	100	-	200
กลิ่นวนิลา	-	8	3
น้ำมันพืช	-	-	90

หมายเหตุ: * ชัชชญา รักตะกนิษฐ์, วิไลรัตน์ กรนพเกล้า และศุภพิชญ์ โอภาสวิศัลย์, 2557
** เชาวลิต อุปฐาก, โชดก ทับจันทร์ และสุมภา เทิดขวัญชัย, 2554
*** ชลทยา แหวนด่วงเด่น, 2556

ตารางที่ 4.9 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของวอฟเฟิลตำรับพื้นฐาน

คุณลักษณะของ	ตำรับ		
	1	2	3
ลักษณะปรากฏ	7.40 ± 1.50^{a}	7.26 ± 1.70^{a}	4.97 ± 2.37^{b}
สี	7.68 ± 1.40^{a}	7.22 ± 1.60^{a}	4.65 ± 2.20^{b}
กลิ่น	7.75 ± 1.63^{a}	7.30 ± 1.76^{a}	3.95 ± 2.71^{b}
เนื้อสัมผัส	7.52 ± 1.60^{a}	7.22 ± 1.73^{a}	4.37 ± 2.58^{b}
รสชาติ	7.98 ± 1.60^{a}	6.95 ± 1.76^{a}	2.41 ± 2.06^{b}
ความชอบโดยรวม	8.03 ± 1.30^{a}	7.18 ± 1.62^{b}	2.98 ± 2.43^{c}

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p<0.05$

ผลการพัฒนาวอฟเฟิลเสริมกากงาดำ

การพัฒนาวอฟเฟิลเสริมกากงาดำทำโดยเสริมกากงาดำ 20 (A1), 40 (A2) หรือ 60 (A3) เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแป้งสาลีในตำรับพื้นฐาน (ตำรับ 1) ซึ่งคิดเป็นกากงา 50, 100 และ 150 g ตามลำดับ ลักษณะของวอฟเฟิลเสริมกากงาดำดังภาพที่ 4.1 จากนั้นนำวอฟเฟิลที่ได้ไปประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9-Point hedonic scale จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ตำรับ A2 ซึ่งเป็นตำรับที่มีกากงาดำ 40 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนประเมินสูงสุดในทุกคุณลักษณะ โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ที่ระดับชอบมาก (8.23) ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสวอฟเฟิลเสริมกากงาดำ

คุณลักษณะของ	ตำรับ		
ผลิตภัณฑ์	A1	A2	A3
ลักษณะปรากฏ	4.76±2.34^{b}	7.64±1.26^{a}	4.56±2.87^{b}
สี	4.43±2.34^{b}	7.43±1.31^{a}	5.47±10.33^{ab}
กลิ่น	4.63±2.76^{b}	7.66±1.26^{a}	3.79±2.71^{c}
เนื้อสัมผัส	4.87±2.70^{b}	7.66±1.61^{a}	4.428±2.82^{b}
รสชาติ	4.54±2.86^{b}	7.98±1.17^{a}	4.057±3.10^{b}
ความชอบโดยรวม	4.86±2.66^{b}	8.23±0.59^{a}	4.042±2.82^{c}

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p<0.05$

ผลการทดสอบทางกายภาพของวอฟเฟิลเสริมกากงา

ผลการวัดค่าสี

จากผลการวัดค่าสีพบว่า ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง หรือสีเขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง หรือสีน้ำเงิน (b*) ดังตารางที่ 4.11 พบว่า วอฟเฟิลเสริมกากงาดำทั้ง 3 ตำรับ มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับตำรับพื้นฐาน โดยพบว่า ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของวอฟเฟิลเสริมกากงาดำลดลงเมื่อมีปริมาณกากงาดำเพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 4.1

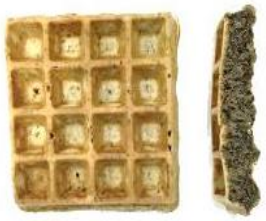
ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบค่าสีของวอฟเฟิลตำรับพื้นฐาน และตำรับเสริมกากงาดำ

ตำรับ		การวัดค่าสี		
		L*	a*	b*
พื้นฐาน		51.20±0.10[a]	+15.20±0.17[a]	+3.00±0.10[a]
กากงาดำ	20%	30.60±0.20[b]	+9.167±0.40[b]	+2.73±0.15[b]
	40%	27.30±0.17[c]	+8.67±0.40[c]	+2.70±0.40[b]
	60%	24.27±0.58[c]	+8.10±0.20[c]	+2.40±0.30[b]

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p<0.05$
L* คือ ค่าความสว่าง ซึ่งมีค่าจาก 0 คือ ดำ ถึง 100 คือ สีขาว
a* คือ บอกความเป็นสีเขียวและสีแดง โดย + แสดงความเป็นสีแดง และ - แสดงความเป็นสีเขียว
b* คือ บอกความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดย + แสดงความเป็นสีเหลือง และ – แสดงความเป็นสีน้ำเงิน

วอฟเฟิลตำรับพื้นฐาน

วอฟเฟิลเสริมกากงาดำ



วอฟเฟิลเสริมกากงาดำ 40%

วอฟเฟิลเสริมกากงาดำ 60%

ภาพที่ 4.1 วอฟเฟิล

ผลการวัดเนื้อสัมผัส

ผลการวัดเนื้อสัมผัส ดังตารางที่ 4.12 พบว่า วอฟเฟิลตำรับพื้นฐานมีค่าความแข็งไม่แตกต่างกับวอฟเฟิลตำรับเสริมกากงาดำ 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าความแข็งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับวอฟเฟิลตำรับเสริมกากงาดำ 60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าความยืดหยุ่น พบว่า วอฟเฟิลตำรับพื้นฐานมีค่าความยืดหยุ่นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับวอฟเฟิลเสริมกากงาดำ จากผลการวัดเนื้อสัมผัส แสดงให้เห็นว่าปริมาณกากงาดำที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้วอฟเฟิลมีความแข็งเพิ่มขึ้นและความยืดหยุ่นลดลง

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบเนื้อสัมผัสวอฟเฟิลตำรับพื้นฐานและตำรับเสริมกากงาดำ

ตำรับ		การวัดเนื้อสัมผัส	
		ความแข็ง	ความยืดหยุ่น
พื้นฐาน		16.47±2.51[a]	1.00±0.00[c]
กากงาดำ	20%	16.95±1.67[a]	0.95±0.01[ab]
	40%	20.79±2.15[ab]	0.91±0.17[a]
	60%	26.33±1.14[c]	0.91±0.04[a]

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p<0.05$

ผลการหาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ

ผลการหาปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ดังตารางที่ 4.13 ซึ่งพบว่า วอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ไม่ผ่านและผ่านการจำลองการย่อยมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพในการต้านอนุมุลอิสระสูงกว่าขนมตำรับพื้นฐาน เมื่อพิจารณาผลของการจำลอง การย่อยต่อปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระในวอฟเฟิลเสริมกากงาดำ พบว่า วอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ไม่ผ่านการจำลองการย่อยมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกับวอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ผ่านการจำลองการย่อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยวอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ไม่ผ่านการจำลองการย่อยมีปริมาณโพลีฟีนอลและศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าวอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ผ่านการจำลองการย่อย โดยวอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ไม่ผ่านและผ่านการจำลองการย่อยมีปริมาณโพลีฟีนอล 4.71 และ 17.93 mg GAE/g ตามลำดับ ส่วนศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระของวอฟเฟิลเสริม กากงาดำที่ไม่ผ่านและผ่านการจำลองการย่อย เมื่อวัดด้วยวิธี DPPH มีค่าความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระคิดเป็น 24.75 และ 39.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อวัดด้วยวิธี FRAP มีค่าเท่ากับ 10.51 และ 111.06 μmol TE/g ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดและศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) ในวอฟเฟิลเสริมกากงาที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการจำลองการย่อยในร่างกายมนุษย์

ตัวอย่าง	โพลีฟีนอลทั้งหมด[1]	DPPH[2]	FRAP[3]
ขนมตำรับพื้นฐานไม่ผ่านการย่อย	3.04±6.71	10.78	5.88±0.27
ขนมเสริมกากงาดำไม่ผ่านการย่อย	4.71±4.86[b]	24.75[b]	10.51±1.44[b]
ขนมตำรับพื้นฐานผ่านการย่อย	14.27±4.3	13.36	42.73±2.80
ขนมเสริมกากงาดำผ่านการย่อย	17.93±3.79[a]	39.30[a]	111.06±2.11[a]

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p<0.05$

[1] mg GAE/g

[2] เปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ

[3] μmol TE/g

ผลการป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระในเซลล์ลำไส้ (Caco-2) ของวอฟเฟิลเสริมกากงาดำ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวอฟเฟิลเสริมกากงาดำต่อการป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระในเซลล์ลำไส้ (Caco-2) ดังตารางที่ 4.14 พบว่า เซลล์ลำไส้ที่ได้รับสารสกัดจากวอฟเฟิลเสริมกากงาดำทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านกระบวนการจำลองการย่อยร่วมกับ H_2O_2 ความเข้มข้น 1 mM มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหลั่ง IL-8 ได้ดีกว่าเซลล์ลำไส้ที่ได้รับ H_2O_2 ความเข้มข้น 1 mM เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของการยับยั้งการหลั่ง IL-8 พบว่า วอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ผ่านกระบวนการจำลองการย่อยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหลั่ง IL-8 ดีกว่าวอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ไม่ผ่านกระบวนการจำลองการย่อย โดยพบว่า วอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ผ่านกระบวนการจำลองการย่อยความเข้มข้น 5 mg/ml มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหลั่ง IL-8 ดีกว่าวอฟเฟิลเสริมกากงาดำที่ไม่ผ่านกระบวนการจำลองการย่อยที่ความเข้มข้น 5 mg/ml

ตารางที่ 4.14 ผลของสารสกัดจากวอฟเฟิลเสริมกากงาดำร้อยละ 40 ที่ต่อการยับยั้งการหลั่ง IL-8 ในเซลล์ลำไส้ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดภาวะเครียดจากออกซิเดชั่นด้วย H_2O_2 (1 mM)

ตัวอย่าง	% IL-8 inhibition
H_2O_2 1 mM (กลุ่มควบคุมผลบวก)	0
ขนมเสริมกากงาดำที่ไม่ผ่านการย่อย 5 mg/ml + H_2O_2 1 mM	13.50
ขนมเสริมกากงาดำที่ไม่ผ่านการย่อย 10 mg/ml + H_2O_2 1 mM	25.20
ขนมเสริมกากงาดำที่ไม่ผ่านการย่อย 20 mg/ml + H_2O_2 1 mM	42.40
ขนมเสริมกากงาดำที่ผ่านการย่อย 5 mg/ml + H_2O_2 1 mM	15.57

ผลการหาคุณค่าทางโภชนาการ

จากประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) พ.ศ. 2541 เรื่อง ฉลากโภชนาการได้กำหนดให้วอฟเฟิลหนึ่งหน่วยบริโภคหนัก 85 g เมื่อนำมาหาคุณค่าทางโภชนาการ พบว่า วอฟเฟิลเสริมกากงาดำ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นตำรับที่มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดมีปริมาณ คาร์โบไฮเดรต 41.32 g โปรตีน 9.73 g ไขมัน 9.76 g กากใย 3.15 g และพลังงาน 292.04 kcal

ตารางที่ 4.15 การหาคุณค่าทางโภชนาการของวอฟเฟิลหนึ่งหน่วยบริโภค (85 g)

ตำรับ	คาร์โบไฮเดรต (g)	โปรตีน (g)	ไขมัน (g)	กากใย (g)	พลังงาน (kcal)
เสริมกากงาดำ 40 เปอร์เซ็นต์	41.32	9.73	9.76	3.15	292.04