

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

สารฟีนอลิกเป็นพฤษเคมีที่พบทั่วไปในพืช มีฤทธิ์ด้านสารอนุมูลอิสระ อาหารที่มีพืชผักเป็นส่วนประกอบ เมื่อนำมารวมกัน สารพฤษเคมีบางชนิดในพืชผักจะมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) แสดงคุณสมบัติด้านสารอนุมูลอิสระแบบเสริมฤทธิ์ (synergistic) รวมฤทธิ์ (additive) หรือต้านฤทธิ์ (antagonistic) เกิดขึ้นทั้งภายในอาหารชนิดเดียวกัน หรือระหว่างอาหารต่างชนิดที่รับประทานร่วมกัน จะเห็นได้จากการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของสารฟีนอลิกในพืช 3 กลุ่ม คือ ผัก ผลไม้ และถั่วชนิดต่าง ๆ นำมาจับคู่ระหว่างพืชกลุ่มเดียวกัน และระหว่างพืชต่างกลุ่มกันพบว่าสารต้านอนุมูลอิสระในส่วนผสมของพืชเหล่านี้ มีปฏิสัมพันธ์แบบเสริมฤทธิ์ 24% แบบรวมฤทธิ์ 71 % และแบบต้านฤทธิ์ 5 % (Wang *et al.*, 2011) ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการรับประทานพืชผักผลไม้และธัญพืชผสมกัน มีโอกาสที่จะได้รับคุณค่าทางสุขภาพสูง เนื่องจากการเกิดปฏิสัมพันธ์ของสารต้านอนุมูลอิสระในอาหาร

ประเทศไทยอุดมด้วยผลไม้หลากหลายชนิด เช่น มะม่วง ส้ม สับปะรด ฝรั่ง ชมพู่ กัลยารัตนา ผลงานวิจัยพบว่าผลไม้เหล่านี้มีสารฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ด้านสารอนุมูลอิสระ (Lim *et al.*, 2007; Alothman *et al.*, 2009; Patthamakanokporn *et al.*, 2008) เกศศิณีและจันทร์เพ็ญ (2543) และ Tangkanakul *et al.* (2006) พบว่าผักพื้นบ้านไทยจากภูมิภาคต่างๆ เป็นแหล่งของสารฟีนอลิก ที่มีฤทธิ์ด้านสารอนุมูลอิสระสูง เช่น ผักสะเม็ก ผักกระโดน ยอดมะม่วงหิมพานต์ ใบมันปู ใบชะมวง เป็นต้น แม้ว่าผลการวิจัยจะแสดงให้เห็นถึงคุณค่าทางสุขภาพ (functional properties) ของผักพื้นบ้าน แต่ยังไม่พบการศึกษาในประเด็นปฏิสัมพันธ์ของสารต้านอนุมูลอิสระในพืชผักผลไม้ไทย ซึ่งเป็นข้อมูลที่ทำให้ประโยชน์ต่อผู้บริโภคที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการเลือกบริโภคอาหาร เพื่อดูแลสุขภาพตนเอง ช่วยลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง อันมีสาเหตุหนึ่งจากสารอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ผลการวิจัยในประเด็นดังกล่าวนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีฤทธิ์ด้านสารอนุมูลอิสระสูงเช่น เครื่องดื่ม เป็นต้น

ในผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่มีในผลิตภัณฑ์และปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียร (stability) ของสารต้านอนุมูลอิสระ ผลการวิจัยพบว่าปัจจัยบางอย่างได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง และความร้อน มีผลต่อความเสถียรของสารฟีนอลิก จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี โดยพบว่าในผลิตภัณฑ์น้ำชา สารฟีนอลิกที่สำคัญ เช่น สารแคทีคิน (catechin) จะเสถียรในสารละลายที่มีความเป็นกรด จะสลายตัวง่ายเมื่อ pH สูงขึ้นหรือมีความเป็นด่าง (Johannes and Singleton, 1989; Chen *et al.*, 2001) ส่วนปัจจัยของความร้อนต่อปริมาณสารฟีนอลิกและฤทธิ์ด้านสารอนุมูลอิสระนั้น Jiratanan and Liu (2004) ได้รายงานว่าการผ่านกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิ 125°C จะมีปริมาณสารฟีนอลิกเพิ่มขึ้น 14% และในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารไทย 4 ชนิด ได้แก่ แกงป่า แกงไตปลา แกงอ่อมใบยอ และต้มกะทิสาบว โดยบรรจุถุงชนิดทนร้อนอ่อนตัว (laminated aluminum pouch) ผ่านการสเตอริไรซ์ที่อุณหภูมิ 121°C นาน 25-30 นาที พบว่าอาหารทั้ง 4 ชนิด มีปริมาณสารฟีนอลิกและฤทธิ์ด้านสารอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นหลังผ่านความร้อน โดยเฉพาะต้มกะทิสาบวมีปริมาณสารฟีนอลิกเพิ่มขึ้น 54% ฤทธิ์ด้านสารอนุมูลอิสระเพิ่ม 120% เมื่อศึกษาด้วย HPLC พบสารใหม่เกิดขึ้นและมีสารเดิมในปริมาณมากขึ้น (Tangkanakul *et al.*, 2011)

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้นอกจากจะทำการวิจัยเกี่ยวกับปฏิสัมพันธ์ของสารต้านอนุมูลอิสระของผักและผลไม้ ยังจะทำการศึกษาผลกระทบของความเป็นกรด-ด่าง ที่มีต่อความเสถียรของสารฟีนอลิกในพืช และศึกษาปัจจัยความร้อนที่มีต่อปฏิสัมพันธ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระของพืชผัก โดยเลือกใช้อุณหภูมิ 121°C ด้วยพลังงานความร้อนอาจทำให้มีการเปลี่ยนแปลงด้านปฏิสัมพันธ์การต้านสารอนุมูลอิสระ และเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการต่อยอดเชิงธุรกิจ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ ปริมาณสารฟีนอลิกในสารสกัดผัก ผลไม้ชนิดเดี่ยว (individual foods)
2. ศึกษาปฏิสัมพันธ์ (interaction) ของสารสกัดจากผัก ผลไม้ ที่มีต่อฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ ภายในพืชกลุ่มเดียวกัน และจับคู่ระหว่างพืชต่างกลุ่ม
3. ศึกษาผลของ pH ที่มีต่อการคงตัวของสารฟีนอลิก ในผัก และผลไม้

ขอบเขตของการวิจัย

- วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระในสารสกัดพืชชนิดเดี่ยว (individual foods) คือผัก 4 ชนิด ผลไม้ 3 ชนิด
- วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระในสารสกัดพืช 2 ชนิดที่นำมาจับคู่กัน (combination foods) ภายในกลุ่มผักจำนวน 6 คู่ และกลุ่มผลไม้จำนวน 3 คู่
- วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระในสารสกัดพืช 2 ชนิดต่างกลุ่มกัน ที่นำมาจับคู่ระหว่างผักและผลไม้จำนวน 12 คู่ ทั้งหมดจำนวน 21 คู่ ทำ 3 ซ้ำ (รวม 63 ตัวอย่าง)
- วิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกในผัก 4 ชนิด (16 ทริตเมนต์ทำ 3 ซ้ำ = 48 ตัวอย่าง) และผลไม้ 3 ชนิด (12 ทริตเมนต์ทำ 3 ซ้ำ = 36 ตัวอย่าง) ณ pH 4 ระดับ คือ 3, 4, 5 และ 6

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- องค์ความรู้จากงานวิจัย ได้แก่ รูปแบบของการปฏิสัมพันธ์ของสารสกัดจากผัก ผลไม้ ที่มีต่อฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ โดยมีกลุ่มเป้าหมายคือนักวิชาการ นักศึกษา สามารถนำไปต่อยอดสร้างงานวิจัยก่อให้เกิดประโยชน์ต่อตนเองและสาธารณชนได้
- ได้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของผัก ผลไม้ ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระปฏิสัมพันธ์แบบเสริมฤทธิ์ หรือรวมฤทธิ์ นำไปประยุกต์ให้เกิดประโยชน์ ด้านอุตสาหกรรมอาหาร เพิ่มมูลค่าฟังก์ชันนอลให้แก่ผลิตภัณฑ์อาหาร พัฒนาเป็นอาหารเสริมสุขภาพ
- ด้านสาธารณสุข เผยแพร่ผลการวิจัยให้ประชาชนเลือกบริโภคพืช ผัก รวมทั้งมีประสิทธิภาพในการเสริมฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ
- ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

สารที่มีคุณสมบัติต้านสารอนุมูลอิสระในพืชคือสารประกอบฟีนอลิก ประกอบด้วยกลุ่มสารฟลาโวนอยด์ กลุ่มกรดฟีนอลิก และกลุ่มกรดไฮดรอกซีซินนามิก สารประกอบฟีนอลิกในพืชชนิดหนึ่งๆมีจำนวนมากมาย ซึ่งปัจจุบันนักวิจัยยังคงทำการศึกษาอยู่ พืชต่างจีนส์หรือแม้กระทั่งจีนส์เดียวกันจะมีสารประกอบฟีนอลิกแตกต่างกันไป การวิเคราะห์คุณสมบัติต้านสารอนุมูลอิสระมีหลายวิธี สิ่งที่แตกต่างกันคือชนิดของสารอนุมูลอิสระ และ กระบวนการการกำจัดสารอนุมูลอิสระ ORAC assay เป็นการศึกษาการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดจากสารอนุมูลอิสระเปอร์ร็อกซิล (peroxyl radical) ด้วยไฮโดรเจนอะตอมจากสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งนักวิจัยในประเทศสหรัฐอเมริกามีความเห็นว่า ORAC เป็นวิธีที่ให้ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติต้านสารอนุมูลอิสระได้ใกล้เคียงกับระบบการทำงานของมนุษย์ ซึ่งขณะนี้ USDA ได้ตีพิมพ์เอกสาร Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) of Selected Foods – 2007 ใช้เป็นข้อมูลเพื่อประโยชน์ด้านสุขภาพของประชากรของประเทศสหรัฐอเมริกา (Nutrient Data Laboratory, 2007) นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์คุณสมบัติในการเป็นตัวรีดิวซ์ (Ferric reducing antioxidant power, FRAP assay) ซึ่งเป็นการวัดความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการให้อิเล็กตรอนอิสระ (reducing agent) โดยสารสกัดพืชที่มีค่า FRAP สูง แสดงว่ามีกำลังในการรีดิวซ์สูงกว่าสารสกัดพืชที่มีค่า FRAP ต่ำกว่า มีการศึกษาคุณสมบัติต้านสารอนุมูลอิสระในพืชผักผลไม้ ด้วยวิธีต่างๆ ดังกล่าวเบื้องต้น จึงได้เลือกชนิดของผักและผลไม้ที่พบในประเทศไทยมาแสดงให้เห็นว่าพืชแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติต้านสารอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน ดังตารางแสดงคุณสมบัติต้านสารอนุมูลอิสระในผักและผลไม้ชนิดต่างๆ ซึ่งพบว่าคุณสมบัติต้านสารอนุมูลอิสระ ได้รับผลจาก สายพันธุ์ (cultivar) ระยะแก่อ่อน (maturity) รวมถึงสภาวะการเจริญเติบโต เช่นสถานที่ สภาพดิน อากาศ และการปฏิบัติด้านการเกษตร (Wu *et al.*, 2004a) ดังนั้นคุณสมบัติต้านสารอนุมูลอิสระของพืชจึงมีค่าที่แตกต่างกัน ทั้งๆ ที่เป็นพืชใน species เดียวกัน

คุณสมบัติด้านสารอนุมูลอิสระในผักชนิดต่างๆ

ผัก	H-ORAC ¹ ($\mu\text{mol TE /g}$)	TAC ² ($\mu\text{mol TE /g}$)	TP ³ (mg GAE/g)	FRAP ⁴ ($\mu\text{mol Fe(II)/ g}$)
แอสพาราแกส (Asparagus)	11.43 ^b , 29.15 ^c	30.17 ^c	7.16 ^a , 0.68 ^b , 1.41 ^c	10.85 ^a
มะระขี้นก (Bitter gourd)	5.25 ^b	-	7.24 ^a , 0.40 ^b	6.90 ^a
บร็อคโคลี่ (Broccoli)	11.78 ^b , 14.18 ^c	15.90 ^c	9.84 ^a , 0.99 ^b , 3.37 ^c	13.45 ^a
กะหล่ำปลี (Cabbage)	10.15 ^b , 13.39 ^c	13.59 ^c	6.24 ^a , 0.76 ^b , 2.03 ^c	5.12 ^a
คื่นไฉ่ (Celery)	8.37 ^b , 5.33 ^c	5.74 ^c	6.80 ^a , 0.31 ^b , 0.56 ^c	4.76 ^a
กุยช่าย (Chives)	-	-	7.38 ^a	16.40 ^a
มะเขือสีเขียว (Eggplant, green)	12.78 ^b	-	6.67 ^a , 0.82 ^b	10.30 ^a
มะเขือสีม่วง (Eggplant, purple)	25.09 ^c	25.33 ^c	5.56 ^a , 2.52 ^c	3.04 ^a
แตงกวาเขียว (Green cucumber)	1.12 ^c	1.23 ^c	9.15 ^a , 0.24 ^c	11.30 ^a
ผักกาดหอม (Lettuce)	2.99 ^b	-	7.87 ^a , 0.20 ^b	5.47 ^a
รากบัว (Lotus root)	21.77 ^b	-	8.38 ^a , 2.22 ^b	22.80 ^a
หัวหอม (Onion)	16.94 ^b , 10.17 ^c	10.29 ^c	6.20 ^a , 0.95 ^b , 0.91 ^c	4.62 ^a
ฟักทอง (Pumpkin)	3.91 ^b , 4.14 ^c	4.83 ^c	7.16 ^a , 0.30 ^b , 1.57 ^c	7.22 ^a
ใบมันเทศ (Sweet potato leaf)	67.29 ^b	-	10.25 ^a , 3.97 ^b	16.90 ^a
ผักบุ้ง (Water spinach)	36.92 ^b	-	7.78 ^a , 2.17 ^b	12.00 ^a

แหล่งอ้างอิง: a: Deng *et al.*, 2013; b: Isabelle, *et al.*, 2010b; c: Wu *et al.*, 2004 b

¹ Hydrophilic ORAC (H-ORAC) และ ² Total antioxidant capacity (TAC) มีหน่วยเป็น μmol of trolox equivalents/g FW.

³ Total phenolics มีหน่วยเป็น mg of gallic acid equivalents /g.

⁴ Ferric reducing antioxidant power (FRAP) มีหน่วยเป็น μmol of Ferrous iron /g FW. และ $\mu\text{mol TE/g FW}$.

คุณสมบัติด้านสารอนุมูลอิสระในผลไม้ชนิดต่างๆ

ผลไม้	H-ORAC $\mu\text{mol TE /g FW}$	TAC $\mu\text{mol TE /g FW}$	TP mg GAE/g FW	FRAP ⁵ $\mu\text{mol TE/g FW}$
ฝรั่ง (Guava)	13.06 ^d	18.4 ^e	1.75 ^d , 1.48 ^e	15.0 ^e
มะละกอ (Papaya)	2.7 ^d	3.0 ^e	0.45 ^d , 0.54 ^e	3.9 ^e
มังคุด (Mangosteen)	19.20 ^d	25.1 ^e	2.69 ^d , 0.85 ^e	6.5 ^e
มะเกี๋ยง (Makiang)		37 ^e	2.69 ^e	25.8 ^e
มะม่วงน้ำดอกไม้ (Mango, Nam-dok-mai)	-	21.0 ^e	1.13 ^e	8.0 ^e
มะม่วงเขียวเสวย (Mango, Kiew-sa-weya)	-	7.4 ^e	0.71 ^e	6.4 ^e
กล้วยน้ำว้า (Banana, Nam-wa)	-	2.6 ^e	0.14 ^e	4.2 ^e
แก้วมังกรแดง (Dragonfruit, red)	9.53 ^d	-	0.76 ^d	-
แก้วมังกรขาว (Dragonfruit, white)	9.10 ^d	-	0.58 ^d	-
ขนุน (Jackfruit)	4.95 ^d	-	0.47 ^d	-
ชมพู (Jambu, red)	6.14 ^d	-	1.07 ^d	-
ลำไย (Longan)	7.19 ^d	-	0.94 ^d	-
สับปะรด (Pineapple)	7.92 ^d	-	0.61 ^d	-
ส้มโอ (Pomelo)	10.76 ^d	-	0.77 ^d	-
เงาะ (Rambutan)	6.75 ^d	-	1.00 ^d	-
ละมุด (Sapodilla)	48.47 ^d	-	15.94 ^d	-
มะเฟือง (Starfruit)	30.78 ^d	-	3.49 ^d	-
สตอเบอรี่ (Strawberry)	30.79 ^d	-	3.85 ^d	-

แหล่งอ้างอิง: d: Isabelle, *et al.*, 2010 a; e: Patthamakanokporn, *et al.*, 2008.

⁵. Ferric reducing antioxidant power (FRAP) มีหน่วยเป็น $\mu\text{mol TE/g FW}$.

นอกจากผักและผลไม้แล้วผลการวิจัยพบว่าสมุนไพร เครื่องเทศ เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี ซึ่งประกอบด้วยสารพฤกษเคมีชนิดต่างๆ เช่นกรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ เทนิน วิตามิน และเทอร์ปีนอยด์ ตัวอย่างเช่น gigerol และ zingerone จากขิง (Kikuzaki and Nakatani, 1993); flavonoides, ferulic acid, ascorbic acid และ phenolic amides ferulic acid จากพริกไทยดำ (Yanishlieva *et al.*, 2006) lignans sesamin, sesaminol และ sesamolol จากงา (Shahidi *et al.*, 2006) สารพฤกษเคมีเหล่านี้เป็นส่วนที่ทำให้พืช ผักมีคุณสมบัติด้านสารอนุมูลอิสระ ซึ่งหากมีหลายชนิดอยู่รวมกันภายในพืชชนิดเดียว หรือพืชหลายชนิด

รวมกัน อาจเกิดปฏิสัมพันธ์เป็นแบบเสริมฤทธิ์ (synergistic) ต้านฤทธิ์ (antagonistic) หรือรวมฤทธิ์ (additive)

จากข้อเท็จจริงที่ว่า การรักษาโรคด้วยตำรับยาแพทย์แผนโบราณของจีนและไทยนั้น มีการนำพืชสมุนไพรหลายชนิดมารวมกันในปริมาณแตกต่างกัน พบว่ามีสรรพคุณรักษาโรคได้ดีกว่าการใช้สมุนไพรเดี่ยวๆ อย่างมีนัยสำคัญนั้นก็คือมีปฏิสัมพันธ์เสริมฤทธิ์กัน สิ่งเหล่านี้เป็นภูมิปัญญาของคนโบราณที่ถ่ายทอดสืบต่อมาสู่ลูกหลานซึ่งมีหลักฐานทางด้านเภสัชวิทยาอยู่น้อย มีการวิจัยนำพืชสมุนไพรจีน 6 ชนิด ที่เป็นส่วนผสมในตำรับยาจีน ได้แก่ *Paeonia lactiflora*, *Atractylodes macrocephala*, *Angelica sinensis*, *Astragalus membranaceus*, *Glycyrrhiza uralensis* และ *Rheum officinale* มาจับคู่กัน พบว่าในจำนวนพืชสมุนไพรที่จับคู่กันทั้งหมด รวม 8 คู่ สมุนไพรแต่ละคู่ แสดงฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระเสริมฤทธิ์กันสูงกว่าฤทธิ์ของสมุนไพรแต่ละชนิดนำมาวมกัน (Yang *et al.*, 2009) งานวิจัยหลายชิ้นที่แสดงให้เห็นปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารฟีนอลิกที่เกิดขึ้นทั้งภายในพืชชนิดเดียวกัน และระหว่างพืชต่างชนิดกัน จะเห็นได้จากการนำพืช 3 กลุ่ม คือกลุ่มผลไม้ 3 ชนิด คือแอปเปิล (*Malus domestica*) ราสเบอร์รี่ (*Rubus strigosus*) และแบล็คเบอร์รี่ (*Rubus fruticosus*) กลุ่มผัก 4 ชนิด ได้แก่ บร็อคคอรี่ (*Brassica oleracea var italica*) มะเขือเทศ (*Solanum lycopersicu*) เห็ด (*Agaricus bisporus*) และกะหล่ำปลีม่วง (*Brassica oleracea var. capitata f. rubra*) และกลุ่มถั่วเมล็ดแห้ง 4 ชนิด คือ ถั่วดำ (*Phaseolus vulgaris*) ถั่วอะซูกิ (*Vigna angularis*) ถั่วแดง (*P. vulgaris*) และถั่วเหลือง (*Glycine max*) พบว่าผลไม้ คือราสเบอร์รี่จับคู่กับถั่วอะซูกิ มีการทำงานแบบเสริมฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระสูงสุดมากกว่าการจับคู่กันระหว่างพืชกลุ่มที่เหลือง (Wang *et al.*, 2011)

สำหรับปฏิสัมพันธ์ของสารฟีนอลิกบริสุทธิ์และสารชนิดอื่นๆ เช่น epigallocatechin gallate (EGCG) และแอลฟาโทโคฟีรอล (α -tocopherol) กรดโรสมารินิก และแอลฟาโทโคฟีรอล procyanidins และ แอลฟาโทโคฟีรอล พบว่ามีปฏิกิริยาแบบเสริมฤทธิ์กัน (Maffei *et al.*, 1998; Hu and Kitts, 2001; Jayasinghe *et al.*, 2003) และยังพบว่ากรดโรสมารินิกในใบโหระพาสามารถเสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระกับวิตามินอีได้ดี (Jayasinghe *et al.*, 2003) ผลไม้จำพวกแอปเปิลที่อุดมด้วย สารฟีนอลิกพวก hydroxycinnamic acids, dihydrochalcones, flavan-3-ols/procyanidins และanthocyanins flavonol เมื่อนำสารสกัดเหล่านี้รวมกับ quercetin 3- β -glucose พบว่าสามารถเสริมฤทธิ์ในการป้องกันมะเร็งเต้านมได้ในหลอดทดลอง (Yang and Liu, 2009) สารเคอร์คูมิน (curcumin) ซึ่งเป็นสารสำคัญที่พบในขมิ้น เมื่อรวมกับ สารcatechinจากชาเขียว สามารถป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ในหนูได้ดีกว่าสารเดี่ยวๆ (Xu *et al.*, 2010) สารฟีนอลิก 4 ชนิด ได้แก่ catechin, hesperidin, ferulic acid และ quercetin นำมาผสมรวมกันปรากฏว่าสามารถป้องกันการออกซิเดชันของ low density lipoprotein ในคน (Cirico and omaye, 2006)

อย่างไรก็ตามปฏิสัมพันธ์ของสารฟีนอลิกอาจจะเป็นแบบรวมฤทธิ์กันก็ได้ พบว่าสารฟีนอลิกหลายชนิดที่พบในผัก ผลไม้ ได้แก่ catechin, chlorogenic acid, cyaniding 3-glucoside, cyaniding 3- rutinoside, epicatechin, peonidin, peonidin 3-glucoside, quercetin, quercetin 3-glucoside, quercetin 3-galactoside และ quercetin 3-rutinoside เมื่อนำสารฟีนอลิก 2-3 ชนิด มาผสมกัน จะแสดงฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระแบบรวมฤทธิ์ (Heo *et al.*, 2007) สำหรับการทำงานแบบต้านฤทธิ์กันนั้น พบในส่วนผสมของ catechin, reveratrol และ quercetin โดยที่ฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสารเดี่ยวๆ (Pinelo *et al.*, 2004)

ในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยมีผักพื้นบ้านหลากหลายชนิด จากการศึกษาคุณสมบัติต้านสารอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านไทยจำนวน 83 ชนิด ด้วยวิธี beta-carotene bleaching พบว่าผักพื้นบ้านที่มีฤทธิ์ต้าน

สารอนุมูลอิสระสูงมากกว่า 100 มิลลิกรัม สมมูลของสาร butylated hydroxyanisole ต่อ 100 กรัมผักสด มีมากถึง 56% เช่น ยอดมะม่วงหิมพานต์ ยอดหูก ยอคมะกอก กระโดนบก และผักต้ว (เกศศิณีและจันทร์เพ็ญ, 2543) ต่อมา Tangkanakul and Trakoontivakorn (2014) ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระของพืชผักสมุนไพรที่เป็นส่วนผสมอาหารไทยท้องถิ่นจำนวน 42 ชนิด ด้วยวิธี oxygen radical absorbance capacity assay (ORAC) พบว่าพืชผักสมุนไพรที่มีสารชนิดละลายในน้ำที่ให้ฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ (H-ORAC) มากกว่า 100 $\mu\text{molTE/g}$ FW มีจำนวนคิดเป็น 21% เช่น ผักเชียงดา ใบย่านาง ขมิ้น ใบมะกรูด พริกไทยอ่อน และสาระแน เป็นต้น นอกจากผักพื้นบ้านแล้วยังมีผลไม้หลายชนิด ทั้งชนิดที่เป็นเชิงการค้าและผลไม้ท้องถิ่น ได้แก่ ส้ม มะละกอ กล้วย สับปะรด ฝรั่ง มะเฟือง ลองกอง มะม่วง เป็นต้น ผลวิจัยพบว่ามีคุณสมบัติต้านสารอนุมูลอิสระและสารฟีนอลิก ตัวอย่างเช่น ชมพูหัดหิมจันทร์ (*Syzygium samarangense*) สับปะรด (*Ananas comosus*) มะเฟือง (*Averrhoa carambola*) พบว่าผลไม้เหล่านี้มีสารฟีนอลิกเท่ากับ 1.07, 0.49 และ 3.37 mg GAE/g FW ตามลำดับ และมีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ (H-ORAC) เท่ากับ 6.14, 7.92 และ 30.78 $\mu\text{molTE/g}$ FW ตามลำดับ (Isabelle *et al.*, 2010a) ผลไม้ต่างพันธุ์กันจะมีคุณสมบัติด้านฟังก์ชันแตกต่างกันไป เช่น ชมพู่น้ำดอกไม้ (*S. jambos*) ชมพู่มะเหมี่ยว (*S. malaccense*) ชมพูหัดหิมจันทร์ (*S. samarangense*) มีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ (DPPH scavenging) เท่ากับ 92, 269, 77.5 (IC_{50} $\mu\text{g/ml}$) ตามลำดับ ปริมาณสารฟีนอลิก 8.69, 8.58 และ 18 mg GAE/g FW ตามลำดับ (Reynertson *et al.*, 2008) สำหรับมะเฟืองมีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ วิเคราะห์ด้วยวิธี L-ascorbic acid equivalent antioxidant capacity (AEAC) เท่ากับ 278 mg/100 g (Leong and Shui, 2002) พืชชนิดเดียวกันเมื่อใช้สารสกัดต่างชนิดกัน เช่น น้ำ เมธานอล เอทานอล หรืออะซิโตน พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกที่วิเคราะห์ได้จะแตกต่างกัน เห็นได้จาก สับปะรดที่สกัดด้วยสารละลาย 70 % เมธานอล 70% เอทานอล และ 70% อะซิโตน มีปริมาณ เท่ากับ 51.3, 54.7, 41.6 mg GAE/ 100 g FW ตามลำดับ มีค่าสูงกว่าการสกัดด้วยน้ำซึ่งรายงานไว้คือ 34.7 mg GAE/ 100 g FW (Alothman *et al.*, 2009)

หากต้องการนำพืช ผัก ผลไม้ที่มีสารฟีนอลิก มีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ มาใช้ประโยชน์นั้น จะต้องคำนึงถึงความเสถียร (stability) ของสารสำคัญนั้นๆด้วย ซึ่ง pH เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ผลงานวิจัยกรดคาเฟอิก จะถูกออกซิไดส์อย่างรวดเร็วในสารละลายที่เป็นด่าง (pH 8) และจะเกิดซ้ำในสารละลายที่เป็นกรด (pH 4) (Johannes and Singleton, 1989) สารแคทีคินที่พบในเครื่องดื่มชาเขียว จะมีความเสถียรเมื่ออยู่ในสารละลายที่มี pH 3 และ 4 แต่จะลดลงที่ pH 5 และ 6 (Chen *et al.*, 2001)

Tangkanakul *et al.* (2006, 2011) รายงานว่าความร้อนระดับหุงต้มในครัวเรือน และระดับสเตอไรซ์ไม่ทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระของอาหารไทยลดลง แต่กลับทำให้มีการเพิ่มขึ้นในอาหารบางชนิด และยังมีรายงานว่าความร้อนรูปแบบต่างๆ คือ ต้ม นึ่ง ผัด และนึ่งภายใต้ความดัน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณสารฟีนอลิกใบโหระพาและใบแมงลัก วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC (Trakoontivakorn *et al.*, 2012)

โครงการวิจัยนี้จึงทำการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของการต้านสารอนุมูลอิสระของผัก ผลไม้จับคู่กัน ปัจจัยของความเป็นกรด ด่าง และความร้อนอุณหภูมิสูงระดับสเตอไรซ์ต่อฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

1. ชนิดของผักและผลไม้

1.1 เลือกผักมาทำการศึกษ 4 ชนิด โดยเป็นผักพื้นบ้านที่นิยมนำมาบริโภค มีตลอดทั้งปี มีฤทธิ์ด้านสารอนุมูลอิสระสูง 3 ชนิด โดยอาศัยข้อมูลจากผลการวิจัยของเกศศิณี และจันทร์เพ็ญ (2543)ซึ่งได้แก่ยอดมะม่วงหิมพานต์ ใบมันปู และใบชะมวงเปรียบเทียบกับผักเศรษฐกิจ 1 ชนิด ที่คนทั่วไปนิยมบริโภคคือกะหล่ำปลีโดยซื้อตัวอย่างผักแต่ละชนิดจาก 3 ร้านค้าคือ

- ใบชะมวง จากร้านค้า 1 เจ้าในตลาดสะพานใหม่ (แหล่งปลูก จ.นครนายก)และร้านค้า 2 เจ้าจากตลาดไท (แหล่งปลูก จ.นครนายก)
- ใบมันปูจากร้านค้า 2 เจ้าในตลาดไท (แหล่งปลูก จ.นครนายก)และอีก 1 เจ้า จากแหล่งปลูก จ.กระบี่
- ยอดมะม่วงหิมพานต์ จากร้านค้า 1 เจ้าในตลาดไท (แหล่งปลูก จ.นครนายก)และอีก 2 เจ้า จากแหล่งปลูก จ.กระบี่
- กะหล่ำปลีจากร้านค้า1เจ้า ในตลาดสะพานใหม่ และ2 เจ้า ในตลาดอมรพันธ์ (แหล่งปลูก จ.ราชบุรี)

1.2. เลือกผลไม้ที่มีฤทธิ์ด้านสารอนุมูลอิสระ 3 ชนิด จากผลการวิจัยของ Isabelle *et al.* (2010a) ได้แก่ ชมพู่ มะเฟือง และสับปะรด ผลไม้แต่ละชนิดซื้อมาจาก 3 ร้านค้าคือ

- ชมพู่ทับทิมจันทร์จากร้านค้า 2 เจ้าในตลาดดอก.(แหล่งปลูก จ.ราชบุรี และอีก 1 ร้านจากตลาดประตูเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ (แหล่งปลูก จ.ราชบุรี)
- มะเฟือง พันธุ์ทูลเกล้า จากตลาดไท (แหล่งปลูก จ.นครปฐม) พันธุ์พื้นเมือง จากตลาดไท (แหล่งปลูก จ.สระบุรี) และพันธุ์มาเลเซีย ตลาดดอก. (แหล่งปลูก จ.นครปฐม)
- สับปะรดพันธุ์ศรีราชาซื้อจากตลาดสะพานใหม่ 1 เจ้า และตลาดอมรพันธ์ 2 เจ้า

รายชื่อสามัญและชื่อวิทยาศาสตร์ของผักและผลไม้ที่เลือกมาทำการวิจัย มีดังนี้:-

ชื่อสามัญ	ชื่อวิทยาศาสตร์
ผัก	
ชะมวง	<i>Garcinia cowa</i>
มันปู	<i>Glochidion wallichianum</i>
ยอดมะม่วงหิมพานต์	<i>Anacardium occidentale</i>
กะหล่ำปลี	<i>Brassica oleracea var capitata</i>
ผลไม้	
ชมพู่ทับทิมจันทร์	<i>Syzygium samarangense</i>
มะเฟือง	<i>Averrhoa carambola</i>
สับปะรด	<i>Ananas comosus</i>

2. วิธีเตรียมตัวอย่าง

ผัก

เลือกส่วนที่เน่าเสียทิ้งล้างด้วยน้ำให้สะอาด ปล่อยให้สะเด็ดน้ำ เติบเอาเฉพาะส่วนที่กินได้ เช่น ยอด ใบอ่อน ใบแก่ สุ่มมาแต่ละส่วนให้พอๆ กัน ชั่งน้ำหนัก 30 กรัม

ผลไม้

เลือกเอาเฉพาะส่วนที่กินได้ หั่น แล้วปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นไฟฟ้ากำลังไฟ 1,500 วัตต์(ยี่ห้อ Buono)

ผลไม้แต่ละชนิดชั่งน้ำหนัก 30 กรัม

3. เตรียมสารสกัดตัวอย่าง

นำตัวอย่างผัก/ ผลไม้ 30 กรัม ปั่นละเอียดกับ 95% เอทานอล 150 มิลลิลิตรด้วยเครื่องบดไฟฟ้า (Waring Blender, model 32BL80 (8011), USA) นาน 2 นาที นำไป centrifuge ความเร็วรอบ 9500 rpm นาน 20 นาที ดูดส่วนที่เป็นน้ำใสแล้วปรับปริมาตรเป็น 150 มิลลิลิตรเทใส่ขวดแก้วมีฝาปิด เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20°C โดยพืชแต่ละชนิดจาก 3 แหล่งทำการสกัดแหล่งละ 2 ซ้ำ

4. เตรียมสารสกัดจากผัก ผลไม้ เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ (interaction) ที่มีต่อฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระภายในพืชกลุ่มเดียวกัน (กลุ่มผักจำนวน 6 คู่ และกลุ่มผลไม้จำนวน 3 คู่) และจับคู่ระหว่างพืชต่างกลุ่ม (ไข้วผักและผลไม้จำนวน 12 คู่) รวมทั้งหมดจำนวน 21 คู่ ทำ 3 ซ้ำ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ผัก	ผลไม้
ชะมวง	ชมพู
มันปู	มะเฟือง
ยอดมะม่วงหิมพานต์	สับปะรด
กะหล่ำปลี	-

วิธีเตรียมตัวอย่างสารสกัดผสมพืช 2 ชนิด เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิก(TPC) ศักยภาพในการต้านสารอนุมูลอิสระ

4.1.เตรียมสารสกัดพืชเดี่ยวจาก 3 แหล่ง (ร้านค้า) โดยนำสารสกัดพืชเดี่ยวจากแหล่งที่ 1 ซึ่งสกัด 2 ครั้ง ผสมกันในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ส่วนสารสกัดพืชแหล่งที่ 2 และ 3 ก็ทำเช่นเดียวกัน

4.2. นำสารสกัดพืชเดี่ยว (จากข้อ 4.1) 2 ชนิดมาผสมกัน ปริมาณสารสกัดตัวอย่างแต่ละชนิดที่นำมาใช้จับคู่ (ผสม) กันนั้น ใช้หลักการคำนวณให้สารสกัดพืชที่นำมาผสมกันนั้นมีปริมาณ TPC ค่า ORAC และ ค่า FRAP ในอัตราส่วนใกล้เคียงกันประมาณ 1 ต่อ 1 (โดยพิจารณาจากค่าTPC, FRAP และ ORAC ของพืชเดี่ยว) ผสมกันแล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีจึงนำมาทำการวิเคราะห์ TPC, ORAC และ FRAP แหล่งละ 3 ซ้ำ (n=9)

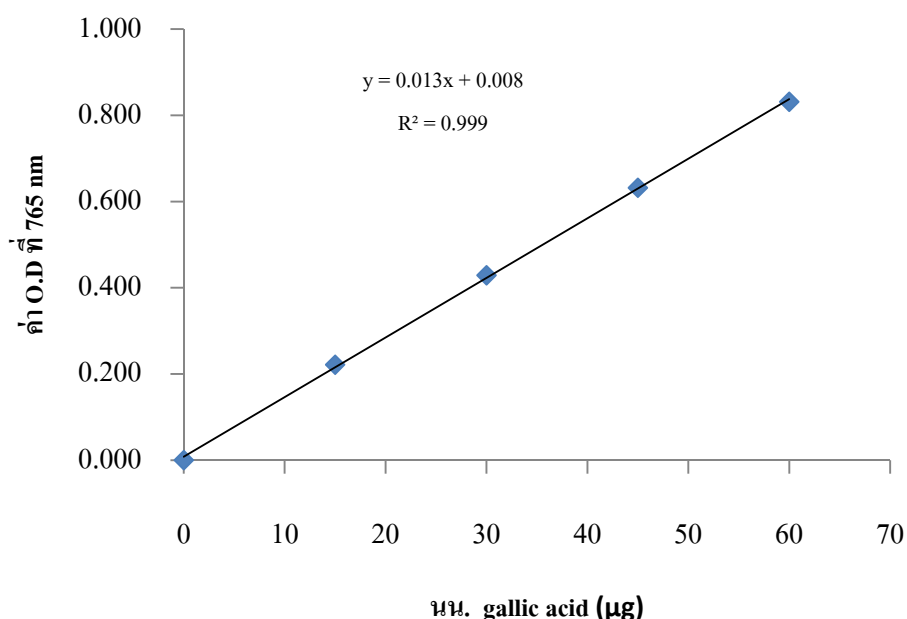
5. วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิก

สารฟีนอลิกเป็นสารที่พบมากในผัก ผลไม้ ธัญชาติชนิดต่างๆ (cereal) ซึ่งสารฟีนอลิกส่วนมากมีคุณสมบัติต้านสารอนุมูลอิสระ คือสามารถกำจัดสารอนุมูลอิสระ(free radical)ด้วยการให้อิเล็กตรอน ความหมายของสารอนุมูลอิสระคือสารที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว (ไม่ครบคู่) ตามโครงสร้างเคมี ทำให้สารไม่เสถียร

สารจะเสถียรได้ต้องได้รับอิเล็กตรอนจากสารอื่น หากสารอนุมูลอิสระไม่ได้รับอิเล็กตรอนจากสารอื่นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดสารอนุมูลอิสระได้ แต่ถ้าสารต้านอนุมูลอิสระเป็นแหล่งให้อิเล็กตรอน จะไม่เกิดสารอนุมูลอิสระ เนื่องจากโครงสร้างของสารฟีนอลิกเป็นวงแหวนเบนซีนมีพันธะคู่ 3 คู่ อิเล็กตรอนของพันธะคู่จะเคลื่อนที่หมุนเป็นวงกลม หากสารฟีนอลิกสูญเสียอิเล็กตรอน 1 ตัว อิเล็กตรอนที่เหลือยังคงเคลื่อนที่และมีความเสถียรเช่นเดิม สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกนั้นใช้วิธี Folin-ciocalteu (Singleton and Rossi, 1965) รายละเอียดดังนี้:-

นำสารสกัดตัวอย่างที่สกัดด้วย 95% เอทานอลมาทำการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิก โดยดูดสารสกัดตัวอย่างมาในปริมาณที่เหมาะสม เติม Folin-Ciocalteu ความเข้มข้น 10% (V/V) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 30 วินาที แล้วเติมสารละลาย Na_2CO_3 ความเข้มข้น 7.5%(W/V) ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ให้เสร็จภายใน 8 นาที ปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากัน นำไปแช่ใน water bath อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 756 nm ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer คำนวณปริมาณสารฟีนอลิก จากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก ที่ plot ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของกรดแกลลิก (แกน x) และปริมาณกรดแกลลิก (แกน y) (ในภาพที่ 1)

คำนวณปริมาณสารฟีนอลิกที่มีหน่วยเป็นมก.สมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสด (milligram of gallic acid equivalent/ g fresh weight, mg GAE/ g FW) โดยอ่านค่าจากสมการ $y = 0.0138x + 0.0081$ ($R^2=0.9996$) เมื่อ x คือน้ำหนักของกรดแกลลิก (ไมโครกรัม) และ y คือค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 nm



ภาพที่ 1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

6. วิเคราะห์ศักยภาพในการต้านสารอนุมูลอิสระ ด้วย oxygen radical absorbance capacity assay (ORAC)

ORAC เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากในการวิเคราะห์คุณสมบัติต้านสารอนุมูลอิสระ ข้อดีของวิธีนี้คือการวัดผลของสารต้านอนุมูลอิสระในการยับยั้งอนุมูลอิสระชนิดที่พบได้ทั่วไปในร่างกายมนุษย์คือ peroxy free

radicals และค่าที่ได้จากการวัดเป็นการตรวจสอบตั้งแต่เริ่มต้นปฏิกิริยาจนถึงสิ้นสุดปฏิกิริยา ค่าที่ได้สามารถใช้เป็นบรรทัดฐานในการประเมินประสิทธิภาพของอาหารแต่ละชนิดที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ อาหารที่มีค่า ORAC สูง แสดงว่ามีประสิทธิภาพการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ดีผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ ลูกพรุน อินทผาลัม ถั่วเม็ดแข็ง เครื่องเทศต่างๆ เช่น อบเชย กานพลู จะมีค่า ORAC สูง (Wu *et al.*, 2004b) หน่วยงานกระทรวงเกษตรของประเทศสหรัฐอเมริกา (USDA) แนะนำให้ผู้บริโภคควรบริโภคอาหารที่มีค่า ORAC 3000-5000 หน่วย/วัน วิธีการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

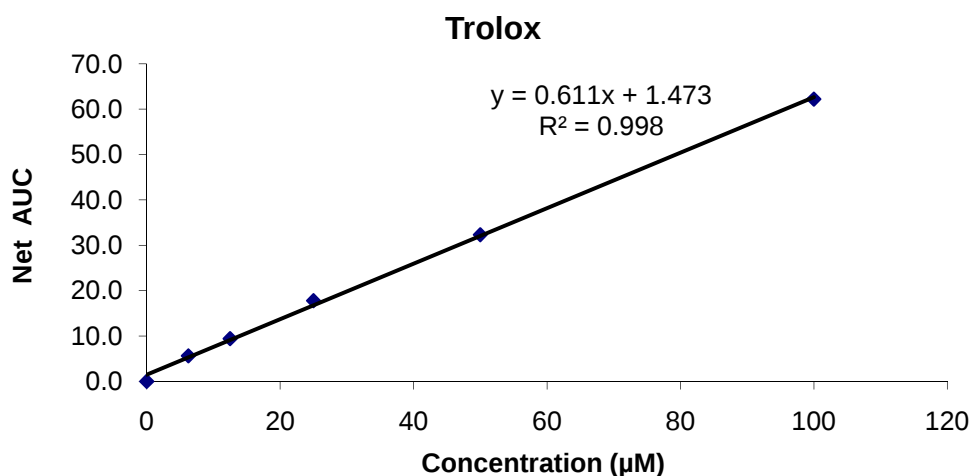
สารเคมีที่ใช้ คือ 2,2'-Azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride (AAPH) ของ Wako Pure Chemical Industries, Ltd., Japan (เป็นตัวให้ peroxy free radical) 6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox) fluorescein sodium salt จาก Sigma – Aldrich และ $\text{HNa}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Sigma – Aldrich)

ทำการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระชนิดละลายในน้ำ ตามวิธีของ Huang *et al.* (2002) ด้วยเครื่อง Tecan microplate reader รุ่น Infinite M200 ซึ่งประกอบด้วย injection pump ตั้งเครื่องให้ทำงานในระบบ fluorescence โดยมี excitation ที่ 485 nm. emission 520 nm. อ่าน 35 รอบทุก 210 วินาที ตั้งโหมดเขย่าแบบ orbital วงรอบ 4 มิลลิเมตร เขย่า plate นาน 8 วินาที ก่อนการอ่านแต่ละรอบใช้ความเร็วในการฉีดสาร 300 ไมโครลิตร/ วินาที และคงอุณหภูมิไว้ที่ 37°C

ใส่สารสกัดตัวอย่างด้วยเอทานอล (1:5) และปรับความเข้มข้นให้เหมาะสมด้วย phosphate buffer) ดูดสารสกัดเจือจาง 80 ไมโครลิตร ลงในถาด (microplate) 48 หลุม เติมสารละลาย fluorescein ความเข้มข้น 84 nM ปริมาตร 300 ไมโครลิตร แล้ว incubate ในเครื่อง Tecan microplate reader นาน 10 นาที แล้วจึงเริ่มอ่านรอบที่ 1 โดยในรอบที่ 4 เติมสารละลาย AAPH ความเข้มข้น 256 mM ปริมาตร 20 ไมโครลิตร เพื่อเริ่มปฏิกิริยาการสร้างสารอนุมูลอิสระ peroxy

ค่า ORAC คำนวณ โดยใช้สมการเส้นตรง $y = 0.6119x + 1.4736$ ซึ่งได้จากการสร้างกราฟระหว่าง Trolox ความเข้มข้นระดับต่างๆ และพื้นที่ใต้ curve (AUC = Area Under Curve) (ภาพที่ 2) คำนวณดังเช่นที่ Wu *et al.* (2004) ได้รายงานไว้

ค่า ORAC รายงานเป็น ไมโครโมลสมมูลของโทล็อก/1 กรัมพืช (micromoles of trolox equivalent/g fresh weight, μmol of TE/g FW)



ภาพที่ 2 กราฟระหว่างปริมาณ Trolox ความเข้มข้นต่างๆ และพื้นที่ใต้ curve

7. วิเคราะห์คุณสมบัติในการเป็นตัวรีดิวซ์

Ferric reducing antioxidant power (FRAP assay) เป็นการวัดความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการให้อิเล็กตรอนอิสระ (reducing agent) โดยอาศัยคุณสมบัติในการเป็นตัวรีดิวซ์ในปฏิกิริยา redox-linked colorimetric method โดยที่ ferric tripyridyltriazine (Fe^{3+} -TPTZ) complex จะถูกรีดิวซ์ด้วยสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ที่สามารถให้อิเล็กตรอนได้ ทำให้เกิดสีน้ำเงินของ ferrous tripyridyltriazine (Fe^{2+} -TPTZ complex) ดังนั้นวิธีนี้ สามารถใช้วัด total reducing power ของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความสามารถในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนให้ Fe^{3+} เปลี่ยนเป็น Fe^{2+} ได้ เปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐานคือกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) สร้างกราฟมาตรฐานในการหาปริมาณ Fe^{2+} ที่เกิดจากปฏิกิริยาของแอสคอร์บิกหรือสารสกัดสมุนไพร แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเป็นค่า FRAP value (ไมโครโมลสมมูลของกรดแอสคอร์บิก/ กรัมตัวอย่าง, μmol of Ascorbic acid equivalent/ g FW; μmol AAE/ g) ความสามารถในการรีดิวซ์ ferric ของสารฟีนอลิกจากสารสกัดพืชผัก แสดงเป็นค่า FRAP สารสกัดพืชที่มีค่า FRAP สูง แสดงว่ามีรีดิวซ์ power สูงกว่าสารสกัดพืชที่มีค่า FRAP ต่ำกว่า

การศึกษาครั้งนี้ประยุกต์จากวิธีของ Wang *et al.* (2011) รายละเอียดดังนี้
สารเคมีที่ใช้:

2,4,6-tripyridyl-s-triazine sodium acetate trihydrate (TPTZ) จาก Fluka analytical, Switzerland; ascorbic acid และ ferric chloride จาก Sigma Aldrich Inc., USA; sodium acetate trihydrate, glacial acetic acid, hydrochloric acid และ sodium carbonate จาก Merck

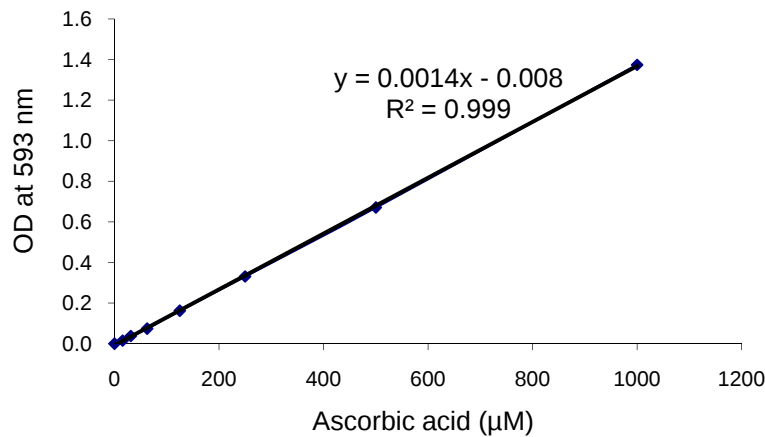
เตรียมสารละลาย FRAP

1. 300 mM Acetate buffer pH 3.6 (sodium acetate trihydrate 3.1 กรัม เติม glacial acetic acid 16 มล. ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น)
2. 10mM TPTZ ละลายใน 40mM HCl
3. 20mM $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

นำสารจากข้อ 1, 2 และ 3 ผสมรวมกันอัตราส่วน 10:1:1 (V/V/V) ซึ่งเตรียมใหม่ทุกครั้งก่อนใช้
Standard: เตรียมกราฟมาตรฐานของ ascorbic acid (MW = 176.13) ความเข้มข้นระหว่าง 15.6 – 1000 μM (ในภาพที่ 3)

วิธีทำ

ปิเปตต์สารสกัดปริมาตร 10 μL ใส่ในหลอด 96 หลุม แล้วเติม FRAP Reagent 150 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มที่ 37°C นาน 10 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) ที่ความยาวคลื่น 593 nm นำค่า OD ของตัวอย่างที่ลบ OD ของ Blank มาคำนวณค่า FRAP จาก สมการ $Y = 0.0014X - 0.008$ ที่ได้จากการสร้างกราฟมาตรฐานของ ascorbic acid ความเข้มข้นระดับต่างๆ ค่า FRAP มีหน่วยเป็นไมโครโมลสมมูลของกรดแอสคอร์บิก/ กรัมตัวอย่าง (micromoles of ascorbic acid equivalent/ g fresh weight; μmol AAE/ g FW)



ภาพที่ 3 กราฟมาตรฐานของ Ascorbic acid

8. ทดสอบผลของ pH และความร้อนที่มีต่อศักยภาพในการต้านสารอนุมูลอิสระของสารสกัดผักและผลไม้ชนิดเดี่ยวและพืชสองชนิดจับคู่กัน มีวิธีเตรียมตัวอย่างดังนี้คือ

8.1 เตรียม 0.1 M acetate buffer solutions pH 3 pH 4 และ pH 6 โดยเตรียม 0.1 M acetic acid (ยี่ห้อ Prolabo) และ 0.1M sodium acetate (ยี่ห้อ Merck) แล้วผสม 0.1 M acetic acid กับ 0.1M Sodium acetate ปรับให้ได้ pH ตามต้องการ

8.2 เตรียมสารสกัดพืชชนิดเดี่ยวและสองชนิดจับคู่กัน

พืชชนิดเดี่ยว

8.2.1 นำสารสกัดจากพืชเดี่ยวที่สกัดด้วยเอทานอลจาก 3 แหล่ง ผสมกันด้วยอัตราส่วนเท่าๆกัน (ทำ 2 ซ้ำ) แล้วเติม 0.1 M acetate buffer pH 3, pH 4 และ pH6 ด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสม (1 ต่อ 9) และใช้น้ำกลั่นเป็นตัวควบคุม (control)

พืชสองชนิดจับคู่กัน

8.2.2 นำสารสกัดพืชเดี่ยวจาก 3 แหล่งผสมกันด้วยอัตราส่วนเท่าๆกัน แล้วนำมาผสมกับน้ำกลั่น (control) บัฟเฟอร์ pH 3, 4 และ 6 ในอัตราส่วนที่เหมาะสม (1 ต่อ 9) ทำเช่นนี้ในพืชชนิดอื่นๆ จากนั้นจับคู่สารสกัดพืชเดี่ยว 2 ชนิด ผสมกันที่ pH ระดับต่างๆ (ด้วยอัตราส่วนที่มีค่า ORAC เป็น 1 ต่อ 1) ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที เตรียมตัวอย่าง 3 ครั้ง ครั้งละ 2 ซ้ำ (รวมเป็น 6 ตย.)

8.3 นำสารสกัดจากข้อ 8.2.1 และ 8.2.2 มาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกไม่ผ่านความร้อน ส่วนที่สองนำไปผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาทีด้วยเครื่อง High-Pressure Steam Sterilizer ES-315 (ยี่ห้อ TOMY) รอให้ตัวอย่างเย็นแล้วปรับปริมาตรให้เท่ากับปริมาตรเริ่มต้นด้วยน้ำกลั่น และบัฟเฟอร์ pH 3, pH 4 และ pH 6

8.4 จากนั้นนำตัวอย่างจากข้อ 8.3 วิเคราะห์ TPC, ORAC และ FRAP

9. สถิตินำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-way ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan New's Multiple Range Test และเปรียบเทียบ 2 สิ่งทดลอง โดยใช้ t-test โปรแกรม SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

บทที่ 4

ผลวิจัยและอภิปรายผล

ปริมาณสารฟีนอลิก และศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดผักและผลไม้เดี่ยว

ปริมาณสารฟีนอลิก

ผลการวิเคราะห์สารฟีนอลิกในผัก 4 ชนิดและผลไม้ 3 ชนิด (แสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 4) พบว่าปริมาณฟีนอลิกในผักมีค่าแตกต่างกันมาก อยู่ระหว่าง 0.56- 62.21 mg GAE/ g FW โดยยอดมะม่วงหิมพานต์เป็นผักพื้นบ้านที่มีสารฟีนอลิกสูงที่สุด รองลงมาคือมันปู (57.10 mg GAE/ g FW) ส่วนใบชะมวงมีปริมาณ 8.02 mg GAE/ g FW ต่ำกว่าผักสองชนิดข้างต้นประมาณ 7-8 เท่า ส่วนกะหล่ำปลีมีปริมาณสารฟีนอลิก 0.56 มก. สมมูลของกรดแกลลิก/ กรัมมีค่าต่ำที่สุดในกลุ่มผัก อย่างไรก็ตามเป็นผักที่สามารถรับประทานได้ในปริมาณสูงเนื่องจากไม่มีรสขม ฝาด เผ็ดร้อน หรือเปรี้ยว ผลการศึกษารังนี้ปริมาณสารฟีนอลิกมีค่าต่ำกว่ากะหล่ำปลีจากประเทศสหรัฐอเมริกา (2.03 mg GAE/ g FW) (Wu *et al.*, 2004)

ตารางที่ 1 ปริมาณสารฟีนอลิกค่า ORAC และค่า FRAP ในสารสกัดผักและผลไม้ (ค่าเฉลี่ยจาก 3 แหล่ง)

ชนิด	TPC (mg GAE/g)	ORAC (μ mol TE/g)	FRAP (μ mol AAE/g)
ผัก:			
ใบชะมวง	8.02 $\pm$ 1.16	158.24 $\pm$ 21.16	19.67 $\pm$ 0.46
ใบมันปู	57.10 $\pm$ 9.98	239.91 $\pm$ 77.12	263.17 $\pm$ 13.89
ยอดมะม่วงหิมพานต์	62.21 $\pm$ 4.43	261.25 $\pm$ 39.83	233.35 $\pm$ 13.06
กะหล่ำปลี	0.56 $\pm$ 0.13	3.89 $\pm$ 0.88	0.96 $\pm$ 0.08
ผลไม้:			
มะเฟือง	1.14 $\pm$ 0.06	20.35 $\pm$ 0.88	2.81 $\pm$ 0.48
สับปะรด	0.53 $\pm$ 0.05	4.99 $\pm$ 1.56	1.22 $\pm$ 0.13
ชมพู่	0.48 $\pm$ 0.02	4.71 $\pm$ 0.17	1.56 $\pm$ 0.11

ส่วนผลไม้ 3 ชนิด มีปริมาณสารฟีนอลิกใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 0.48-1.14 mg GAE/ g FW โดยมะเฟืองมีปริมาณสารฟีนอลิกสูงสุด ผลการวิเคราะห์แสดงค่าเฉลี่ยจากทั้ง 3 พันธุ์มีค่าเท่ากับ 1.14 ± 0.06 mg GAE/ g FW ซึ่งจากค่า SD ที่ต่ำแสดงให้เห็นว่ามะเฟืองทั้ง 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ทุลเกล้า พันธุ์พื้นเมือง และพันธุ์มาเลเซีย มีปริมาณสารฟีนอลิกใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษารังนี้พบว่ามีความต่ำกว่าผลการศึกษาก่อนหน้านี้ที่รายงานว่ามะเฟือง (*Averrhoa carambola* L.) มีสารฟีนอลิก 3.49 มก.สมมูลของกรดแกลลิก/กรัม (Isabelle *et al.*, 2010a) (ตารางที่ 2) สืบประรดจากการศึกษารังนี้ คือ พันธุ์ศรีราชา มีปริมาณสารฟีนอลิก 0.53 mg GAE/ g FW ต่ำกว่าเล็กน้อยจากผลการศึกษาของ Isabelle *et al.* (2010b) (0.61 mg GAE/ g FW แต่ก็สูงกว่าของ Alothman *et al.* (2009) (0.395 มก.สมมูลของกรดแกลลิก/ กรัม) ส่วนชมพูแดง (*Syzygium samarangense*) ผลวิจัยพบว่ามีสารฟีนอลิก 0.48 mg GAE/ g FW ใกล้เคียงกันมากกับผลการศึกษาของ Simirgiotis *et al.* (2008)

เมื่อเปรียบเทียบกับพืชผักที่นิยมรับประทานของต่างประเทศแล้ว พบว่ามันปูและยอดมะม่วงหิมพานต์มีปริมาณสารฟีนอลิก สูงกว่าผักเหล่านี้มาก ได้แก่ บร็อคคอรี่ (3.37mg GAE/ g FW) กะหล่ำดอก (2.11 mg GAE/ g FW) แครอท (1.25 mg GAE/ g FW) ปวยเล้ง (2.17 mg GAE/ g FW) แรดิช (1.10 mg GAE/ g FW) และสามารถเทียบเคียงได้กับกลุ่มเครื่องเทศสมุนไพรที่จัดว่ามีปริมาณฟีนอลิกสูง ได้แก่ ใบออริกาโนแห้ง (72.82mg GAE/ g FW) ใบโหระพาแห้ง (44.89 mg GAE/ g FW) และขมิ้น (21.17 mg GAE/ g FW) (Wu *et al.*, 2004) ในขณะที่ผักพื้นบ้านที่บริโภคกันทั่วไปจำนวน 66 ชนิดในประเทศประเทศสิงคโปร์นั้นผักที่มีสารฟีนอลิกสูงที่สุดคือ สาหร่ายแห้ง (5.33 mg GAE/ g FW) ใบมันเทศ (3.97 mg GAE/ g FW) ผักชี (3.74 mg GAE/ g FW) กระเจียบเขียว (2.44 mg GAE/ g FW) รากบัว (2.22 mg GAE/ g FW) (Isabelle *et al.*, 2010b)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบสารฟีนอลิก (mg GAE/ g FW) ในผักผลไม้ของผลการวิจัยก่อนหน้านี้

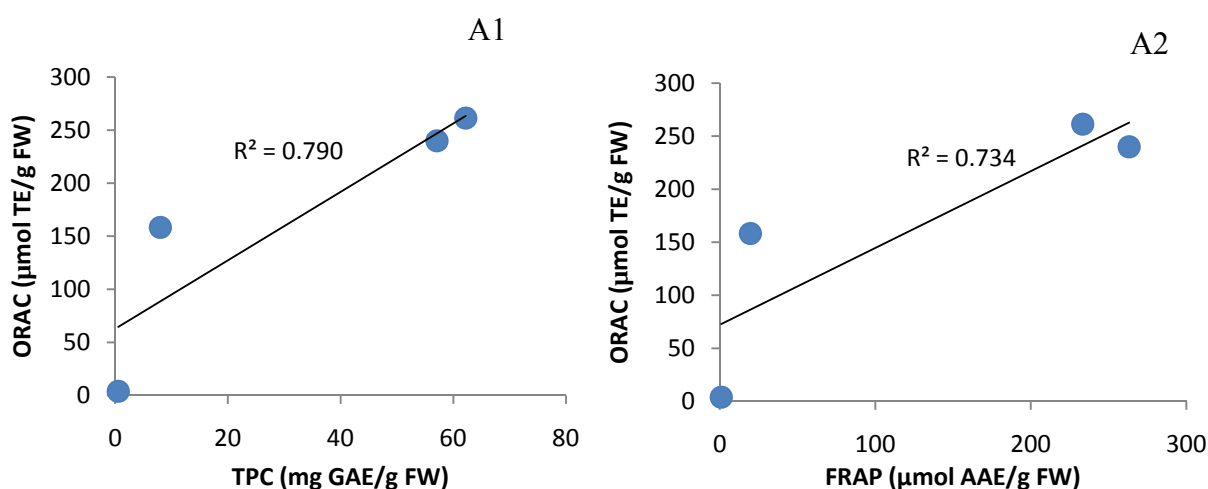
	Wu et al., 2004	Simirgiotis <i>et al.</i> , 2008	Alothman <i>et al.</i> , 2009	Isabelle <i>et al.</i> , 2010a	Isabelle <i>et al.</i> , 2010b
สับปะรด (pineapple)			0.395	0.61	
มะเฟือง (starfruit)				3.49	
ชมพูแดง (red jambu)		0.46		1.07	
กะหล่ำปลี (cabbage)	2.03				
ใบโหระพาแห้ง (basil leave dried)	44.89				
ขมิ้น (turmeric)	21.17				
ใบออริกาโนแห้ง (oregano leaves dried)	72.82				
ใบมันเทศ (sweet potato leaves)					3.97

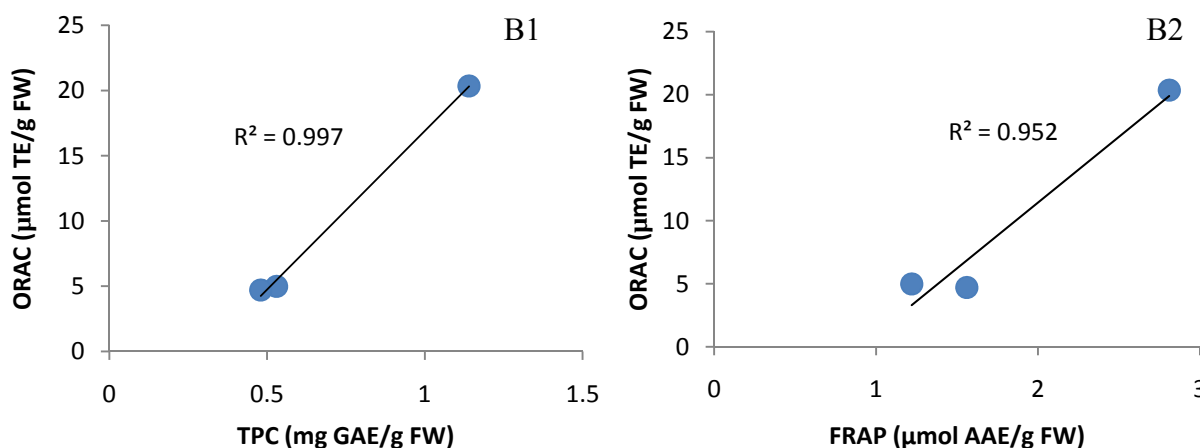
ศักยภาพในการต้านสารอนุมูลอิสระด้วย oxygen radical absorbance capacity assay (ORAC)

ผลการศึกษาค่า ORAC ของผัก และผลไม้ มีค่าระหว่าง 3.89- 261.25 และ 4.71-20.35 μmol of TE/g FW ตามลำดับ (ตารางที่ 1) จะเห็นว่าผักพื้นบ้าน 3 ชนิด คือใบชะมวง ใบมันปู และยอดมะม่วงหิมพานต์ มีค่า ORAC สูงกว่ากะหล่ำปลีมากประมาณ 40-67 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของเกศศิณีและคณะ (ข้อมูลยังไม่ได้ตีพิมพ์) ระหว่างปี พ.ศ. 2547-2549 ทำการวิเคราะห์ศักยภาพในการต้านสารอนุมูลอิสระสารสกัดผักพื้นบ้าน ด้วยวิธี DPPH Radical scavenging capacity พบว่าสารสกัดเมธานอลของยอดมะม่วงหิมพานต์ และมันปู มีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง 1.1 – 1.7 มิลลิโมล DPPH/ กรัม น้ำหนักสด (หมายความว่า ผัก 1 กรัมขจัดอนุมูลอิสระ DPPH ได้ระหว่าง 1.1 – 1.7 มิลลิโมล) และใบชะมวงมีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง 0.04 – 0.06 มิลลิโมล DPPH/ กรัม น้ำหนักสด ในขณะที่กะหล่ำปลีมีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระต่ำมากเพียง 0.005 มิลลิโมล DPPH/ กรัม น้ำหนักสด

ผัก 4 ชนิด ที่เลือกทำการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่า ORAC และTPC มีความสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำ (ค่า $R^2 = 0.790$) (ภาพที่ 4 A1) ซึ่งเป็นผลจากใบชะมวงแม้ว่าปริมาณสารฟีนอลิกในใบชะมวงจะมีน้อยแต่แสดงให้เห็นถึงการประสิทธิภาพสูงในการต้านอนุมูลอิสระด้วยการให้ไฮโดรเจนอะตอม ส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง ORAC และFRAP พบว่ามีค่าต่ำเช่นกัน ($R^2 = 0.734$) (ภาพที่ 4 A2)

ในกลุ่มผลไม้นั้นพบว่า ORAC และTPC มีความสัมพันธ์สูง ($R^2 = 0.9973$) (4 B1) แสดงว่าสารฟีนอลิกในกลุ่มผลไม้มีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระชนิดเพอร์ร็อกซีสได้ และความสัมพันธ์ระหว่าง ORAC และ FRAP ก็สูงเช่นกัน ($R^2 = 0.9523$) (4 B2) นั่นคือสารฟีนอลิกมีคุณสมบัติให้อิเลคตรอนได้ดี





ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าORAC TPC และ FRAP ของสารสกัดพืชผักและผลไม้

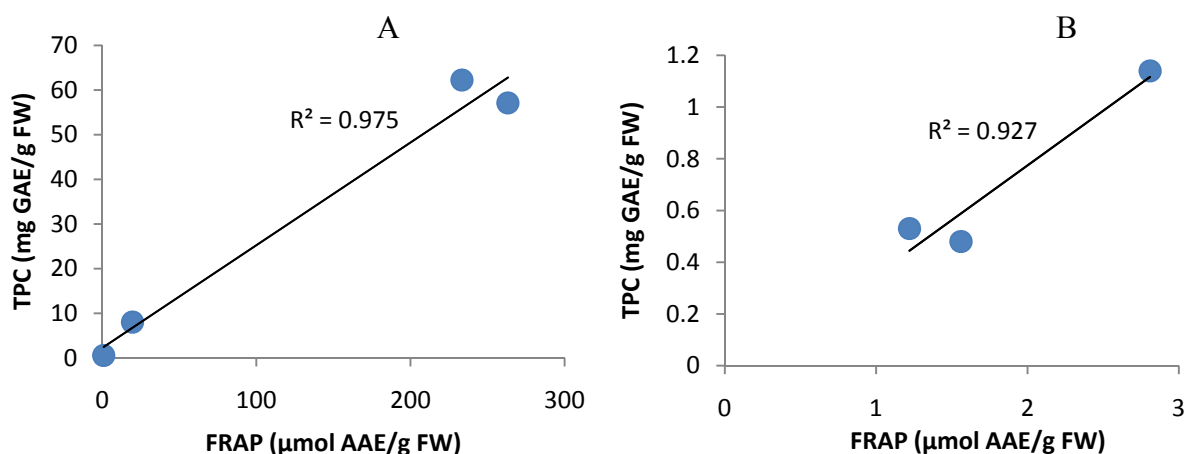
A1, B1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ORAC และ TPC ของสารสกัดพืชผักและผลไม้ตามลำดับ

A2, B2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ORAC และ FRAP ของสารสกัดพืชผักและผลไม้ตามลำดับ

ศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay

เป็นการวัดความสามารถในการรีดิวซ์สารอนุมูลอิสระ (ซึ่งแสดงถึงการมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ) โดยวิธีการรีดิวซ์เหล็กเฟอร์ริก (Fe^{3+}) เป็นเฟอร์รัส (Fe^{2+}) จากการวิเคราะห์ศักยภาพต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) ของผัก 4 ชนิด (ตารางที่ 1) พบว่ามีค่าแตกต่างกันมากอยู่ในช่วง $0.96\text{--}263.17 \mu\text{mol AAE/g FW}$ ใบมันปูและยอดมะม่วงหิมพานต์ มีค่าเท่ากับ 263.17 และ $233.5 \mu\text{mol AAE/g FW}$ ตามลำดับ ซึ่งผักทั้ง 2 ชนิดนี้ก็มีปริมาณสารฟีนอลิกสูงเช่นกัน ส่วนผลไม้ 3 ชนิดมีค่า FRAP ต่ำกว่า $3 \mu\text{mol AAE/g FW}$ โดยมะเฟือง มีค่า FRAP สูงกว่าสับปะรดและชมพู

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า TPC และ FRAP ในสารสกัดผักและผลไม้มีความสัมพันธ์กันดีมาก มีค่า $R^2 = 0.9973$ (ภาพที่ 5A) และ $R^2 = 0.9275$ (ภาพที่ 5B) ตามลำดับ เช่นเดียวกับผลการศึกษาที่พบว่าสารสกัดเปลือก และเนื้อแอปเปิล มีค่า FRAP และ TPC ที่สัมพันธ์กัน (โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ correlation coefficient, $r=0.95, 0.99$) ตามลำดับ (Tsao *et al.*, 2005) นอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัยอื่นๆ ที่พบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่าง ค่า FRAP และ TPC ในผลไม้ 24 ชนิดจากประเทศโคลอมเบีย (Contreras-Calderón *et al.*, 2011) ในnectarines, peaches และ plum (Gil *et al.*, 2002) ส่วนผลไม้ 3 ชนิดมีค่า FRAP ต่ำกว่า $3 \mu\text{mol AAE/g FW}$ โดยมะเฟืองมีค่า FRAP สูงกว่าสับปะรดและชมพู



ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า TPC และ FRAP ของสารสกัดพืชผัก(A) และผลไม้ (B)

ผลการวิจัยก่อนหน้านี้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่าง ORAC TPC และ FRAP มีหลายชิ้นงานที่แสดงให้เห็นถึงการมีความสัมพันธ์ระดับสูง ต่ำแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืชผัก ดัง Hossain *et al.* (2010) ได้รายงานการวิจัยสมุนไพร 6 ชนิด ในกลุ่ม Lamiaceae (rosemary, oregano, marjoram, sage, basil และ thyme) พบว่า TPC ORAC และ FRAP มีความสัมพันธ์กันโดย TPC และ FRAP มีค่าสูงสุด ($R^2=0.921$) รองลงมาคือ FRAP และ ORAC ($R^2=0.806$) ส่วน TPC และ ORAC มีค่า $R^2=0.672$ และยังมีผลการวิจัยสารสกัดสมุนไพรที่นิยมบริโภค 26 ชนิด พบว่ามีปริมาณสารฟีนอลิก และศักยภาพในการต้านสารอนุมูลอิสระสูง อีกทั้งยังพบความสัมพันธ์ (linear relationship) ระหว่างปริมาณสารฟีนอลิกและการต้านสารอนุมูลอิสระ ($R^2=0.95$) ซึ่งแสดงว่าสารฟีนอลิกเป็นสารสำคัญในการแสดงออกถึงคุณสมบัติต้านสารอนุมูลอิสระ (Shan *et al.*, 2005) นอกจากนี้ Zheng *et al.* (2001) พบความสัมพันธ์ (linear relationship) ของ ORAC และ TPC ของสารสกัดสมุนไพรสำหรับปรุงอาหาร 27 ชนิด และสมุนไพรทางยา 12 ชนิด

การปฏิสัมพันธ์ของปริมาณสารฟีนอลิกและการต้านอนุมูลอิสระของผัก 2 ชนิดจับคู่กัน

การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืชสองชนิดในการต้านอนุมูลอิสระนำสารสกัดพืชชนิดเดียวมาจับคู่กัน นำผลวิเคราะห์ของพืชเดี่ยวแต่ละชนิดมารวมกันเป็นค่าคำนวณ (calculated value) ส่วนผลที่ได้จากการนำสารสกัดพืชสองชนิดผสมกันแล้วทำการวิเคราะห์ได้เป็นค่า (analysed value) การที่จะดูว่าเกิดปฏิสัมพันธ์หรือไม่ และเป็นแบบใด ทำได้โดยนำค่าคำนวณมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ มีรายละเอียดดังนี้:-

เมื่อนำพืชผักมาจับคู่ผสมกัน สารพฤกษเคมีบางชนิดในพืชผักจะมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) แสดงคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ 3 แบบคือ 1. แบบเสริมฤทธิ์ (synergistic) 2. แบบรวมฤทธิ์ (additive) และ 3. แบบต้านฤทธิ์ (antagonistic) ซึ่งจะทราบได้ด้วยการเปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์ (ค่าวิเคราะห์) กับการคำนวณ ความหมายก็คือหากค่าวิเคราะห์ของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (ค่า ORAC และค่า FRAP) ของพืชผสมมีค่าสูงกว่าการคำนวณที่ได้จากการนำค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากพืชเดี่ยวชนิดนั้นๆ มารวมกันและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปฏิสัมพันธ์ของผัก/ผลไม้คู่กันเป็นแบบเสริมฤทธิ์การมีปฏิสัมพันธ์แบบรวมฤทธิ์หมายถึงการที่ผลการวิเคราะห์ของพืชผสมมีค่าไม่แตกต่างกับผลการคำนวณอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปฏิสัมพันธ์ต้านฤทธิ์ คือผลการวิเคราะห์ของพืชผสมมีค่าต่ำกว่าผลการคำนวณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิจัยปรากฏว่าการนำสารสกัดของผัก 2 ชนิดภายในกลุ่มเดียวกันจับคู่กัน แล้ววิเคราะห์ค่า TPC ค่า ORAC และ FRAP พบว่าปฏิสัมพันธ์ของค่า TPC และค่า ORAC ของผักรวม 6 คู่ มีการจับคู่แบบรวมฤทธิ์ 100 % และค่า FRAP มีการจับคู่แบบต้านฤทธิ์กัน 83.3% มีรวมฤทธิ์ เพียง 16.7% (ตารางที่ 3) แต่ไม่เกิดปฏิสัมพันธ์แบบเสริมฤทธิ์ ซึ่งแตกต่างจากผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของสารฟีนอลิกในพืช 3 กลุ่ม คือผัก ผลไม้ และถั่วชนิดต่างๆนำมาจับคู่ระหว่างพืชกลุ่มเดียวกัน และระหว่างพืชต่างกลุ่มกันพบว่าสารต้านอนุมูลอิสระในส่วนผสมของพืชเหล่านี้ มีปฏิสัมพันธ์แบบเสริมฤทธิ์ 24% แบบรวมฤทธิ์ 71 % และแบบต้านฤทธิ์ 5 % (Wang *et al.*, 2011)

อย่างไรก็ตามจากผลการวิจัยโครงการนี้ชี้ให้เห็นว่าการรับประทานผักผลไม้ผสมกัน จะได้รับคุณค่าทางสุขภาพตัวอย่าง เช่น มันปู ยอดมะม่วงหิมพานต์ และชะมวง กินคู่กับผักอะไรก็ได้จะทำให้ได้รับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ORAC สูงขึ้น

ตารางที่ 3 ปฏิสัมพันธ์ของปริมาณสารฟีนอลิกค่า ORAC และค่า FRAP ในพืชผัก 2 ชนิดจับคู่กัน โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD) ที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการคำนวณ

ชนิด		TPC (mgGAE/g FW)		ORAC (μ molTE/g FW)		FRAP (μ molAAE/g FW)	
ใบชะมวง+ใบมันปู	วิเคราะห์	12.03 $\pm$ 1.69	Ad	193.96 $\pm$ 23.83	Ad	26.95 $\pm$ 4.23	An*
	คำนวณ	12.93 $\pm$ 1.99		189.79 $\pm$ 39.46		36.72 $\pm$ 1.30	
ใบชะมวง+ยอดมะม่วงหิมพานต์	วิเคราะห์	12.32 $\pm$ 1.66	Ad	197.07 $\pm$ 19.11	Ad	27.57 $\pm$ 2.09	An*
	คำนวณ	13.44 $\pm$ 1.40		196.10 $\pm$ 25.22		36.18 $\pm$ 1.00	
ใบชะมวง+กะหล่ำปลี	วิเคราะห์	1.23 $\pm$ 0.10	Ad	9.05 $\pm$ 0.49	Ad	1.37 $\pm$ 0.22	An*
	คำนวณ	1.30 $\pm$ 0.23		7.53 $\pm$ 1.73		1.83 $\pm$ 0.18	
ใบมันปู+ยอดมะม่วงหิมพานต์	วิเคราะห์	54.13 $\pm$ 7.48	Ad	248.36 $\pm$ 29.90	Ad	275.42 $\pm$ 25.63	Ad
	คำนวณ	59.66 $\pm$ 7.14		247.95 $\pm$ 58.49		247.94 $\pm$ 13.78	
ใบมันปู+กะหล่ำปลี	วิเคราะห์	0.98 $\pm$ 0.10	Ad	9.20 $\pm$ 0.84	Ad	1.32 $\pm$ 0.15	An*
	คำนวณ	1.12 $\pm$ 0.22		7.33 $\pm$ 1.84		2.27 $\pm$ 0.15	
ยอดมะม่วงหิมพานต์+กะหล่ำปลี	วิเคราะห์	1.06 $\pm$ 0.10	Ad	8.44 $\pm$ 0.42	Ad	1.32 $\pm$ 0.02	An*
	คำนวณ	1.17 $\pm$ 0.17		7.34 $\pm$ 1.88		2.13 $\pm$ 0.15	

หมายเหตุ : Ad (additive interaction) = รวมฤทธิ์; An (antagonistic interaction) = ต้านฤทธิ์

* ค่า Mean $\pm$ SD ที่มีเครื่องหมาย * กำกับแสดงว่าค่าจากการวิเคราะห์และการคำนวณมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

การปฏิสัมพันธ์ของปริมาณสารฟีนอลิกและการต้านสารอนุมูลอิสระของผลไม้ 2 ชนิดจับคู่กัน

สารสกัดผลไม้จับคู่กับผลไม้ จำนวน 3 คู่ พบว่าค่า TPC ค่า ORAC และค่า FRAP เกิดปฏิสัมพันธ์แบบรวมฤทธิ์ 100 % (ตารางที่ 4) แม้ว่าจะไม่มีการเสริมฤทธิ์เกิดขึ้นเป็นข้อน่าสังเกตว่ามะเฟืองคู่กับสับปะรด มีค่า ORAC สูงขึ้น จึงเป็นข้อมูลที่แนะนำผู้บริโภคได้

ตารางที่ 4 ปฏิสัมพันธ์ของปริมาณสารฟีนอลิกค่า ORAC และค่า FRAP ในสารสกัดผลไม้ 2 ชนิดจับคู่กัน(จำนวน 3 คู่) โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD) ที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการคำนวณ

ชนิด		TPC (mg GAE/g FW)	ORAC (μ mol TE/g FW)	FRAP (μ mol AAE/g FW)
มะเฟือง+สับปะรด	วิเคราะห์	0.70 $\pm$ 0.03 Ad	11.11 $\pm$ 0.85 Ad	1.70 $\pm$ 0.23 Ad
	คำนวณ	0.71 $\pm$ 0.05	7.89 $\pm$ 1.88	1.69 $\pm$ 0.23
มะเฟือง+ชมพู	วิเคราะห์	0.66 $\pm$ 0.03 Ad	7.85 $\pm$ 1.26 Ad	1.83 $\pm$ 0.06 Ad
	คำนวณ	0.68 $\pm$ 0.01	7.69 $\pm$ 0.31	1.96 $\pm$ 0.19
สับปะรด+ชมพู	วิเคราะห์	0.48 $\pm$ 0.01 Ad	5.78 $\pm$ 0.37 Ad	1.27 $\pm$ 0.09 Ad
	คำนวณ	0.50 $\pm$ 0.02	4.77 $\pm$ 0.65	1.37 $\pm$ 0.07

หมายเหตุ : Ad (additive interaction) = รวมฤทธิ์

การปฏิสัมพันธ์ของปริมาณสารฟีนอลิกและการต้านสารอนุมูลอิสระของผักและผลไม้จับคู่ไขว้กลุ่ม

สำหรับการจับคู่ไขว้กลุ่มระหว่างสารสกัดผักและผลไม้จำนวน 12 คู่ พบว่าค่า TPC มีปฏิสัมพันธ์แบบรวมฤทธิ์ 100 % ส่วนค่า ORAC มีปฏิสัมพันธ์แบบรวมฤทธิ์ 91.7% และต้านฤทธิ์ 8.3% ส่วนค่า FRAP มีปฏิสัมพันธ์แบบรวมฤทธิ์ 58.3% และต้านฤทธิ์ 41.7% (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ปฏิสัมพันธ์ของปริมาณสารฟีนอลิก ค่า ORAC และค่า FRAP ของสารสกัดผักและผลไม้จับคู่(จำนวน 12 คู่) โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ SD) ที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการคำนวณ

ชนิด		TPC (mgGAE/g FW)	ORAC (μ molTE/g FW)	FRAP (μ molAAE/g FW)
ใบชะมวง+มะเฟือง	วิเคราะห์	1.83 $\pm$ 0.17 Ad	31.99 $\pm$ 0.98* An	3.94 $\pm$ 0.25 Ad
	คำนวณ	1.83 $\pm$ 0.16	36.22 $\pm$ 1.17	4.95 $\pm$ 0.82
ใบชะมวง+สับปะรด	วิเคราะห์	1.29 $\pm$ 0.15 Ad	13.50 $\pm$ 2.28 Ad	1.96 $\pm$ 0.10 Ad
	คำนวณ	1.28 $\pm$ 0.16	9.94 $\pm$ 3.37	2.26 $\pm$ 0.23
ใบชะมวง+ชมพู	วิเคราะห์	1.29 $\pm$ 0.11 Ad	8.65 $\pm$ 1.02 Ad	2.33 $\pm$ 0.30 Ad
	คำนวณ	1.23 $\pm$ 0.10	9.03 $\pm$ 0.42	2.88 $\pm$ 0.22
ใบมันปู+มะเฟือง	วิเคราะห์	1.65 $\pm$ 0.09 Ad	36.28 $\pm$ 5.15 Ad	3.78 $\pm$ 0.08* An
	คำนวณ	1.70 $\pm$ 0.14	36.55 $\pm$ 2.40	5.41 $\pm$ 0.61
ใบมันปู+สับปะรด	วิเคราะห์	1.03 $\pm$ 0.06 Ad	13.43 $\pm$ 1.13 Ad	1.89 $\pm$ 0.25* An
	คำนวณ	1.09 $\pm$ 0.14	9.69 $\pm$ 3.06	2.53 $\pm$ 0.20
ใบมันปู+ชมพู	วิเคราะห์	1.01 $\pm$ 0.03 Ad	8.20 $\pm$ 0.96 Ad	2.20 $\pm$ 0.19* An
	คำนวณ	1.05 $\pm$ 0.08	8.78 $\pm$ 0.66	3.03 $\pm$ 0.35
ยอดมะม่วงหิมพานต์+มะเฟือง	วิเคราะห์	1.71 $\pm$ 0.06 Ad	34.82 $\pm$ 1.67 Ad	4.08 $\pm$ 0.21 Ad
	คำนวณ	1.75 $\pm$ 0.08	38.01 $\pm$ 1.58	5.66 $\pm$ 1.18
ยอดมะม่วงหิมพานต์+สับปะรด	วิเคราะห์	1.11 $\pm$ 0.06 Ad	12.85 $\pm$ 1.27 Ad	1.89 $\pm$ 0.10* An
	คำนวณ	1.14 $\pm$ 0.08	9.70 $\pm$ 2.69	2.38 $\pm$ 0.19
ยอดมะม่วงหิมพานต์+ชมพู	วิเคราะห์	1.10 $\pm$ 0.05 Ad	8.15 $\pm$ 1.35 Ad	2.24 $\pm$ 0.49 Ad
	คำนวณ	1.10 $\pm$ 0.03	9.35 $\pm$ 0.25	2.86 $\pm$ 0.30
กะหล่ำปลี+มะเฟือง	วิเคราะห์	0.63 $\pm$ 0.01 Ad	7.98 $\pm$ 0.16 Ad	1.25 $\pm$ 0.10 Ad
	คำนวณ	0.74 $\pm$ 0.10	6.58 $\pm$ 1.03	1.48 $\pm$ 0.13
กะหล่ำปลี+สับปะรด	วิเคราะห์	0.46 $\pm$ 0.01 Ad	5.90 $\pm$ 0.28 Ad	0.93 $\pm$ 0.08 Ad
	คำนวณ	0.54 $\pm$ 0.08	4.38 $\pm$ 1.13	1.07 $\pm$ 0.09
กะหล่ำปลี+ชมพู	วิเคราะห์	0.45 $\pm$ 0.03 Ad	4.63 $\pm$ 0.74 Ad	0.95 $\pm$ 0.03* An
	คำนวณ	0.52 $\pm$ 0.06	4.23 $\pm$ 0.52	1.20 $\pm$ 0.06

หมายเหตุ : Ad (additive interaction) = รวมฤทธิ์; An (antagonistic interaction) = ต้านฤทธิ์

ค่า Mean $\pm$ SD ที่มีเครื่องหมาย *กำกับแสดงว่าค่าจากการวิเคราะห์และการคำนวณมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากผลการวิจัยพบว่า การจับคู่ของพืชภายในกลุ่มเดียวกันและไขว้กลุ่ม ปรากฏว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์แบบเสริมฤทธิ์ เช่นเดียวกับผลงานวิจัยของ Heo *et al.* (2007) ศึกษาปฏิสัมพันธ์ของสารฟีนอลิกที่นำมาผสมกัน 2 หรือ 3 ชนิด โดยเลือกสารฟีนอลิกที่พบบ่อยในผัก ผลไม้ ผสมรวมกับสารฟีนอลิกหลักที่ใช้เป็นฐานคือ chlorogenic acid ซึ่งพบมากที่สุด ในอาหารเช่นแอปเปิล พลัม และกาแฟ พบว่าสารฟีนอลิกในส่วนผสม มีปฏิสัมพันธ์ให้ฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระแบบรวมฤทธิ์ไม่พบปฏิกิริยาแบบเสริมฤทธิ์ ซึ่งแตกต่างจากผลวิจัยที่พบว่า คุณสมบัติต้านสารอนุมูลอิสระของพืชจับคู่ภายในกลุ่มเดียวกันคือ ผลไม้ ผัก และถั่ว มีการเกิดปฏิสัมพันธ์แบบเสริมฤทธิ์ รวมฤทธิ์และต้านฤทธิ์ 13% 86% และ 18% ตามลำดับ แต่หากจับคู่ไขว้กลุ่มพืช พบว่าเกิดปฏิสัมพันธ์แบบเสริมฤทธิ์ รวมฤทธิ์และต้านฤทธิ์ 21%, 54% และ 25% ตามลำดับ (Wang *et al.*, 2011)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากผลการศึกษาที่แสดงในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 พบว่าสารสกัดของสับปะรดไม่ว่าจะจับคู่กับผลไม้หรือผักที่เลือกมาทำการวิจัย พบว่าค่า ORAC ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ ถึงแม้ว่าจะแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม

ผลของ pH ที่มีต่อปริมาณสารฟีนอลิกและการต้านสารอนุมูลอิสระของสารสกัดผักและผลไม้ชนิดเดียว

การทดสอบความเสถียรของสารฟีนอลิก ในสารสกัดผัก 4 ชนิดและผลไม้ 3 ชนิดโดยมีกลุ่มควบคุมคือ น้ำ (มี pH 6.67) บัฟเฟอร์ pH 3, 4 และ 6 โดยเปรียบเทียบระหว่างการผ่านความร้อน (heated) และไม่ผ่านความร้อน (non-heated) วิเคราะห์ TPC, ORAC และ FRAP ได้ดำเนินการเพิ่มปัจจัยของความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติในการต้านสารอนุมูลอิสระ ทดลองโดย autoclave อุณหภูมิ 121°C นาน 15 นาที ซึ่งในการเลือกอุณหภูมิระดับนี้ เนื่องจากเล็งเห็นประโยชน์ที่จะนำผลที่ได้ไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ระดับอุตสาหกรรม

กรณีไม่ผ่านความร้อนปรากฏว่าปริมาณสารฟีนอลิกของสารสกัดผักและผลไม้แต่ละชนิดในน้ำ บัฟเฟอร์ pH 3 4 และ 6 มีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นมะเฟืองที่มีปริมาณสารฟีนอลิกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อ pH มีค่าสูงขึ้น (ตารางที่ 6) กล่าวได้ว่าปัจจัยของ pH ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารฟีนอลิกของสารสกัดผักและผลไม้ส่วนใหญ่ที่นำมาศึกษา ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับ control ซึ่งต่างจากผลการวิจัยที่พบว่าสาร catechin ในชาเขียว จะมีความเสถียร (stability) มากที่สุดใน pH 3 คือมีการสูญเสียประมาณ 10% และที่ pH 6 มีการสูญเสียมากถึง 80% นั่นคือการย่อยสลายของสาร catechin จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อ pH สูงขึ้น (Chen *et al.*, 2001)

กล่าวได้ว่าสารสกัดมันปูและยอดมะม่วงหิมพานต์มีปริมาณสารฟีนอลิกมาก (ตารางที่ 6) มีค่า ORAC สูง แต่มีข้อด้อยคือมีรสฝาด จึงมีข้อจำกัดด้านปริมาณในการนำไปใช้ ในขณะที่ชะมวงแม้จะมีปริมาณสารฟีนอลิกน้อย แต่มีค่า ORAC สูงเป็นผักที่มีรสเปรี้ยว ไม่มีรสฝาด และไม่มูกลิ้น จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้มากกว่า

เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง สารสกัดในบัฟเฟอร์ pH ต่างๆ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฟีนอลิกในผัก ผลไม้ 4 ชนิด คือ มันปู ยอดมะม่วงหิมพานต์ สับปะรด และชมพู แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และปริมาณสารฟีนอลิกในสับปะรดและชมพูในบัฟเฟอร์ pH 6 จะสูงกว่า pH อื่นๆ

ตารางที่ 6 ผลของ pH ที่มีต่อปริมาณสารฟีนอลิกค่า ORAC และ ค่า FRAP ของสารสกัดผักและผลไม้ชนิดเดียว โดยเปรียบเทียบระหว่างไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน

ชนิด	สภาวะ	pH	TPC (mg GAE/g)		ORAC ($\mu\text{molTE/g}$)		FRAP ($\mu\text{molAAE/g}$)	
ชะมวง	-	control	5.08 $\pm$ 0.03	ns	131.49 $\pm$ 2.92	ns	25.27 $\pm$ 0.47	ns
		pH3	5.19 $\pm$ 0.06		135.22 $\pm$ 8.06		24.97 $\pm$ 1.01	
		pH4	5.19 $\pm$ 0.09		125.80 $\pm$ 5.49		24.29 $\pm$ 1.57	
		pH6	5.19 $\pm$ 0.42		125.79 $\pm$ 2.11		25.32 $\pm$ 1.46	
	121°ซ, 15 นาที	control	5.48 $\pm$ 0.11	ns	156.33 $\pm$ 7.81	ns	26.69 $\pm$ 1.08	ns
		pH3	5.37 $\pm$ 0.11		158.75 $\pm$ 2.43		27.66 $\pm$ 1.22	
		pH4	5.14 $\pm$ 0.01		146.74 $\pm$ 5.23		27.84 $\pm$ 1.11	
		pH6	5.34 $\pm$ 0.05		148.08 $\pm$ 3.00		30.67 $\pm$ 0.69	
มันปู	-	control	36.10 $\pm$ 0.28	ns	208.76 $\pm$ 1.03	ns	280.66 $\pm$ 4.37	a
		pH3	36.67 $\pm$ 0.40		220.20 $\pm$ 9.15		279.12 $\pm$ 5.04	a
		pH4	35.79 $\pm$ 0.50		204.93 $\pm$ 5.59		263.42 $\pm$ 1.65	b
		pH6	35.15 $\pm$ 0.40		209.49 $\pm$ 9.76		246.71 $\pm$ 7.11	c
	121°ซ, 15 นาที	control	36.77 $\pm$ 0.13	b	246.52 $\pm$ 16.11	ns	290.25 $\pm$ 7.54	ns
		pH3	38.05 $\pm$ 0.27	a	254.87 $\pm$ 19.45		275.63 $\pm$ 25.14	
		pH4	36.96 $\pm$ 0.21	b	239.43 $\pm$ 0.71		279.54 $\pm$ 23.92	
		pH6	38.24 $\pm$ 0.34	a	260.12 $\pm$ 13.34		305.36 $\pm$ 4.89	
ยอดมะม่วงหิมพานต์	-	control	40.41 $\pm$ 1.72	ns	234.22 $\pm$ 2.71	ns	274.20 $\pm$ 11.14	a
		pH3	40.62 $\pm$ 0.61		231.75 $\pm$ 7.34		283.87 $\pm$ 5.94	a
		pH4	40.86 $\pm$ 0.06		231.37 $\pm$ 3.35		251.65 $\pm$ 1.63	b
		pH6	40.33 $\pm$ 0.88		232.36 $\pm$ 0.95		271.02 $\pm$ 3.56	a
	121°ซ, 15 นาที	control	41.72 $\pm$ 0.13	a	254.65 $\pm$ 20.42	ns	273.67 $\pm$ 4.72	b
		pH3	40.74 $\pm$ 0.10	b	274.71 $\pm$ 6.94		276.09 $\pm$ 1.58	b
		pH4	40.69 $\pm$ 0.17	b	280.97 $\pm$ 4.77		326.15 $\pm$ 6.86	a
		pH6	40.24 $\pm$ 0.34	b	290.14 $\pm$ 1.68		335.87 $\pm$ 12.47	a

หมายเหตุ : ค่า Mean $\pm$ SD ในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$);
ns = แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 6 (ต่อ) ผลของ pH ที่มีต่อปริมาณสารฟีนอลิกค่า ORAC และ ค่า FRAP ของสารสกัดผักและผลไม้ชนิดเดียวโดยเปรียบเทียบระหว่างไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน

ชนิด	สภาวะ	pH	TPC (mg GAE/g)		ORAC ($\mu\text{molTE/g}$)		FRAP ($\mu\text{molAAE/g}$)	
กะหล่ำปลี	-	control	0.31 $\pm$ 0.01	ns	4.99 $\pm$ 0.9	ns	1.17 $\pm$ 0.14	b
		pH3	0.32 $\pm$ 0.01		4.24 $\pm$ 0.07		1.24 $\pm$ 0.02	b
		pH4	0.32 $\pm$ 0.01		4.30 $\pm$ 0.40		1.19 $\pm$ 0.05	b
		pH6	0.34 $\pm$ 0.01		4.51 $\pm$ 0.22		1.72 $\pm$ 0.04	a
	121°C, 15 นาที	control	0.25 $\pm$ 0.01	ns	3.85 $\pm$ 0.16	ns	1.24 $\pm$ 0.03	b
		pH3	0.27 $\pm$ 0.02		3.75 $\pm$ 0.03		1.35 $\pm$ 0.03	b
		pH4	0.28 $\pm$ 0.06		4.77 $\pm$ 0.44		1.57 $\pm$ 0.09	a
		pH6	0.34 $\pm$ 0.01		4.46 $\pm$ 0.32		1.60 $\pm$ 0.11	a
มะเฟือง	-	control	0.82 $\pm$ 0.01	b	17.12 $\pm$ 0.02	ns	4.69 $\pm$ 0.07	ns
		pH3	0.81 $\pm$ 0.00	b	17.54 $\pm$ 0.02		4.42 $\pm$ 0.05	
		pH4	0.81 $\pm$ 0.00	b	16.95 $\pm$ 0.18		4.55 $\pm$ 0.04	
		pH6	0.84 $\pm$ 0.00	a	17.63 $\pm$ 0.56		4.58 $\pm$ 0.21	
	121°C, 15 นาที	control	0.78 $\pm$ 0.02	ns	20.62 $\pm$ 1.05	a	4.15 $\pm$ 0.16	ns
		pH3	0.84 $\pm$ 0.05		21.44 $\pm$ 0.52	a	4.65 $\pm$ 0.25	
		pH4	0.74 $\pm$ 0.01		18.42 $\pm$ 0.45	b	4.23 $\pm$ 0.22	
		pH6	0.85 $\pm$ 0.01		17.56 $\pm$ 0.37	b	4.27 $\pm$ 0.15	
สับปะรด	-	control	0.37 $\pm$ 0.00	ns	6.15 $\pm$ 0.23	ns	1.61 $\pm$ 0.02	b
		pH3	0.37 $\pm$ 0.01		6.47 $\pm$ 0.23		1.52 $\pm$ 0.06	b
		pH4	0.39 $\pm$ 0.03		6.22 $\pm$ 0.12		1.60 $\pm$ 0.11	b
		pH6	0.45 $\pm$ 0.05		7.72 $\pm$ 0.93		1.85 $\pm$ 0.02	a
	121°C, 15 นาที	control	0.33 $\pm$ 0.01	c	7.07 $\pm$ 0.03	ns	1.40 $\pm$ 0.01	b
		pH3	0.37 $\pm$ 0.00	b	7.01 $\pm$ 0.18		1.54 $\pm$ 0.04	b
		pH4	0.35 $\pm$ 0.01	bc	6.79 $\pm$ 0.22		1.47 $\pm$ 0.00	b
		pH6	0.41 $\pm$ 0.01	a	6.93 $\pm$ 0.05		1.78 $\pm$ 0.12	a

หมายเหตุ : ค่า Mean $\pm$ SD ในแนวดิ่งที่มีอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$);
ns = แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 6 (ต่อ) ผลของ pH ที่มีต่อปริมาณสารฟีนอลิกค่า ORAC และ ค่า FRAP ของสารสกัดผักและผลไม้ชนิดเดียวโดยเปรียบเทียบระหว่างไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน

ชนิด	สภาวะ	pH	TPC (mg GAE/g)		ORAC ($\mu\text{molTE/g}$)		FRAP ($\mu\text{molAAE/g}$)	
ชมพู่	-	control	0.33 $\pm$ 0.01	ns	4.47 $\pm$ 0.34	ns	2.52 $\pm$ 0.03	ns
		pH3	0.33 $\pm$ 0.01		4.04 $\pm$ 0.22		2.66 $\pm$ 0.23	
		pH4	0.33 $\pm$ 0.00		3.59 $\pm$ 0.04		2.46 $\pm$ 0.11	
		pH6	0.35 $\pm$ 0.01		4.04 $\pm$ 0.18		2.38 $\pm$ 0.01	
	121°C, 15 นาที	control	0.31 $\pm$ 0.01	b	3.67 $\pm$ 0.07	ns	2.36 $\pm$ 0.07	c
		pH3	0.30 $\pm$ 0.01	b	3.49 $\pm$ 0.01		2.30 $\pm$ 0.04	c
		pH4	0.36 $\pm$ 0.03	b	4.51 $\pm$ 1.02		2.80 $\pm$ 0.02	b
		pH6	0.57 $\pm$ 0.04	a	4.81 $\pm$ 0.02		3.14 $\pm$ 0.03	a

หมายเหตุ : ค่า Mean $\pm$ SD ในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$);
ns = แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับค่า ORAC ของสารสกัดผักผลไม้ในบัฟเฟอร์ที่ pH แตกต่างกัน 3 ระดับ ทั้งในสภาวะไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน ปรากฏว่าฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระในพืชผักเกือบทุกชนิด (ยกเว้นมะเฟือง) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6) เมื่อผ่านความร้อนพบว่าชมพู่ มะเฟือง และสับปะรด ที่ pH 3 มีค่าสูงกว่า pH อื่นๆ ในขณะที่มันปู ยอดมะม่วงหิมพานต์และชมพู่ มีค่าสูงที่ pH 6 แสดงให้เห็นว่าฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระในพืชผักที่นำมาศึกษาส่วนใหญ่จะคงที่ในบัฟเฟอร์ที่มี pH แตกต่างกัน แม้ว่าจะให้ความร้อนหรือไม่ก็ตาม

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติในการรีดิวส์ พบว่ากรณีที่ผ่านความร้อน สารสกัดของพืชเดี่ยวใน pH ต่างๆ มีค่า FRAP สูงขึ้นเมื่อ pH สูงขึ้น ได้แก่ยอดมะม่วงหิมพานต์ กะหล่ำปลี สับปะรด และชมพู่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่หากไม่ให้ความร้อน มันปู มีค่า FRAP ลดลง เมื่อ pH สูงขึ้น

ผลของความร้อนที่มีต่อคุณสมบัติต้านสารอนุมูลอิสระของพืชเดี่ยวในบัฟเฟอร์ pH ต่างๆ

ปริมาณสารฟีนอลิกของสารสกัดพืชใน pH ที่ทำการศึกษา พบว่าความร้อนไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฟีนอลิกในสารสกัดพืชส่วนใหญ่ ผักผลไม้ที่พบว่าสารฟีนอลิกสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ได้แก่ ชมพู่ (ในน้ำ) มันปู (pH 6) และชมพู่ (pH 6) (ตารางที่ 7) ในขณะที่มีพืชบางชนิดเมื่อผ่านความร้อนแล้วทำให้สารฟีนอลิกลดลง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ได้แก่ กะหล่ำปลี (ในน้ำ) และมะเฟือง (pH 4) ส่วนสับปะรดพบว่าความร้อนมีแนวโน้มทำให้สารฟีนอลิกลดลงในทุก pH ยกเว้น pH 3

ตารางที่ 7 ผลของความร้อนที่มีต่อปริมาณสารฟีนอลิกของพืชเดี่ยวในบัฟเฟอร์ที่มี pH ต่างๆกัน

ชนิด	สภาวะ	TPC (mg GAE/g)			
		Control (น้ำ)	pH 3	pH 4	pH 6
ชะมวง	-	5.08±0.03 *	5.19±0.06 ns	5.19±0.09 ns	5.19±0.42 ns
	121°ซ, 15 นาที	5.48±0.11	5.37±0.11	5.14±0.01	5.34±0.05
มันปู	-	36.10±0.28 ns	36.67±0.40 ns	35.79±0.50 ns	35.15±0.40 *
	121°ซ, 15 นาที	36.77±0.13	38.05±0.27	36.96±0.21	38.24±0.34
ยอดมะม่วงหิมพานต์	-	40.41±1.72 ns	40.62±0.61 ns	40.86±0.06 ns	40.33±0.88 ns
	121°ซ, 15 นาที	41.72±0.13	40.74±0.10	40.69±0.17	40.24±0.34
กะหล่ำปลี	-	0.31±0.01 *	0.32±0.01 ns	0.32±0.01 ns	0.34±0.01 ns
	121°ซ, 15 นาที	0.25±0.01	0.27±0.02	0.28±0.06	0.34±0.01
มะเฟือง	-	0.82±0.01 ns	0.81±0.00 ns	0.81±0.00 *	0.84±0.00 ns
	121°ซ, 15 นาที	0.78±0.02	0.84±0.05	0.74±0.01	0.85±0.01
สับปะรด	-	0.37±0.00 ns	0.37±0.01 ns	0.39±0.03 ns	0.45±0.05 ns
	121°ซ, 15 นาที	0.33±0.01	0.37±0.00	0.35±0.01	0.41±0.01
ชมพู่	-	0.33±0.01 ns	0.33±0.01 ns	0.33±0.00 ns	0.35±0.01 *
	121°ซ, 15 นาที	0.31±0.01	0.30±0.01	0.36±0.03	0.57±0.04

หมายเหตุ: ค่า Mean ± SD ที่มีเครื่องหมาย * กำกับแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05);

ns = แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาค่า ORAC ในตารางที่ 8 ปรากฏว่าความร้อนทำให้ค่า ORAC ของสารสกัดพืชเกือบทุกชนิดในบาง pH เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และจากภาพที่ 6-8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อได้รับความร้อนค่า ORAC ในทุก pH ของสารสกัดชะมวง มันปู และยอดมะม่วงหิมพานต์ มีค่าเพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับการที่ไม่ผ่านความร้อน โดยเฉพาะยอดมะม่วงหิมพานต์มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ส่วนกะหล่ำปลี มะเฟือง สับปะรดและชมพู่ พบว่าความร้อนส่งผลทำให้ค่า ORAC เพิ่มขึ้นในบาง pH เท่านั้น (ภาพที่ 9-12) พบว่ากะหล่ำปลี มีค่า ORAC ที่ pH 3 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ขณะที่สารสกัดสับปะรดในน้ำมีค่า ORAC เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) แม้ว่าปริมาณสารฟีนอลิกจะลดลงก็ตาม โดยรวมแล้วในสารสกัดชะมวง มันปู ยอดมะม่วงหิมพานต์ ความร้อนทำให้ค่า ORAC เพิ่มขึ้น แม้จะไม่มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกพรีดเม้นท์ ดังนั้นผักทั้ง 3 ชนิดนี้จึงมีศักยภาพที่จะนำไปใช้เพิ่มสารฟีนอลิกที่เพิ่มค่า ORAC ในอาหารต่างๆได้

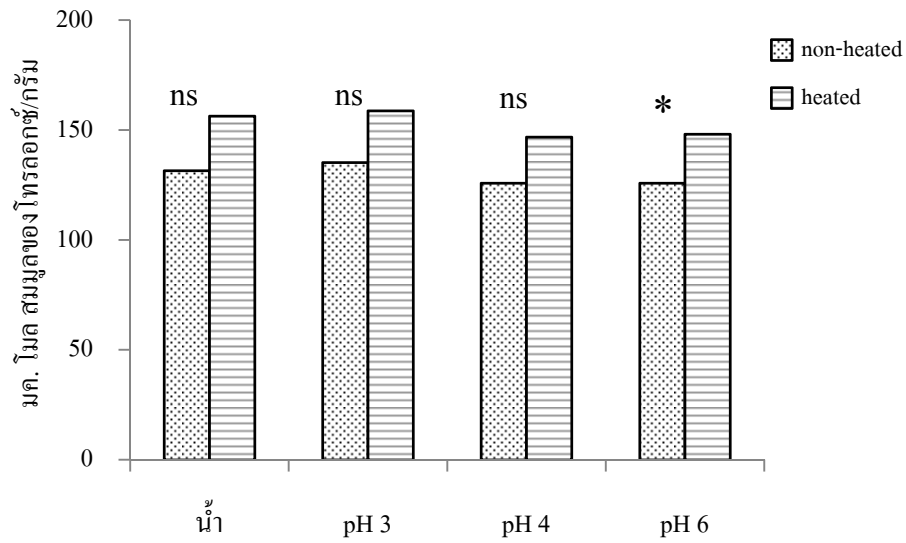
ตารางที่ 8 ผลของความร้อนที่มีต่อค่า ORAC ของพืชชนิดเดียวในบัฟเฟอร์ที่มี pH ต่างๆกัน

ชนิด	สภาวะ	ORAC ($\mu\text{mol TE/g}$)			
		Control (น้ำ)	pH 3	pH 4	pH 6
ชะมวง	-	131.49 $\pm$ 2.92 ns	135.22 $\pm$ 8.06 ns	125.80 $\pm$ 5.49 ns	125.79 $\pm$ 2.11 *
	121 $^{\circ}$ ซ, 15 นาที	156.33 $\pm$ 7.81	158.75 $\pm$ 2.43	146.74 $\pm$ 5.23	148.08 $\pm$ 3.00
มันปู	-	208.76 $\pm$ 1.03 ns	220.20 $\pm$ 9.15 ns	204.93 $\pm$ 5.59 *	209.49 $\pm$ 9.76 *
	121 $^{\circ}$ ซ, 15 นาที	246.52 $\pm$ 16.11	254.87 $\pm$ 19.45	239.43 $\pm$ 0.71	260.12 $\pm$ 13.34
ยอดมะม่วง หิมพานต์	-	234.22 $\pm$ 2.71 ns	231.75 $\pm$ 7.34 *	231.37 $\pm$ 3.35 *	232.36 $\pm$ 0.95 *
	121 $^{\circ}$ ซ, 15 นาที	254.65 $\pm$ 20.42	274.71 $\pm$ 6.94	280.97 $\pm$ 4.77	290.14 $\pm$ 1.68
กะหล่ำปลี	-	4.99 $\pm$ 0.97 ns	4.24 $\pm$ 0.07 *	4.30 $\pm$ 0.40 ns	4.51 $\pm$ 0.22 ns
	121 $^{\circ}$ ซ, 15 นาที	3.85 $\pm$ 0.16	3.75 $\pm$ 0.03	4.77 $\pm$ 0.44	4.46 $\pm$ 0.32
มะเฟือง	-	17.12 $\pm$ 0.02 *	17.54 $\pm$ 0.02 *	16.95 $\pm$ 0.18 ns	17.63 $\pm$ 0.56 ns
	121 $^{\circ}$ ซ, 15 นาที	20.62 $\pm$ 1.05	21.44 $\pm$ 0.52	18.42 $\pm$ 0.45	17.56 $\pm$ 0.37
สับปะรด	-	6.15 $\pm$ 0.23 *	6.47 $\pm$ 0.23 ns	6.22 $\pm$ 0.12 ns	7.72 $\pm$ 0.93 ns
	121 $^{\circ}$ ซ, 15 นาที	7.07 $\pm$ 0.03	7.01 $\pm$ 0.18	6.79 $\pm$ 0.22	6.93 $\pm$ 0.05
ชมพู่	-	4.47 $\pm$ 0.34 ns	4.04 $\pm$ 0.22 ns	3.59 $\pm$ 0.04 ns	4.04 $\pm$ 0.18 *
	121 $^{\circ}$ ซ, 15 นาที	3.67 $\pm$ 0.07	3.49 $\pm$ 0.01	4.51 $\pm$ 1.02	4.81 $\pm$ 0.02

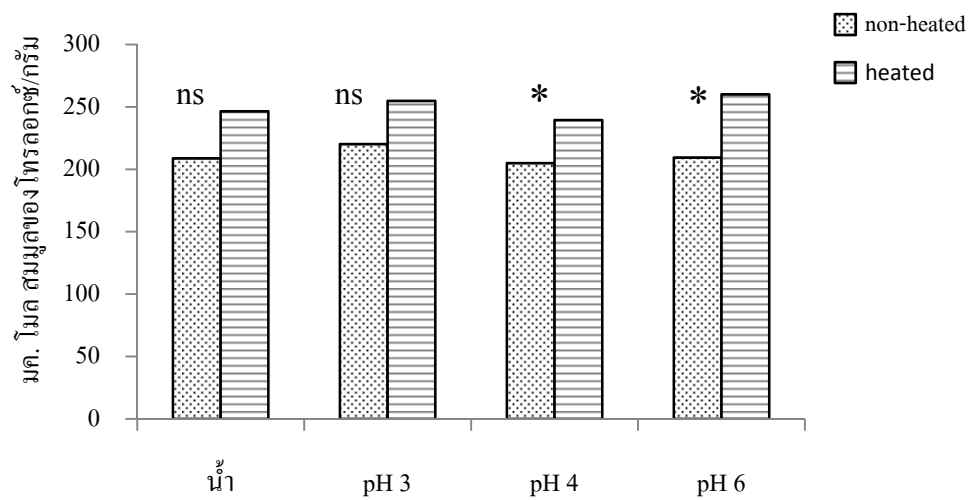
หมายเหตุ: ค่า Mean $\pm$ SD ที่มีเครื่องหมาย *กำกับแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$);

ns = แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

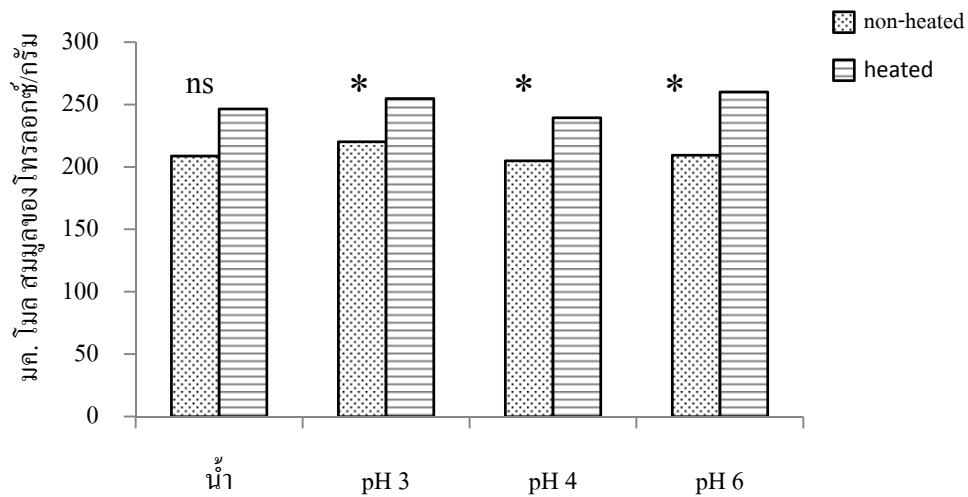
กล่าวได้ว่าปัจจัยด้าน pH พบว่าไม่ได้ทำให้สารฟีนอลิกของสารสกัดพืชส่วนใหญ่ที่นำมาศึกษาเปลี่ยนแปลงมากนักคือค่อนข้างจะมีความเสถียรและพบว่าความร้อนมีผลทำให้ค่า ORAC ของผักพื้นบ้าน 3 ชนิด คือชะมวง มันปู และยอดมะม่วงหิมพานต์สูงขึ้นในทุก pH โดยเฉพาะที่ pH 6 ค่า ORAC จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับกะหล่ำปลีพบว่าค่า ORAC ที่ pH 3 เพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนผลไม้ทั้ง 3 ชนิดนั้น ปรากฏว่าความร้อนส่งผลให้ค่า ORAC เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในบาง pH ขึ้นกับชนิดของผลไม้



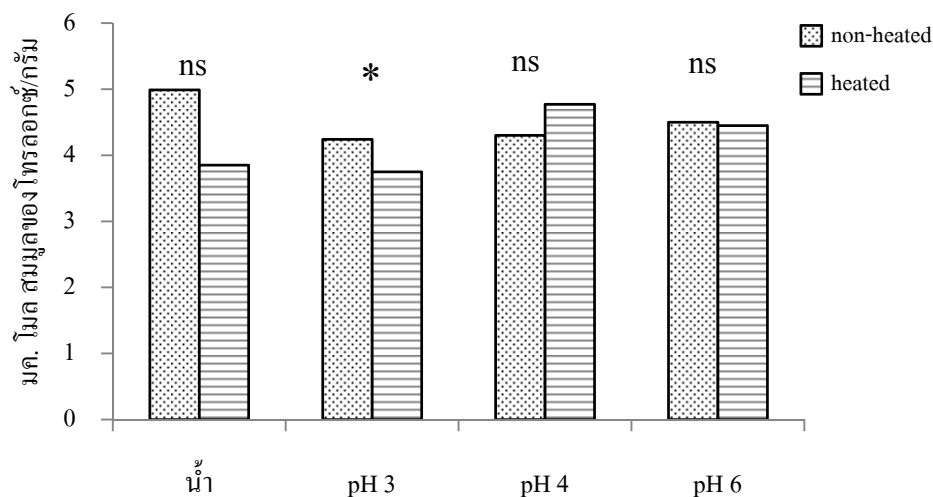
ภาพที่ 6 ค่า ORAC ของสารสกัดชะมวงในบัฟเฟอร์ pH ต่างๆเปรียบเทียบระหว่าง ไม่ผ่านความร้อน (non-heated) และผ่านความร้อน (heated)



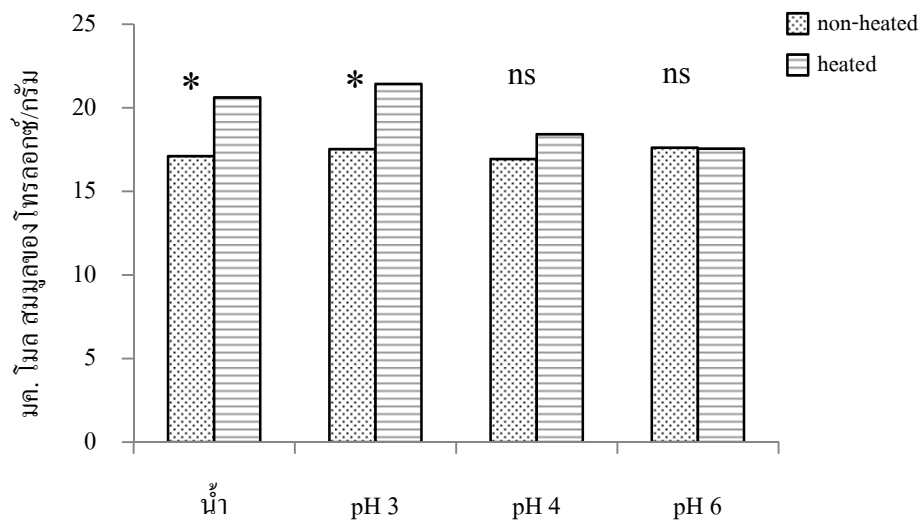
ภาพที่ 7 ค่า ORAC ของสารสกัดมันปูในบัฟเฟอร์ pH ต่างๆเปรียบเทียบระหว่าง ไม่ผ่านความร้อน (non-heated) และผ่านความร้อน (heated)



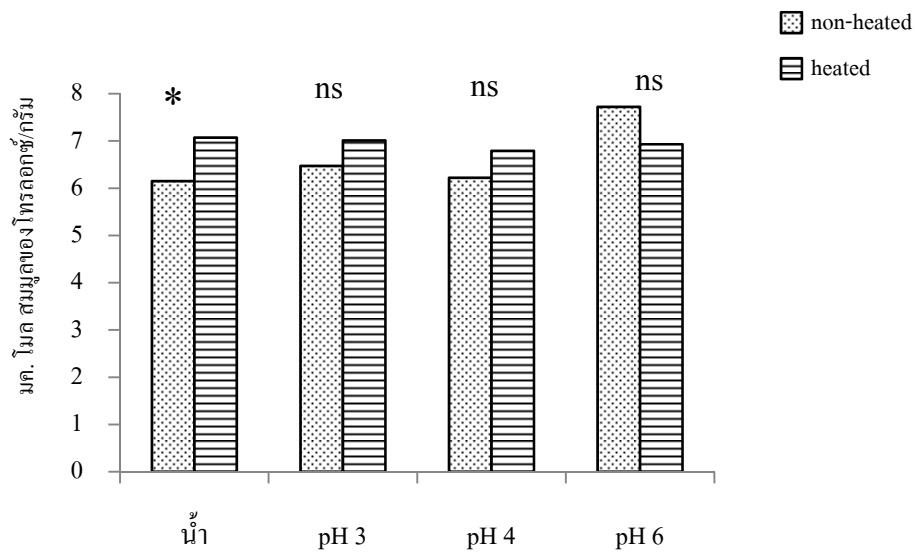
ภาพที่ 8 ค่า ORAC ของสารสกัดยอดมะม่วงหิมพานต์ในบัฟเฟอร์ pH ต่างๆเปรียบเทียบระหว่างไม่ผ่านความร้อน (non-heated) และผ่านความร้อน (heated)



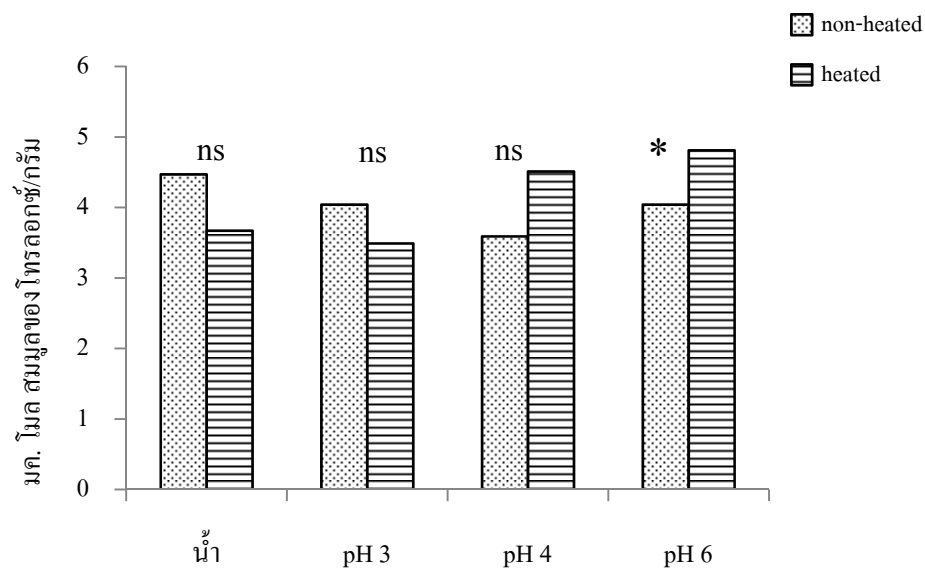
ภาพที่ 9 ค่า ORAC ของสารสกัดกะหล่ำปลีในบัฟเฟอร์ pH ต่างๆเปรียบเทียบระหว่างไม่ผ่านความร้อน (non-heated) และผ่านความร้อน (heated)



ภาพที่ 10 ค่า ORAC ของสารสกัดมะเฟืองในบัฟเฟอร์ pH ต่างๆเปรียบเทียบระหว่างไม่ผ่านความร้อน (non-heated) และผ่านความร้อน (heated)



ภาพที่ 11 ค่า ORAC ของสารสกัดสับปะรดในบัฟเฟอร์ pH ต่างๆเปรียบเทียบระหว่างไม่ผ่านความร้อน (non-heated) และผ่านความร้อน (heated)



ภาพที่ 12 ค่า ORAC ของสารสกัดชมพูในบัฟเฟอร์ pH ต่างๆเปรียบเทียบระหว่างไม่ผ่านความร้อน (non-heated) และผ่านความร้อน (heated)

หมายเหตุ: เครื่องหมาย * กำกับแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$);

ns = แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

คุณสมบัติในการรีดิวส์ของพืช พบว่าการให้ความร้อนมีผลทำให้คุณสมบัติในการรีดิวส์ของพืชเพิ่มขึ้นหรือลดลงในแต่ละ pH แตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืช (ตารางที่ 9) ปรากฏว่าชะมวง มันปู ยอดมะม่วงหิมพานต์ และชมพู มีค่า FRAP เพิ่มขึ้นที่ pH 6 ส่วนกะหล่ำปลีที่ pH 3 pH 4 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่สารสกัดมะเฟืองและสับปะรดมีค่า FRAP ในน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ pH 4 และ 6

ตารางที่ 9 ผลของความร้อนที่มีต่อค่า FRAP ของพืชชนิดเดียวในบัฟเฟอร์ที่มี pH ต่างๆกัน

ชนิด	สภาวะ	FRAP ($\mu\text{mol AAE/g}$)			
		Control (น้ำ)	pH 3	pH 4	pH 6
ชะมวง	-	25.27 $\pm$ 0.47 ns	24.97 $\pm$ 1.01 ns	24.29 $\pm$ 1.57 ns	25.32 $\pm$ 1.46 *
	121 $^{\circ}$ ซ, 15 นาที	26.69 $\pm$ 1.08	27.66 $\pm$ 1.22	27.84 $\pm$ 1.11	30.67 $\pm$ 0.69
มันปู	-	280.66 $\pm$ 4.37 ns	279.12 $\pm$ 5.04 ns	263.42 $\pm$ 1.65 ns	246.71 $\pm$ 7.11 *
	121 $^{\circ}$ ซ, 15 นาที	290.25 $\pm$ 7.54	275.63 $\pm$ 25.14	279.54 $\pm$ 23.92	305.36 $\pm$ 4.89
ยอดมะม่วงหิมพานต์	-	274.20 $\pm$ 11.14 ns	283.87 $\pm$ 5.94 ns	251.65 $\pm$ 1.63 *	271.02 $\pm$ 3.56 *
	121 $^{\circ}$ ซ, 15 นาที	273.67 $\pm$ 4.72	276.09 $\pm$ 1.58	326.15 $\pm$ 6.86	335.87 $\pm$ 12.47
กะหล่ำปลี	-	1.17 $\pm$ 0.14 ns	1.24 $\pm$ 0.02 *	1.19 $\pm$ 0.05 *	1.72 $\pm$ 0.04 ns
	121 $^{\circ}$ ซ, 15 นาที	1.24 $\pm$ 0.03	1.35 $\pm$ 0.03	1.57 $\pm$ 0.09	1.60 $\pm$ 0.11
มะเฟือง	-	4.69 $\pm$ 0.07 *	4.42 $\pm$ 0.05 ns	4.55 $\pm$ 0.04 ns	4.58 $\pm$ 0.21 ns
	121 $^{\circ}$ ซ, 15 นาที	4.15 $\pm$ 0.16	4.65 $\pm$ 0.25	4.23 $\pm$ 0.22	4.27 $\pm$ 0.15
สับปะรด	-	1.61 $\pm$ 0.02 *	1.52 $\pm$ 0.06 ns	1.60 $\pm$ 0.11 ns	1.85 $\pm$ 0.02 ns
	121 $^{\circ}$ ซ, 15 นาที	1.40 $\pm$ 0.01	1.54 $\pm$ 0.04	1.47 $\pm$ 0.00	1.78 $\pm$ 0.12
ชมพู	-	2.52 $\pm$ 0.03 ns	2.66 $\pm$ 0.23 ns	2.46 $\pm$ 0.11 ns	2.38 $\pm$ 0.01 *
	121 $^{\circ}$ ซ, 15 นาที	2.36 $\pm$ 0.07	2.30 $\pm$ 0.04	2.80 $\pm$ 0.02	3.14 $\pm$ 0.03

หมายเหตุ: ค่า Mean $\pm$ SD ที่มีเครื่องหมาย *กำกับแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$);

ns = แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลของpHและความร้อนที่มีต่อปฏิสัมพันธ์ของปริมาณสารฟีนอลิกและการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด สับปะรดจับคู่กับผักผลไม้

เมื่อพิจารณาจากผลการศึกษา (ตารางที่ 4 และ 5) พบว่าสารสกัดของสับปะรดไม่ว่าจะจับคู่กับผลไม้หรือผักที่เลือกมาทำการวิจัยชนิดใดก็ตาม ค่า ORAC ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณถึงแม้ว่าจะแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม ในขณะที่พืชชนิดอื่นๆ ไม่เกิดปรากฏการณ์เช่นนี้ จึงเลือกสับปะรดจับคู่กับผักผลไม้ชนิดต่างๆ นำมาศึกษาผลของ pH และความร้อนที่มีต่อการปฏิสัมพันธ์ของปริมาณสารฟีนอลิกและการต้านอนุมูลอิสระ

ผลการศึกษากการจับคู่ไขว้กลุ่มระหว่างสารสกัดผัก 4 ชนิดกับสับปะรด และสารสกัดผลไม้ 2 ชนิดกับสับปะรด รวมทั้งหมดจำนวน 6 คู่ ในบัฟเฟอร์ pH 3, 4 และ 6 เปรียบเทียบระหว่างไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน ในตารางที่ 10 พบว่ากรณีที่ไม่ให้ความร้อน ปัจจัยด้าน pH มีผลทำให้ปฏิสัมพันธ์ของสารฟีนอลิกเกิดการเปลี่ยนแปลงในบางคู่ โดยไม่มีรูปแบบที่แน่นอน โดยเกิดปฏิสัมพันธ์แบบเสริมฤทธิ์ที่ pH 3 จำนวน 3 คู่ คือ มันปูกับสับปะรด กะหล่ำปลีกับสับปะรด และชมพูกับสับปะรดซึ่งสองคู่หลังเกิดปฏิสัมพันธ์แบบเสริมฤทธิ์ในน้ำ และในบัฟเฟอร์ pH 4 สำหรับกรณีการให้ความร้อนอุณหภูมิ 121°C 15 นาที พบว่าเกิดปฏิสัมพันธ์เป็นแบบเสริมฤทธิ์มากที่สุดที่ pH 3 มีจำนวน 4 คู่ และเป็นที่น่าสังเกตว่าสารฟีนอลิกในสารสกัดที่จับคู่ชะมวงกับสับปะรดที่ผ่านความร้อน มีปริมาณสูงขึ้นแบบเสริมฤทธิ์ ในทุก pH ที่ทำการทดลอง

ผลการวิจัยของ Wang *et al.* (2011) แสดงให้เห็นว่าการเกิดปฏิสัมพันธ์แบบเสริมฤทธิ์ส่งผลให้ปริมาณสารฟีนอลิกในรัสเบอร์รี่จับคู่กับถั่วอะซูกิเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อนำไปศึกษาด้วยเครื่อง HPLC พบว่าไม่มีสารใหม่เกิดขึ้น แต่เกิดการรวมตัวกันของสารฟีนอลิกที่มีปริมาณมากขึ้น

ตารางที่ 10 ปฏิสัมพันธ์ของปริมาณสารฟีนอลิกของสารสกัดสับปะรดจับคู่กับผักผลไม้ในบัฟเฟอร์ pH ต่างๆ
เปรียบเทียบระหว่างสถานะไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน

ชนิด	สถานะ	TPC (mg GAE/g)					
			Control (น้ำ)	pH3	pH4	pH6	
ชะมวง+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	0.66±0.02* Syn	0.66±0.03 Ad	0.67±0.02 Ad	0.68±0.01 Ad	
		คำนวณ	0.60	0.61	0.63	0.68	
	121 ^o ซ,	วิเคราะห์	0.71±0.02* Syn	0.71±0.01* Syn	0.70±0.03* Syn	0.75±0.07* Syn	
	15 นาที	คำนวณ	0.59	0.62	0.58	0.66	
มันปู+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	1.50±0.05 Ad	1.53±0.03* Syn	1.52±0.04 Ad	1.57±0.06 Ad	
		คำนวณ	1.44	1.45	1.45	1.49	
	121 ^o ซ,	วิเคราะห์	1.53±0.03* Syn	1.62±0.06 Ad	1.51±0.07 Ad	1.59±0.06 Ad	
	15 นาที	คำนวณ	1.42	1.50	1.44	1.55	
ยอดมะม่วง- หิมพานต์+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	1.52±0.07 Ad	1.55±0.07 Ad	1.57±0.10 Ad	1.56±0.11 Ad	
		คำนวณ	1.57	1.57	1.60	1.64	
	121 ^o ซ,	วิเคราะห์	1.63±0.09 Ad	1.70±0.11 Ad	1.57±0.10 Ad	1.57±0.11 Ad	
	15 นาที	คำนวณ	1.57	1.58	1.55	1.61	
กะหล่ำปลี+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	0.38±0.01* Syn	0.39±0.01* Syn	0.39±0.01* Syn	0.39±0.01 Ad	
		คำนวณ	0.33	0.33	0.34	0.38	
	121 ^o ซ,	วิเคราะห์	0.28±0.02 Ad	0.34±0.02* Syn	0.32±0.07 Ad	0.36±0.04 Ad	
	15 นาที	คำนวณ	0.28	0.31	0.30	0.36	
มะเฟือง+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	0.52±0.05 Ad	0.52±0.04 Ad	0.53±0.04 Ad	0.53±0.03 Ad	
		คำนวณ	0.50	0.50	0.51	0.56	
	121 ^o ซ,	วิเคราะห์	0.51±0.01* Syn	0.55±0.00* Syn	0.51±0.02* Syn	0.59±0.04 Ad	
	15 นาที	คำนวณ	0.46	0.51	0.46	0.54	
ชมพู+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	0.37±0.01* Syn	0.38±0.01* Syn	0.38±0.00* Syn	0.36±0.01* An	
		คำนวณ	0.34	0.34	0.35	0.38	
	121 ^o ซ,	วิเคราะห์	0.34±0.02 Ad	0.36±0.01* Syn	0.40±0.03* Syn	0.47±0.07 Ad	
	15 นาที	คำนวณ	0.32	0.32	0.36	0.52	

หมายเหตุ : Ad (additive interaction) = รวมฤทธิ์; An (antagonistic interaction) = ต้านฤทธิ์

ค่า Mean ± SD ที่มีเครื่องหมาย *กำกับแสดงว่าค่าจากการวิเคราะห์และการคำนวณมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ในตารางที่ 11 แสดงผลการเกิดปฏิสัมพันธ์ของฤทธิ์ด้านสารอนุมูลอิสระ (ค่า ORAC) ของสารสกัด สับปะรดจับคู่กับผักผลไม้ในบัฟเฟอร์ pH ต่างๆ และจากภาพที่ 13 พบว่าในกรณีที่ผ่านความร้อน ปัจจัยของ pH ระดับต่างๆ ส่งผลให้ค่า ORAC ของสารสกัดสับปะรดคู่กับพืชผัก มีปฏิสัมพันธ์รูปแบบแตกต่างกันมีทั้งแบบ เสริมฤทธิ์ รวมฤทธิ์ และต้านฤทธิ์ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนขึ้นกับชนิดของพืชผักแต่ละคู่ ตัวอย่างเช่น ชะมวงกับ สับปะรด เกิดปฏิสัมพันธ์เสริมฤทธิ์ ในสภาวะ pH 4 ในขณะที่พืชผักคู่อื่นๆ ไม่เกิดปฏิสัมพันธ์เสริมฤทธิ์ แต่จะ เป็นแบบรวมฤทธิ์ และ/ หรือต้านฤทธิ์ กรณีชมพูกับสับปะรดจะเกิดการปฏิสัมพันธ์ต้านฤทธิ์ (ค่าที่ได้จากการ วิเคราะห์ต่ำกว่าการคำนวณ) ทุกระดับ pH และพบว่าที่ pH 6 เกิดปฏิสัมพันธ์ต้านฤทธิ์ในพืชผักจับคู่จำนวน 4 คู่

เมื่อพิจารณากรณีการให้ความร้อนพบว่า ค่า ORAC ของพืชผักจับคู่ ใน pH ต่างๆ มีปฏิสัมพันธ์รูปแบบ แตกต่างจากกรณีที่ไม่ให้ความร้อนในพืชผักจับคู่ชนิดเดียวกัน พบว่าค่า ORAC ของชะมวงกับสับปะรด และมันปู กับสับปะรด เกิดปฏิสัมพันธ์แบบรวมฤทธิ์ในทุก pH ในขณะที่พืชผักบางคู่ เกิดทั้งแบบรวมฤทธิ์และต้านฤทธิ์ ปรากฏว่ายอดมะม่วงหิมพานต์กับสับปะรดเกิดปฏิสัมพันธ์แบบเสริมฤทธิ์ในบัฟเฟอร์ pH 3, 6 และในน้ำ

ผลของการศึกษาเมื่อนำสารสกัดผักผลไม้จับคู่กับสับปะรดจำนวน 6 คู่ ในบัฟเฟอร์ pH ต่างๆ ในสภาวะ ที่ผ่านความร้อนและไม่ผ่านความร้อน รวม 24 ทริตเมนต์ พบว่ากรณีที่ผ่านความร้อนเกิดปฏิสัมพันธ์แบบ เสริมฤทธิ์ ในคู่ของชะมวงกับสับปะรดในทริตเมนต์เดียวคือ pH 4 คิดเป็น 4.2% และเกิดปฏิสัมพันธ์แบบรวม ฤทธิ์ 14 ทริตเมนต์ (58.3%) ต้านฤทธิ์ 9 ทริตเมนต์ (37.5%) ที่บัฟเฟอร์ pH ต่างๆ รวมทั้งในน้ำด้วยแต่เมื่อผ่าน ความร้อนปรากฏว่าเกิดปฏิสัมพันธ์แบบเสริมฤทธิ์ 3 ทริตเมนต์ (12.5%) เฉพาะคู่ของยอดมะม่วงหิมพานต์กับ สับปะรด เท่านั้น ส่วนปฏิสัมพันธ์แบบรวมฤทธิ์เกิดขึ้น 14 ทริตเมนต์ (58.3%) แบบต้านฤทธิ์มี 7 ทริตเมนต์ (29.2%)

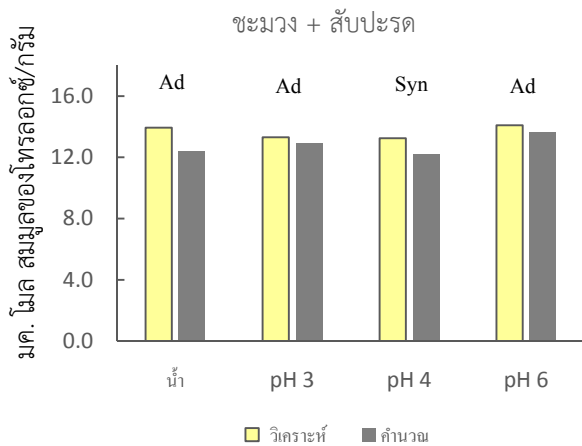
ตารางที่ 11 ปฏิสัมพันธ์ของฤทธิ์ด้านสารอนุมูลอิสระของสารสกัดผักผลไม้จับคู่กับสับปะรดในบัฟเฟอร์ pH ต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างสภาวะไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน

ชนิด	สภาวะ		ORAC ($\mu\text{molTE/g}$)			
			Control(น้ำ)	pH3	pH4	pH6
ชมวง+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	13.94 $\pm$ 0.65 Ad	13.31 $\pm$ 0.30 Ad	13.24 $\pm$ 0.39* Syn	14.09 $\pm$ 0.59 Ad
		คำนวณ	12.41	12.91	12.20	13.62
	121 $^{\circ}$ ซ,	วิเคราะห์	15.01 $\pm$ 0.60 Ad	14.38 $\pm$ 0.39 Ad	13.86 $\pm$ 0.93 Ad	16.09 $\pm$ 2.84 Ad
	15นาท	คำนวณ	14.53	14.59	13.78	13.98
มันปู+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	12.99 $\pm$ 0.89 Ad	12.32 $\pm$ 0.53 Ad	12.14 $\pm$ 0.32 Ad	12.89 $\pm$ 0.67* An
		คำนวณ	12.23	12.88	12.18	13.77
	121 $^{\circ}$ ซ,	วิเคราะห์	15.44 $\pm$ 1.00 Ad	15.20 $\pm$ 1.06 Ad	13.53 $\pm$ 0.32 Ad	16.31 $\pm$ 1.77 Ad
	15นาท	คำนวณ	14.25	14.44	13.76	14.52
ยอดมะม่วง- หิมพานต์+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	13.55 $\pm$ 0.90 Ad	13.25 $\pm$ 0.25 Ad	12.66 $\pm$ 0.07* An	13.81 $\pm$ 0.77 Ad
		คำนวณ	12.99	13.23	12.97	14.46
	121 $^{\circ}$ ซ,	วิเคราะห์	16.41 $\pm$ 0.93* Syn	16.71 $\pm$ 1.17* Syn	15.24 $\pm$ 0.92 Ad	16.72 $\pm$ 0.78* Syn
	15นาท	คำนวณ	14.50	15.04	15.01	15.42
กะหล่ำปลี+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	4.71 $\pm$ 0.32* An	4.66 $\pm$ 0.77 Ad	4.61 $\pm$ 0.65 Ad	4.81 $\pm$ 0.16* An
		คำนวณ	5.45	5.13	5.07	5.79
	121 $^{\circ}$ ซ,	วิเคราะห์	4.38 $\pm$ 0.37* An	4.84 $\pm$ 0.70 Ad	4.02 $\pm$ 1.24* An	5.60 $\pm$ 1.02 Ad
	15นาท	คำนวณ	5.14	5.05	5.58	5.44
มะเฟือง+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	10.23 $\pm$ 0.51 Ad	10.01 $\pm$ 0.24 Ad	9.61 $\pm$ 0.14 Ad	10.41 $\pm$ 1.00* An
		คำนวณ	9.44	9.79	9.43	10.69
	121 $^{\circ}$ ซ,	วิเคราะห์	10.71 $\pm$ 0.67 Ad	10.08 $\pm$ 0.26* An	9.52 $\pm$ 0.10* An	10.91 $\pm$ 1.05 Ad
	15นาท	คำนวณ	11.14	11.33	10.28	10.11
ชมพู+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	4.02 $\pm$ 0.51* An	3.79 $\pm$ 0.48* An	3.78 $\pm$ 0.54* An	3.97 $\pm$ 0.46* An
		คำนวณ	5.06	4.89	4.51	5.32
	121 $^{\circ}$ ซ,	วิเคราะห์	3.93 $\pm$ 0.68* An	4.14 $\pm$ 0.59* An	4.52 $\pm$ 0.79* An	5.28 $\pm$ 0.72 Ad
	15นาท	คำนวณ	4.86	4.72	5.31	5.55

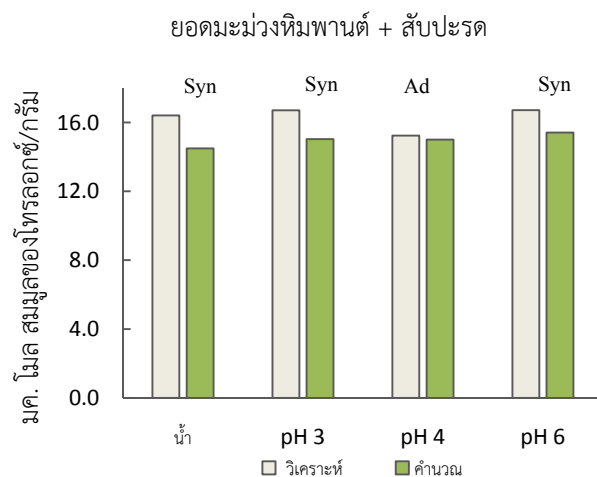
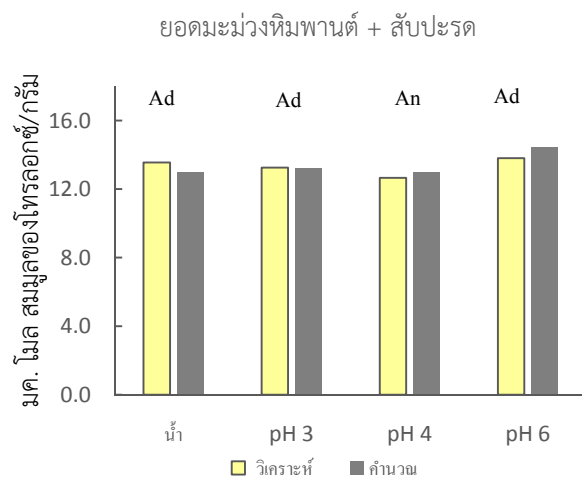
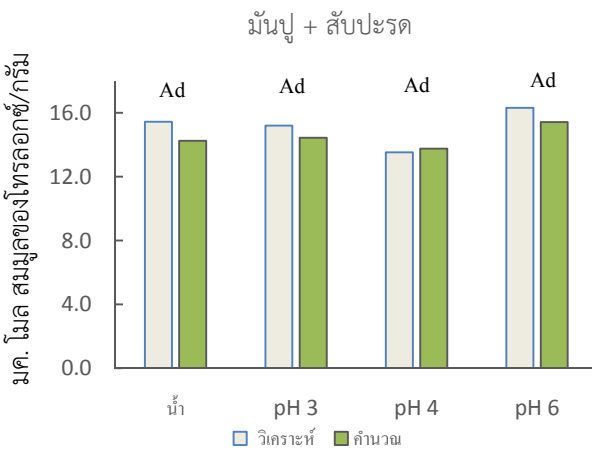
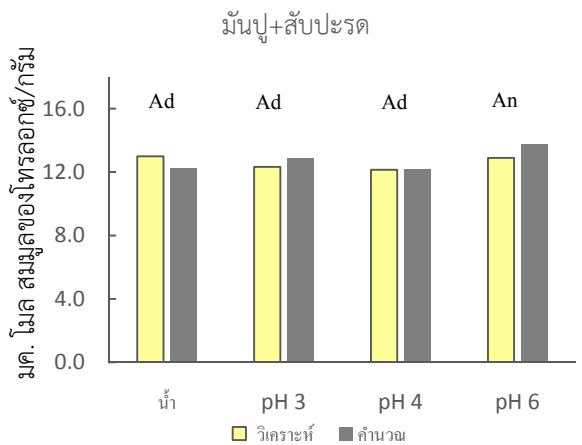
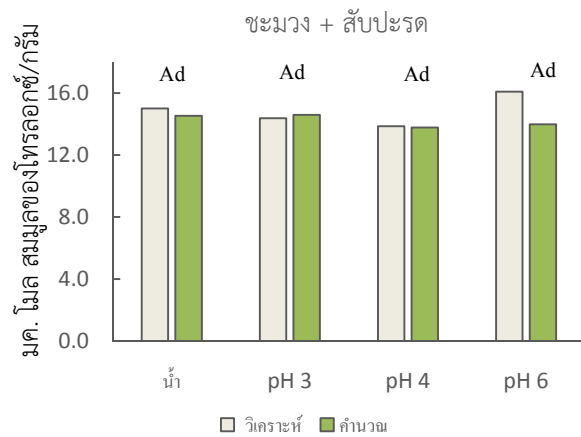
หมายเหตุ : Ad (additive interaction) = รวมฤทธิ์; An (antagonistic interaction) = ต้านฤทธิ์

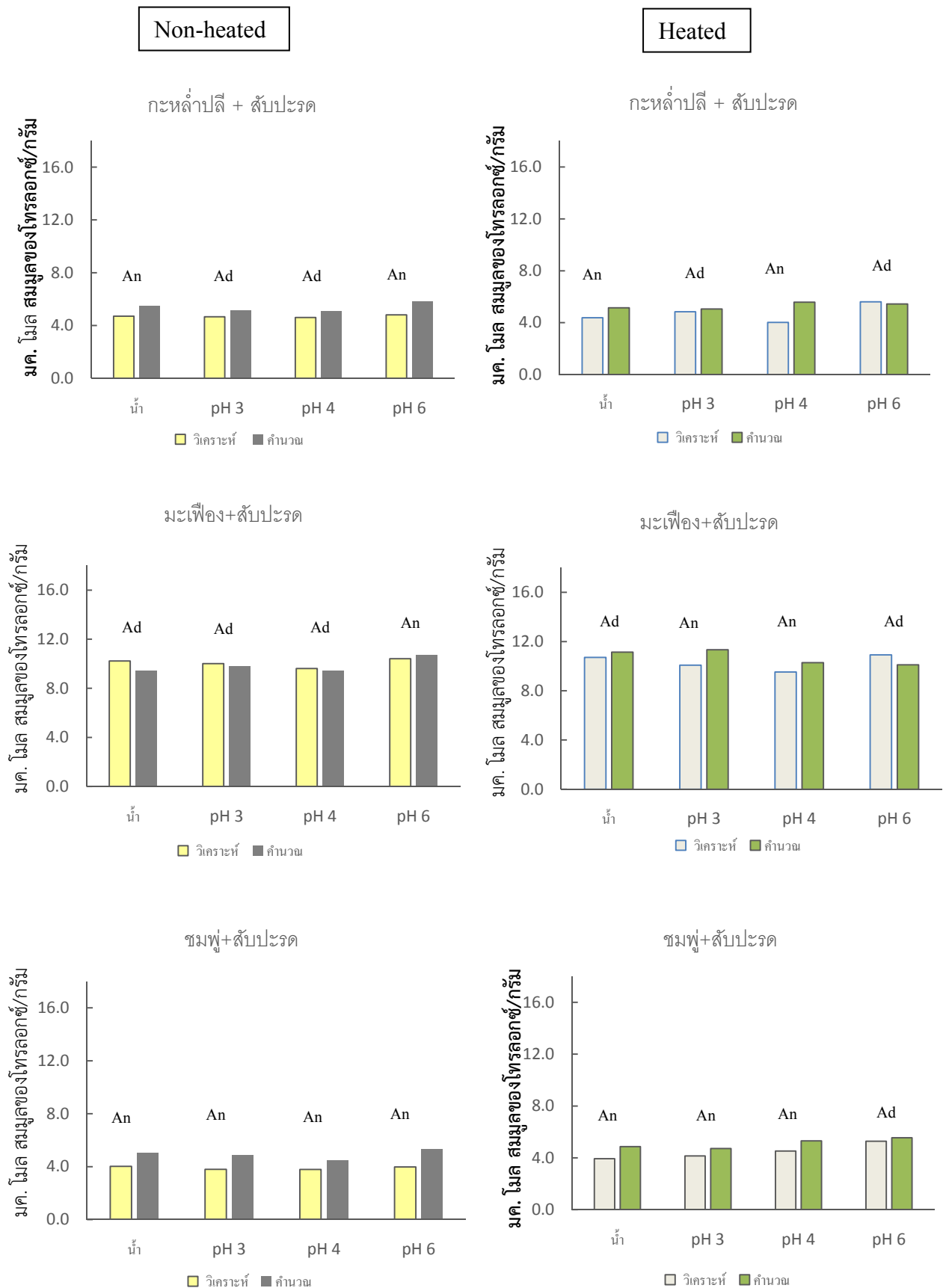
ค่า Mean $\pm$ SD ที่มีเครื่องหมาย *กำกับแสดงว่าค่าจากการวิเคราะห์และการคำนวณมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Non-heated



Heated





ภาพที่ 13 ปฏิสัมพันธ์ของฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระของสารสกัดผักผลไม้จับคู่กับสับปะรดในบัฟเฟอร์ pH ต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างสภาวะไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน

สำหรับการเกิดปฏิสัมพันธ์ของคุณสมบัติในการเป็นตัวรีดิวซ์ของพีชผักจับคู่ (ค่า FRAP) ซึ่งแสดงในตารางที่ 12 ในสภาวะที่ผ่านความร้อนและไม่ผ่านความร้อน ส่งผลให้รูปแบบปฏิสัมพันธ์เปลี่ยนแปลงไปบ้างเล็กน้อย ในจำนวนการจับคู่ทั้งหมด 6 คู่ กรณีที่ไม่ผ่านความร้อนเกิดปฏิสัมพันธ์เสริมฤทธิ์ 2 คู่ คือกะหล่ำปลีกับสับปะรด (ในน้ำ) และชมพูกับสับปะรด (ในน้ำและ pH 4) แต่เมื่อผ่านความร้อนปรากฏว่าไม่พบการเกิดปฏิสัมพันธ์เสริมฤทธิ์

ตารางที่12 ปฏิสัมพันธ์ของคุณสมบัติรีดิวซ์ (ค่า FRAP) ของสารสกัดสับปะรดจับคู่กับผักผลไม้ ในบัฟเฟอร์ pH ต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างสภาวะไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน

ตัวอย่าง	สภาวะ		FRAP ($\mu\text{molAAE/g}$)			
			Control (น้ำ)	pH3	pH4	pH6
ชะมวง+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	2.97 $\pm$ 0.21	2.94 $\pm$ 0.17	2.92 $\pm$ 0.21	2.92 $\pm$ 0.27
		คำนวณ	2.79	2.69	2.73	3.02
	121 °ซ 15 นาที	วิเคราะห์	2.60 $\pm$ 0.34	2.59 $\pm$ 0.30	2.88 $\pm$ 0.48	3.09 $\pm$ 0.37
		คำนวณ	2.66	2.84	2.79	3.22
มันปู+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	8.98 $\pm$ 0.49*	8.96 $\pm$ 0.51*	8.67 $\pm$ 0.60	8.37 $\pm$ 0.49*
		คำนวณ	9.97	9.85	9.45	9.19
	121 °ซ 15 นาที	วิเคราะห์	9.62 $\pm$ 0.47	10.40 $\pm$ 0.84	9.39 $\pm$ 0.79	9.83 $\pm$ 0.84*
		คำนวณ	10.06	9.76	9.81	10.89
ยอดมะม่วง- หิมพานต์+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	8.28 $\pm$ 0.79	8.24 $\pm$ 0.30*	8.27 $\pm$ 0.85	8.31 $\pm$ 0.86
		คำนวณ	9.78	9.99	9.10	9.92
	121 °ซ 15 นาที	วิเคราะห์	11.00 $\pm$ 0.97	10.10 $\pm$ 0.92	10.62 $\pm$ 0.91	9.75 $\pm$ 0.94*
		คำนวณ	9.57	9.77	11.21	11.80
กะหล่ำปลี+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	1.45 $\pm$ 0.03*	1.41 $\pm$ 0.09	1.38 $\pm$ 0.08	1.74 $\pm$ 0.09
		คำนวณ	1.34	1.35	1.35	1.77
	121 °ซ 15 นาที	วิเคราะห์	1.31 $\pm$ 0.20	1.53 $\pm$ 0.35	1.49 $\pm$ 0.15	1.64 $\pm$ 0.29
		คำนวณ	1.30	1.43	1.53	1.67
มะเฟือง+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	2.44 $\pm$ 0.26	2.50 $\pm$ 0.24	2.37 $\pm$ 0.24	2.56 $\pm$ 0.23
		คำนวณ	2.53	2.39	2.48	2.67
	121 °ซ 15 นาที	วิเคราะห์	2.17 $\pm$ 0.20	2.35 $\pm$ 0.18	2.23 $\pm$ 0.17	2.42 $\pm$ 0.32
		คำนวณ	2.22	2.47	2.30	2.53
ชมพู+ สับปะรด	-	วิเคราะห์	2.57 $\pm$ 0.29*	2.57 $\pm$ 0.34	2.60 $\pm$ 0.31*	2.40 $\pm$ 0.37
		คำนวณ	2.20	2.26	2.16	2.19
	121 °ซ 15 นาที	วิเคราะห์	2.21 $\pm$ 0.26	2.30 $\pm$ 0.32	2.45 $\pm$ 0.26	2.47 $\pm$ 0.34
		คำนวณ	2.03	2.03	2.33	2.66

หมายเหตุ : Ad (additive interaction) = รวมฤทธิ์; An (antagonistic interaction) = ต้านฤทธิ์

ค่า Mean $\pm$ SD ที่มีเครื่องหมาย * กำกับแสดงว่าค่าจากการวิเคราะห์และการคำนวณมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลของ pH ที่มีปริมาณสารฟีนอลิกและคุณสมบัติต้านสารอนุมูลอิสระของสารสกัดสับปะรดจับคู่กับผักผลไม้

การศึกษาผลของ pH ที่มีต่อปริมาณสารฟีนอลิก ค่า ORAC และค่า FRAP ของผักผลไม้จับคู่ทั้ง 6 คู่ (ตารางที่ 13) กรณีไม่ให้ความร้อนพบว่าปริมาณสารฟีนอลิกของสับปะรดจับคู่กับผักผลไม้ทั้งหมดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นชมพูกับสับปะรด ในขณะที่ค่า ORAC ที่ pH ต่างๆ ของผักผลไม้เกือบทุกคู่ไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากมะเฟืองกับสับปะรดเท่านั้น ที่ pH ต่างๆ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับค่า FRAP ของพืชผักจับคู่ทั้งหมดนั้น ปรากฏว่า pH ไม่มีผลทำให้เกิดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกะหล่ำปลีกับสับปะรดมีค่า FRAP ที่ pH 6 สูงกว่าที่ pH อื่นๆ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

กรณีการให้ความร้อน พบว่า pH ส่งผลให้ปริมาณสารฟีนอลิก และ ORAC ของกะหล่ำปลีกับสับปะรด และชมพูกับสับปะรดเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 13 กล่าวโดยสรุปได้ว่าผักผสม 2 คู่ คือยอดมะม่วงหิมพานต์กับสับปะรด และมันปูกับสับปะรด มีปริมาณสารฟีนอลิกสูงกว่าคู่อื่นๆ ให้ฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระคือค่า ORAC และ FRAP สูง นั่นคือหากนำไปใช้ประโยชน์เติมสารสกัดคู่ผสมดังกล่าวนี้ปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ทำให้ค่า ORAC และ FRAP เพิ่มขึ้นได้ แม้ว่าผักยอดมะม่วงหิมพานต์และมันปูมีข้อจำกัดคือรสฝาด

ในขณะที่ผักผสม 2 คู่คือชะมวงกับสับปะรด และมะเฟืองกับสับปะรด มีปริมาณสารฟีนอลิกค่อนข้างต่ำ แต่มีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี ORAC มีค่าสูง และผักผลไม้ผสมทั้ง 2 คู่ นี้ ไม่มีรสฝาด จึงไม่มีข้อจำกัดด้านปริมาณ

ตารางที่ 13 ผลของ pH ที่มีต่อปริมาณสารฟีนอลิกค่า ORAC และ ค่า FRAP ของผักผลไม้จับคู่กับสับปะรดโดยเปรียบเทียบระหว่างไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน

ชนิด	สภาวะ	pH	TPC (mg GAE/g)		ORAC ($\mu\text{molTE/g}$)		FRAP ($\mu\text{molAAE/g}$)	
ชะมวง+สับปะรด	-	control	0.66 $\pm$ 0.02	ns	13.94 $\pm$ 0.65	ns	2.97 $\pm$ 0.21	ns
		pH 3	0.66 $\pm$ 0.03		13.31 $\pm$ 0.30		2.94 $\pm$ 0.17	
		pH 4	0.67 $\pm$ 0.02		13.24 $\pm$ 0.39		2.92 $\pm$ 0.21	
		pH 6	0.68 $\pm$ 0.01		14.09 $\pm$ 0.59		2.92 $\pm$ 0.27	
	121 $^{\circ}\text{C}$, 15 นาที	control	0.71 $\pm$ 0.02	ns	15.01 $\pm$ 0.60	ns	2.60 $\pm$ 0.34	ns
		pH 3	0.71 $\pm$ 0.01		14.38 $\pm$ 0.39		2.59 $\pm$ 0.30	
		pH 4	0.70 $\pm$ 0.03		13.86 $\pm$ 0.93		2.88 $\pm$ 0.48	
		pH 6	0.75 $\pm$ 0.07		16.09 $\pm$ 2.84		3.09 $\pm$ 0.37	
มันปู+สับปะรด	-	control	1.50 $\pm$ 0.05	ns	12.99 $\pm$ 0.89	ns	8.98 $\pm$ 0.49	ns
		pH 3	1.53 $\pm$ 0.03		12.32 $\pm$ 0.53		8.96 $\pm$ 0.51	
		pH 4	1.52 $\pm$ 0.04		12.14 $\pm$ 0.32		8.67 $\pm$ 0.60	
		pH 6	1.57 $\pm$ 0.06		12.89 $\pm$ 0.67		8.37 $\pm$ 0.49	
	121 $^{\circ}\text{C}$, 15 นาที	control	1.53 $\pm$ 0.03	ns	15.44 $\pm$ 1.00	ab	9.62 $\pm$ 0.47	ns
		pH 3	1.62 $\pm$ 0.06		15.20 $\pm$ 1.06	ab	10.40 $\pm$ 0.84	
		pH 4	1.51 $\pm$ 0.07		13.53 $\pm$ 0.32	b	9.39 $\pm$ 0.79	
		pH 6	1.59 $\pm$ 0.06		16.31 $\pm$ 1.77	a	9.83 $\pm$ 0.84	
ยอดมะม่วง - หิมพานต์ +สับปะรด	-	control	1.52 $\pm$ 0.07	ns	13.55 $\pm$ 0.90	ns	8.28 $\pm$ 0.79	ns
		pH 3	1.55 $\pm$ 0.07		13.25 $\pm$ 0.25		8.24 $\pm$ 0.30	
		pH 4	1.57 $\pm$ 0.10		12.66 $\pm$ 0.07		8.27 $\pm$ 0.85	
		pH 6	1.56 $\pm$ 0.11		13.81 $\pm$ 0.77		8.31 $\pm$ 0.86	
	121 $^{\circ}\text{C}$, 15 นาที	control	1.63 $\pm$ 0.09	ns	16.41 $\pm$ 0.93	ns	11.00 $\pm$ 0.97	ns
		pH 3	1.70 $\pm$ 0.11		16.71 $\pm$ 1.17		10.10 $\pm$ 0.92	
		pH 4	1.57 $\pm$ 0.10		15.24 $\pm$ 0.92		10.62 $\pm$ 0.91	
		pH 6	1.57 $\pm$ 0.11		16.72 $\pm$ 0.78		9.75 $\pm$ 0.94	

หมายเหตุ: ค่า Mean $\pm$ SD ในแนวดิ่งที่มีตัวอักษรต่างกันกำกับแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$); ns = แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 13 (ต่อ) ผลของ pH ที่มีต่อปริมาณสารฟีนอลิกค่า ORAC และ ค่า FRAP ของผักผลไม้จับคู่กับสับปะรด โดยเปรียบเทียบระหว่างไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน

ชนิด	สภาวะ		TPC (mg GAE/g)		ORAC ($\mu\text{molTE/g}$)		FRAP ($\mu\text{molAAE/g}$)	
กะหล่ำปลี+สับปะรด	-	control	0.38 $\pm$ 0.01	ns	4.71 $\pm$ 0.32	ns	1.45 $\pm$ 0.03	b
		pH 3	0.39 $\pm$ 0.01		4.66 $\pm$ 0.77		1.41 $\pm$ 0.09	b
		pH 4	0.39 $\pm$ 0.01		4.61 $\pm$ 0.65		1.38 $\pm$ 0.08	b
		pH 6	0.39 $\pm$ 0.01		4.81 $\pm$ 0.16		1.74 $\pm$ 0.09	a
	121 $^{\circ}\text{C}$, 15 นาที	control	0.28 $\pm$ 0.02	b	4.38 $\pm$ 0.37	b	1.31 $\pm$ 0.20	ns
		pH 3	0.34 $\pm$ 0.02	a	4.84 $\pm$ 0.70	ab	1.53 $\pm$ 0.35	
		pH 4	0.32 $\pm$ 0.07	ab	4.02 $\pm$ 1.24	b	1.49 $\pm$ 0.15	
		pH 6	0.36 $\pm$ 0.04	a	5.60 $\pm$ 1.02	a	1.64 $\pm$ 0.29	
	-	control	0.52 $\pm$ 0.05	ns	10.23 $\pm$ 0.51	a	2.44 $\pm$ 0.26	ns
		pH 3	0.52 $\pm$ 0.04		10.01 $\pm$ 0.24	ab	2.50 $\pm$ 0.24	
		pH 4	0.53 $\pm$ 0.04		9.61 $\pm$ 0.14	b	2.37 $\pm$ 0.24	
		pH 6	0.53 $\pm$ 0.03		10.41 $\pm$ 1.00	a	2.56 $\pm$ 0.23	
	121 $^{\circ}\text{C}$, 15 นาที	control	0.51 $\pm$ 0.01	c	10.71 $\pm$ 0.67	ns	2.17 $\pm$ 0.20	ns
		pH 3	0.55 $\pm$ 0.00	b	10.08 $\pm$ 0.26		2.35 $\pm$ 0.18	
		pH 4	0.51 $\pm$ 0.02	c	9.52 $\pm$ 0.10		2.23 $\pm$ 0.17	
		pH 6	0.59 $\pm$ 0.04	a	10.91 $\pm$ 1.05		2.42 $\pm$ 0.32	
ชมพู่+สับปะรด	-	control	0.37 $\pm$ 0.01	ab	4.02 $\pm$ 0.51	ns	2.57 $\pm$ 0.29	ns
		pH 3	0.38 $\pm$ 0.01	a	3.79 $\pm$ 0.48		2.57 $\pm$ 0.34	
		pH 4	0.38 $\pm$ 0.00	a	3.78 $\pm$ 0.54		2.60 $\pm$ 0.31	
		pH 6	0.36 $\pm$ 0.01	b	3.97 $\pm$ 0.46		2.40 $\pm$ 0.37	
	121 $^{\circ}\text{C}$, 15 นาที	control	0.34 $\pm$ 0.02	c	3.93 $\pm$ 0.68	b	2.21 $\pm$ 0.26	ns
		pH 3	0.36 $\pm$ 0.01	bc	4.14 $\pm$ 0.59	b	2.30 $\pm$ 0.32	
		pH 4	0.40 $\pm$ 0.03	b	4.52 $\pm$ 0.79	ab	2.45 $\pm$ 0.26	
		pH 6	0.47 $\pm$ 0.07	a	5.28 $\pm$ 0.72	a	2.47 $\pm$ 0.34	

หมายเหตุ: ค่า Mean $\pm$ SD ในแนวตั้งที่มีตัวอักษรต่างกันกำกับแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$);
ns = แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลของความร้อนที่มีต่อปริมาณสารฟีนอลิกและการต้านอนุมูลอิสระของผักผลไม้จับคู่สับปะรดในบัฟเฟอร์ที่มี pH ต่างๆ

ผลของความร้อนที่มีต่อความคงตัวของปริมาณสารฟีนอลิกของสับปะรดจับคู่ผักผลไม้ ปรากฏว่าค่า TPC ของพืชบางคู่มีค่าสูงขึ้นในน้ำและ pH 3 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ได้แก่ชะมวงกับสับปะรด แต่ความร้อนกลับทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกในน้ำและ pH 3 ของกะหล่ำปลีกับสับปะรด และชมพูกับสับปะรดลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 ผลของความร้อนที่มีต่อปริมาณสารฟีนอลิกของผักผลไม้จับคู่สับปะรดในบัฟเฟอร์ที่มี pH ต่างๆ

ชนิด	สภาวะ	TPC (mg GAE/g)			
		Control (น้ำ)	pH 3	pH 4	pH 6
ชะมวง+สับปะรด	-	0.66±0.02 *	0.66±0.03 *	0.67±0.02 ns	0.68±0.01 ns
	121°C, 15 นาที	0.71±0.02	0.71±0.01	0.70±0.03	0.75±0.07
มันปู+สับปะรด	-	1.50±0.05 ns	1.53±0.03 ns	1.52±0.04 ns	1.57±0.06 ns
	121°C, 15 นาที	1.53±0.03	1.62±0.06	1.51±0.07	1.59±0.06
ยอดมะม่วงหิมพานต์+สับปะรด	-	1.52±0.07 ns	1.55±0.07 ns	1.57±0.10 ns	1.56±0.11 ns
	121°C, 15 นาที	1.63±0.09	1.70±0.11	1.57±0.10	1.57±0.11
กะหล่ำปลี+สับปะรด	-	0.38±0.01 *	0.39±0.01 *	0.39±0.01 ns	0.39±0.01 ns
	121°C, 15 นาที	0.28±0.02	0.34±0.02	0.32±0.07	0.36±0.04
มะเฟือง+สับปะรด	-	0.52±0.05 ns	0.52±0.04 ns	0.53±0.04 ns	0.53±0.03 ns
	121°C, 15 นาที	0.51±0.01	0.55±0.00	0.51±0.02	0.59±0.04
ชมพู+สับปะรด	-	0.37±0.01 *	0.38±0.01 *	0.38±0.00 ns	0.36±0.01 ns
	121°C, 15 นาที	0.34±0.02	0.36±0.01	0.40±0.03	0.47±0.07

หมายเหตุ: ค่า Mean ± SD ที่มีเครื่องหมาย * กำกับแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$);

ns = แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับค่า ORAC ปรากฏว่าความร้อนทำให้ฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระของพืชผักผสมในบัฟเฟอร์ pH ต่างๆ ส่วนใหญ่จะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 15) ได้แก่ ยอดมะม่วงหิมพานต์กับ สับปะรดในน้ำและทุกๆ pH ส่วนมันปูกับสับปะรดสูงขึ้นในน้ำ pH 3 และ pH 6 สำหรับพืชผักคู่อื่นๆก็จะมีการ เพิ่มขึ้นบ้างเล็กน้อย มีการเปลี่ยนแปลงหรือลดลงน้อยมากไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 14-17)

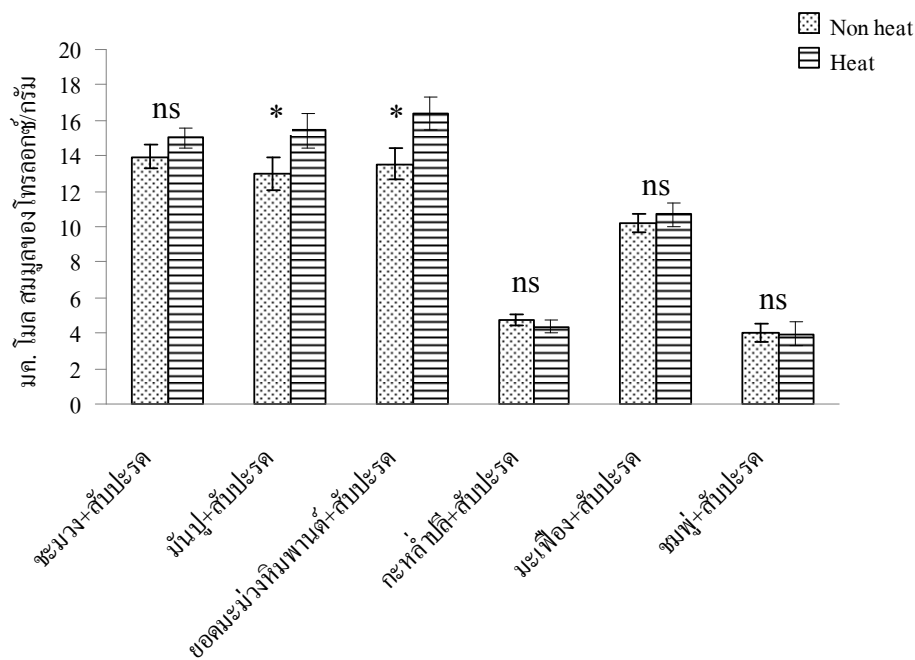
แสดงให้เห็นว่าการใช้ความร้อนอุณหภูมิสูงไม่มีผลทำให้ฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระของพืชผักผสม เปลี่ยนแปลงมากนักพบว่ายอดมะม่วงหิมพานต์กับสับปะรดที่มีค่า ORAC เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทุก pH และมันปูกับสับปะรดมีค่า ORAC เพิ่มขึ้นเกือบทุก pH ส่วนพืชผสมที่เหลือมีการ เปลี่ยนแปลงแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 15 ผลของความร้อนที่มีต่อค่า ORAC ของสับปะรดจับคู่ผักผลไม้ในบัฟเฟอร์ที่มี pH ต่างๆ

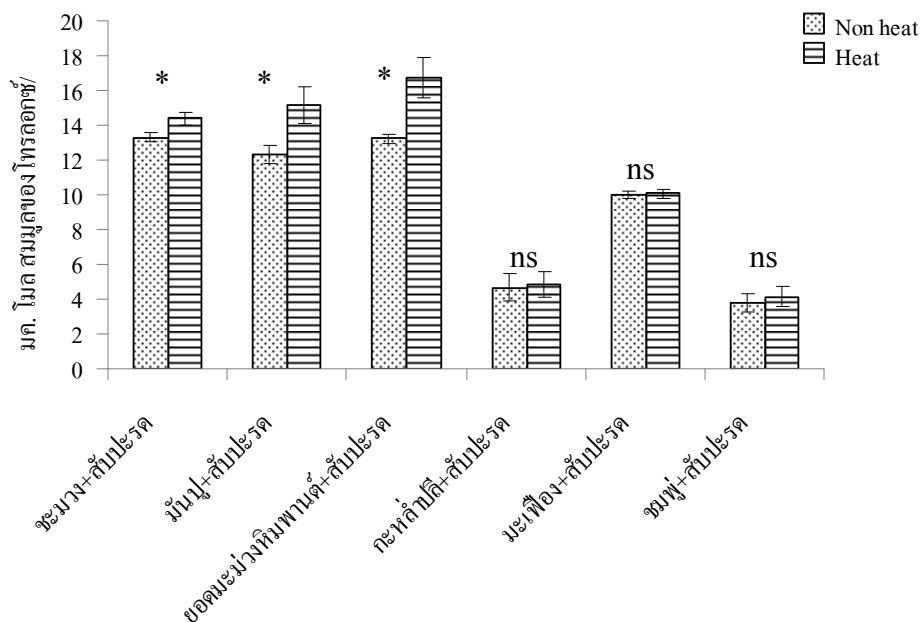
ชนิด	สถานะ	ORAC ($\mu\text{molTE/g}$)			
		Control(น้ำ)	pH3	pH4	pH6
ชะมวง+สับปะรด	- 121°C, 15 นาที	13.94±0.65 ns	13.31±0.30*	13.24±0.39 ns	14.09±0.59 ns
		15.01±0.60	14.38±0.39	13.86±0.93	16.09±2.84
มันปู+สับปะรด	- 121°C, 15 นาที	12.99±0.89*	12.32±0.53*	12.14±0.32	12.89±0.67*
		15.44±1.00	15.20±1.06	13.53±0.32	16.31±1.77
ยอดมะม่วงหิม พานต์+สับปะรด	- 121°C, 15 นาที	13.55±0.90*	13.25±0.25*	12.66±0.07*	13.81±0.77*
		16.41±0.93	16.71±1.17	15.24±0.92	16.72±0.78
กะหล่ำปลี+ สับปะรด	- 121°C, 15 นาที	4.71±0.32 ns	4.66±0.77 ns	4.61±0.65 ns	4.81±0.16 ns
		4.38±0.37	4.84±0.70	4.02±1.24	5.60±1.02
มะเฟือง+สับปะรด	- 121°C, 15 นาที	10.23±0.51 ns	10.01±0.24 ns	9.61±0.14 ns	10.41±1.00 ns
		10.71±0.67	10.08±0.26	9.52±0.10	10.91±1.05
ชมพู+สับปะรด	- 121°C, 15 นาที	4.02±0.51 ns	3.79±0.48 ns	3.78±0.54 ns	3.97±0.46*
		3.93±0.68	4.14±0.59	4.52±0.79	5.28±0.72

หมายเหตุ: ค่า Mean $\pm$ SD ที่มีเครื่องหมาย * กำกับแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$);

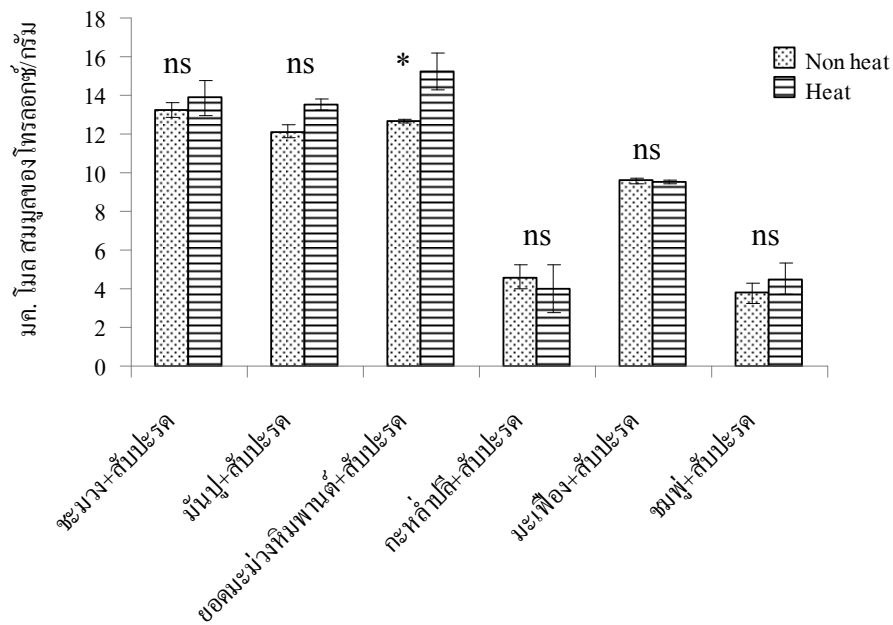
ns = แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ



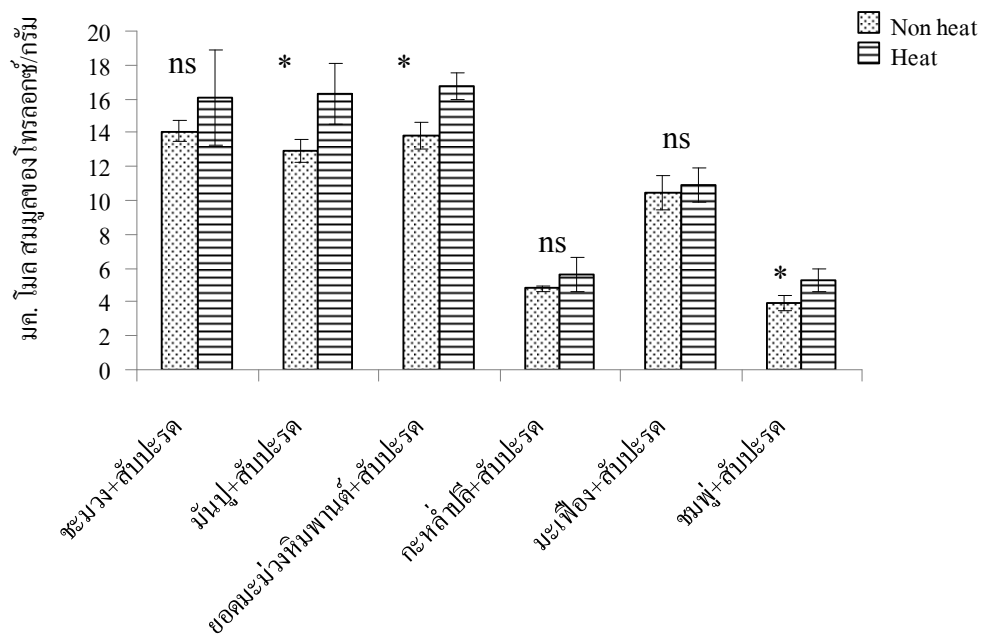
ภาพที่ 14 ค่า ORAC ของสารสกัดผักผลไม้จับคู่สับปะรดในน้ำ (control) เปรียบเทียบระหว่างไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน; * ค่า ORAC แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 15 ค่า ORAC ของสารสกัดผักผลไม้จับคู่สับปะรดในบัฟเฟอร์ pH 3 เปรียบเทียบระหว่างไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน; * ค่า ORAC แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 16 ค่า ORAC ของสารสกัดผักผลไม้จับคู่สับปะรดในบัฟเฟอร์ pH 4 เปรียบเทียบระหว่างไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน; * ค่า ORAC แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 17 ค่า ORAC ของสารสกัดสับปะรดจับคู่ผักผลไม้ในบัฟเฟอร์ pH 6 เปรียบเทียบระหว่างไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน; * ค่า ORAC แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

คุณสมบัติในการรีดิวส์ (ค่า FRAP) แสดงผลในตารางที่ 16พบว่าพืชสมบางคู่มีค่า FRAP เพิ่มขึ้น ในบาง pH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ได้แก่ ยอดมะม่วงหิมพานต์กับสับปะรดและมันปูกับสับปะรด ส่วนพืชผักผสมที่เหลือส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

ตารางที่ 16 ผลของความร้อนที่มีต่อค่า FRAP ของผักผลไม้จับคู่สับปะรดในบัฟเฟอร์ที่มี pH ต่างๆ

ชนิด	สถานะ	FRAP ($\mu\text{molAAE/g}$)			
		Control (น้ำ)	pH 3	pH 4	pH 6
ชะมวง+สับปะรด	-	2.97 $\pm$ 0.21 ns	2.94 $\pm$ 0.17 ns	2.92 $\pm$ 0.21 ns	2.92 $\pm$ 0.27 ns
	121°C, 15 นาที	2.60 $\pm$ 0.34	2.59 $\pm$ 0.30	2.88 $\pm$ 0.48	3.09 $\pm$ 0.37
มันปู+สับปะรด	-	8.98 $\pm$ 0.49 ns	8.96 $\pm$ 0.51 *	8.67 $\pm$ 0.60 ns	8.37 $\pm$ 0.49 *
	121°C, 15 นาที	9.62 $\pm$ 0.47	10.40 $\pm$ 0.84	9.39 $\pm$ 0.79	9.83 $\pm$ 0.84
ยอดมะม่วงหิมพานต์+สับปะรด	-	8.28 $\pm$ 0.79 *	8.24 $\pm$ 0.30 *	8.27 $\pm$ 0.85 *	8.31 $\pm$ 0.86 ns
	121°C, 15 นาที	11.00 $\pm$ 0.97	10.10 $\pm$ 0.92	10.62 $\pm$ 0.91	9.75 $\pm$ 0.94
กะหล่ำปลี+สับปะรด	-	1.45 $\pm$ 0.03 ns	1.41 $\pm$ 0.09 ns	1.38 $\pm$ 0.08 ns	1.74 $\pm$ 0.09 ns
	121°C, 15 นาที	1.31 $\pm$ 0.20	1.53 $\pm$ 0.35	1.49 $\pm$ 0.15	1.64 $\pm$ 0.29
มะเฟือง+สับปะรด	-	2.44 $\pm$ 0.26 ns	2.50 $\pm$ 0.24 ns	2.37 $\pm$ 0.24 ns	2.56 $\pm$ 0.23 ns
	121°C, 15 นาที	2.17 $\pm$ 0.20	2.35 $\pm$ 0.18	2.23 $\pm$ 0.17	2.42 $\pm$ 0.32
ชมพู่+สับปะรด	-	2.57 $\pm$ 0.29 *	2.57 $\pm$ 0.34 ns	2.60 $\pm$ 0.31 ns	2.40 $\pm$ 0.37 ns
	121°C, 15 นาที	2.21 $\pm$ 0.26	2.30 $\pm$ 0.32	2.45 $\pm$ 0.26	2.47 $\pm$ 0.34

หมายเหตุ: ค่า Mean $\pm$ SD ที่มีเครื่องหมาย * กำกับแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$);

ns = แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะการนำไปใช้ประโยชน์

1. ผักจำนวน 4 ชนิดและผลไม้จำนวน 3 ชนิด ที่นำมาศึกษา พบว่าสารสกัดผักพื้นบ้าน 3 ชนิดมีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระอยู่ระหว่าง 3.89 - 261.25 ไมโครโมลสมมูลของโทรลล็อกซ์/ กรัม น้ำหนักสด โดยผักพื้นบ้านที่มีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระสูงสุด ได้แก่ยอดมะม่วงหิมพานต์ รองลงมาคือใบมันปู และใบชะมวง ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากะหล่ำปลีอยู่ในช่วง 41 - 67 เท่า ส่วนผลไม้มีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระอยู่ระหว่าง 4.71 - 20.35 ไมโครโมลสมมูลของโทรลล็อกซ์/ กรัม โดยมะเฟืองมีค่าสูงกว่าประมาณ 4 - 4.3 เท่าของสับปะรดและชมพู พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกผักและผลไม้สอดคล้องไปทางเดียวกับคุณสมบัติในการรีดิวซ์ (FRAP) ในขณะที่ค่า ORAC มีความสัมพันธ์ไปทางเดียวกันกับปริมาณสารฟีนอลิกและค่า FRAP ทั้งในกลุ่มผลไม้และกลุ่มผัก ยกเว้นชะมวง
2. pH ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระในผักผลไม้ส่วนใหญ่ที่นำมาศึกษา และพบว่าความร้อนทำให้ค่า ORAC ของสารสกัดชะมวง มันปู ยอดมะม่วงหิมพานต์ เพิ่มขึ้น ดังนั้นผักทั้ง 3 ชนิด จึงมีศักยภาพที่จะนำไปใช้เพิ่มสารฟีนอลิกที่ให้ฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระในอาหารต่างๆได้
3. การจับคู่ระหว่างสารสกัดผักและผลไม้ภายในกลุ่มเดียวกันและไขว้กลุ่ม โดยไม่มี pH และความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องจะไม่พบปฏิสัมพันธ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระแบบเสริมฤทธิ์ แต่เมื่อทำการศึกษาผักผลไม้จับคู่กับสับปะรด ที่ pH 3 ระดับ พบว่าเกิดปฏิสัมพันธ์แบบเสริมฤทธิ์ในชะมวงกับสับปะรดที่ pH 4 เท่านั้น เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121°C เกิดปฏิสัมพันธ์แบบเสริมฤทธิ์ในยอดมะม่วงหิมพานต์กับสับปะรดที่บัฟเฟอร์ pH 3, 6 และในน้ำ

ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการรับประทานผักผลไม้ผสมกัน มีโอกาสที่จะได้รับคุณค่าทางสุขภาพคือฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น ข้อเสนอแนะมีดังนี้
กรณีรับประทานสด

การรับประทานใบมันปู ยอดมะม่วงหิมพานต์ และใบชะมวง ร่วมกับผักชนิดอื่นๆ มีแนวโน้มทำให้เกิดฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ (ค่า ORAC) สูงขึ้น หากเป็นผลไม้ก็แนะนำให้รับประทานคู่กับมะเฟือง
กรณีที่จะพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร/ เครื่องดื่ม

แนะนำให้เลือกใช้น้ำสกัดจากยอดมะม่วงหิมพานต์ผสมกับน้ำสับปะรดจะเกิดปฏิสัมพันธ์แบบเสริมฤทธิ์ของต้านอนุมูลอิสระ รองลงมาคือน้ำสกัดจากใบมันปูผสมกับน้ำสับปะรด ทั้ง 2 คู่ นี้มีปริมาณสารฟีนอลิกสูง ให้ฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระสูง แต่มีข้อจำกัดคือรสฝาด นอกจากนี้ยังมีผักผสมอีก 2 คู่ ที่น่าสนใจคือ คือน้ำสกัดจากชะมวงกับน้ำสับปะรด และน้ำมะเฟืองกับน้ำสับปะรด ทั้ง 2 คู่ นี้แม้ว่าจะมีปริมาณสารฟีนอลิกค่อนข้างต่ำ แต่ประสิทธิภาพในการให้ฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระคือค่า ORAC สูง ที่สำคัญไม่มีรสฝาด

สำหรับผักและผลไม้ที่ควรหลีกเลี่ยงการรับประทานร่วมกันเนื่องจากมีโอกาสเกิดปฏิสัมพันธ์แบบต้านฤทธิ์ของต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ใบชะมวงกับมะเฟือง และชมพูกับสับปะรด

เอกสารอ้างอิง

- เกศศิณี ตรีกุลทิวากร และจันทร์เพ็ญ ศักดิ์สิทธิพิทักษ์ 2543 ศักยภาพในการต้านสารอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผักพื้นบ้านไทย อาหาร 30 (3): 164 – 178
- Alothman, M., Bhat, R. and Karim, A.A. 2009. Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents. Food Chem. 115: 785–788.
- Chen, Z-Y., Zhu, Q.Y., Tsang, D. and Huang, Y. 2001. Degradation of green tea catechins in tea drinks. J. Agric. Food Chem. 49: 477-482.
- Cirico, T.L., and Omaye, S.T. 2006. Additive or synergetic effects of phenolic compounds on human low density lipoprotein oxidation. Food Chem. Toxicol. 44: 510–516.
- Contreras-Calderón, J., Calderón-Jaimes, L., Guerra-Hernández, E. and García-Villanova, B. 2011. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. Food Res. Int. 44: 2047–2053.
- Deng, G-F., Lin, X., Xu, X-R, Gao, L-L, Xie, J-F. and Li, H-B. 2013. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 56 vegetables. J. Funct. Foods. 5: 260-266.
- Gil, M.I., Tomas-Barberan, F.A., Hess-Pierce, B. and Kader, A.A., 2002. Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California. Journal of Agricultural and Food Chem. 50: 4976–4982.
- Heo, H.J., Kim, Y.J., Chung, D. and Kim, D-O. 2007. Antioxidant capacities of individual and combined phenolics in a model system. Food Chem. 104: 87-92.
- Hossain, M.B., Barry-Ryan, C., Martin-Diana, A.B. and Brunton, N.P. 2010. Effect of drying method on the antioxidant capacity of six Lamiaceae herbs. Food Chem. 123: 85–91.
- Huang, D., Ou, B., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J.A. and Deemer, E.K. 2002. Development and validation of oxygen radical absorbance capacity assay for lipophilic antioxidants using randomly methylated β -cyclodextrin as the solubility enhancer. J. Agric. Food Chem. 50: 1815-1821.
- Hu, C. and Kitts, D.D. 2001. Evaluation of antioxidant activity of epigallocatechin gallate in biphasic model systems in vitro. Mol Cell Biochem. 218: 147-55.
- Isabelle, M., Lee, B.L., Lim, M.T., Koh, W-P., Huang, D. and Ong, C.N. 2010a. Antioxidant activity and profiles of common fruits in Singapore. Food Chem. 123: 77-84.
- Isabelle, M., Lee, B.L., Lim, M.T., Koh, W-P., Huang, D. and Ong, C.N. 2010b. Antioxidant activity and profiles of common vegetables in Singapore. Food Chem. 120: 993–1003.
- Jayasinghe, C., Gotoh, N. Aoki, T. and Wada, S. 2003. Phenolics composition and antioxidant activity of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) J. Agric. Food Chem. 51: 4442-4449.

- Jiratanan, T. and Liu, R.H. 2004. Antioxidant activity of processed table beets (*Beta vulgaris* var. *conditiva*) and green bean (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Agric. Food Chem. 52: 2659–2670.
- Johannes, J.L. and Singleton, V.L. 1989. Nonenzymic autooxidative phenolic browning reactions in a caffeic acid model system. J. Agric. Food Chem. 37: 890–896.
- Kikuzaki, H. and Nakatani, N., 1993. Antioxidant effects of some ginger constituents. J. Food Sci. 58: 1407–1410.
- Leong, L.P. and Shui, G. 2002. An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. Food Chem. 76: 69–75.
- Lim, Y.Y., Lim, T.T. and Tee, J.J. 2007. Antioxidant properties of several tropical fruits: A comparative study. Food Chem. 103: 1003–1008.
- Maffei, F.R., Carini, M., Aldini, G., Calloni, M.T., Bombardelli, E. and Morazzoni, P. 1998. Sparring effect of procyanidins from *Vitis vinifera* on vitamin E: in vitro studies. Planta Med. 64: 343–347.
- Patthamakanokporn, O., Puwastien, P., Nitithamyong, A. and Sirichakwal, P.P. 2008. Changes of antioxidant activity and total phenolic compounds during storage of selected fruits. J. Food Comp. Anal. 21: 241–248.
- Pinelo, M., Manzocco, L., Nunez, M.J. and Nicoli, M.C. 2004. Interaction among phenols in food fortification: Negative synergism on antioxidant capacity. J. Agric. Food Chem. 52: 1177–1180.
- Reynertson, K.A., Yang, H., Jiang, B., Basile, M.J. and Kennelly, E.J. 2008. Quantitative analysis of antiradical phenolic constituents from fourteen edible Myrtaceae fruits. Food Chem. 109: 883–890.
- Shan, B., Cai, Y.Z., Sun, M. and Corke, H. 2005. Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. J. Agric. Food Chem. 53: 7749–7759.
- Shahidi, F., Chandrika, M. and Wall, D. 2006. Antioxidant activity of white and black sesame seeds and their hull fractions. Food Chem. 99: 478–483.
- Simirgiotis, M.J., Adachi, S., To, S., Yang, H., Reynertson, K.A., Basile, M.J., Gil, R.R., Weinstein, I.B. and Kennelly, E.J. 2008. Cytotoxic chalcones and antioxidants from the fruits of *Syzygium samarangense* (Wax Jambu). Food Chemistry. 107: 813–819.
- Singleton, V.L. and Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. Am. J. Enol. 16: 144–158.
- Tangkanakul, P., Trakoontivakorn, G., Auttaviboonkul, P., Niyomvit, B. and Wongkrajang, K. 2006. Antioxidant activity of northern and northeastern Thai foods containing indigenous vegetables. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 40 (Suppl.): 47 – 58.

- Tangkanakul, P., Trakoontivakorn, G., Saenprakai, J., Auttaviboonkul, P., Niyomwit, B., Lowvitoon, N. and Nakahara, K. 2011. Antioxidant capacity and antimutagenicity of thermal processed Thai foods. JARQ 45: 211 – 218.
- Tangkanakul, P. and Trakoontivakorn, G. 2014. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of vegetables, herbs and spices in 18 traditional Thai dishes. Kasetsart J. (Nat. Sci.) (accepted).
- Trakoontivakorn, G., Tangkanakul, P. and Nakahara, K. 2012. Changes of antioxidant capacity and phenolics in *Ocimum* herbs after various cooking methods. JARQ 46 (4): 347 – 353.
- Wang, S., Mecling, K.A., Marcone, M.F., Kakuda, Y. and Tsao, R. 2011. Synergistic, additive, and antagonistic effects of food mixtures on total antioxidant capacities. J. Agric. Food Chem. 59: 960–968.
- Wu, X., Gu, L., Holden, J., Haytowitz, D.B., Gebhardt, S.E., Beecher, G. and Prior, R.L. 2004a. Development of a database for total antioxidant capacity in foods: A preliminary study. Journal of Food Composition and Analysis, 17, 407–422.
- Wu, X., Beecher, G.R., Holden, J. M., Haytowitz, D.B., Gebhardt, S. E., Prior, R.L. 2004b. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States J. Agric. Food Chem. 52: 4026-4037.
- Xu, G., Ren, G., Xu, X., Yuan, H., Wang, Z., Kang, L., Yu, W. and Tian, K. 2010. Combination of curcumin and green tea catechins prevents dimethylhydrazine-induced colon carcinogenesis. Food Chem. Toxicol. 48: 390-395.
- Yang, J. and Liu, R.H. 2009. Synergistic effect of apple extracts and quercetin 3-β-D-glucoside combination on antiproliferative activity in MCF-7 human breast cancer cells in vitro. J. Agric. Food Chem. 57: 8581–8586.
- Yang, W-J., Li, D-P., Li, J-K., Li, M-K., Chen, Y-L. and Zhang, P-Z. 2009. Synergistic antioxidant activities of eight traditional chinese herb pairs. Biol. Pharm. Bull. 32 (6): 1021-1026.
- Yanishlieva, N., Marinova, E. and Porkorny, J., 2006. Natural antioxidants from herbs and spices. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 108: 776–793.
- Zheng, W. and Wang, S.Y. 2001. Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. J. Agric. Food Chem. 49: 5165–5170.

ส่วน ข : ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ นางสาวเพลินใจ ตั้งคณะกุล
Miss Plernchai Tangkanakul
2. รหัสประจำตัวนักวิจัยแห่งชาติ 39200213
3. ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิจัยเชี่ยวชาญ
4. หน่วยงานที่อยู่ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
โทรศัพท์/โทรสาร 0 2942 8630-5 ต่อ 814
E-mail : ifrplt@ku.ac.th
5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2521	ปริญญาตรี	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วทบ.)	เทคนิคการแพทย์	-	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย
2524	ปริญญาโท	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วทม.)	โภชนศาสตร์	-	ม.มหิดล	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชา

- พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเชิงฟังก์ชัน (Functional food)

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย: -

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย:

1. การปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการของขนมไทยด้วยข้าวกล้อง ปีที่ 1 (จากชุดโครงการวิจัย การใช้ประโยชน์จากข้าวในการสร้างมูลค่าเพิ่มเพื่อการส่งออก โครงการย่อยที่ 4 การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างและอาหารหวานจากข้าวเพื่อเพิ่มมูลค่า)
2. ฤทธิ์ป้องกันหื่นของสารสกัดผักพื้นบ้านไทย
3. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านในอาหารเนื้อและอีสาน
4. สารต้านออกซิเดชันจากผักบุ้งแดงและยอดกระถินต่อการป้องกันหื่นในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ
5. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้านไทยสร้างสุขภาพชนิดพร้อมบริโภค
6. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารไทยสุขภาพเสริมยุทธศาสตร์ครัวไทยสู่โลก (ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2547 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)

7. พัฒนาลิทธิภัณฑ์อาหารไทยและ เครื่องปรุงรส เพื่อสนับสนุนธุรกิจแฟรนไชส์ในต่างประเทศ (ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2548 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)
8. พัฒนาลิทธิภัณฑ์อาหารไทยจานด่วนเพิ่มศักยภาพการแข่งขันในตลาดต่างประเทศ(ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2549 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)
9. พัฒนาลิทธิภัณฑ์ซูปไทยสุขภาพ (ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2550 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)
10. สำหรับอาหารท้องถิ่นไทยต้านโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง: ค่า ORAC และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส(ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณประจำปี 2552 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)

7.3 ผู้ร่วมโครงการ

1. การวิจัยและพัฒนาคุณภาพและโภชนาการของอาหารไทยเพื่อการส่งออก
2. การปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการของขนมไทยด้วยข้าวกล้อง ปีที่ 2 (จากชุดโครงการวิจัย การใช้ประโยชน์จากข้าวในการสร้างมูลค่าเพิ่มเพื่อการส่งออก โครงการย่อยที่ 4การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างและอาหารหวานจากข้าวเพื่อเพิ่มมูลค่า)
3. Physiological functionalities of indigenous vegetables in Southeast Asia
4. Collection and use of 'wild' vegetable, fruit and mushrooms for health, nutrition, and income among rural households in North and Northeast Thailand

7.4 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว: ชื่อเรื่อง ปีที่พิมพ์ และสถานภาพในการทำวิจัย

1. Tangkanakul,P., Auttaviboonkul, P., Tungtrakul, P., Ruamrux, M.,Hiraga, C.,Thaveesook, K.and Yunchalad, M. 2005. Utilization of fish flour in canned concentrated seasoning stock for Thai food preparation. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 39(2): 308-318.
2. Tangkanakul, P., Trakoontivakorn, G. and Jariyavattanavijit, C. 2005. Extracts of Thai indigenous vegetables as rancid inhibitor in a model system. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 39(2): 274-283.
3. Tangkanakul, P., Trakoontivakorn, G., Auttaviboonkul, P., Niyomwit, B. and Wongkrajang, K. 2006. Antioxidant Activity of Northern and Northeastern Thai Foods Contained Indigenous Vegetables. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 40 (Suppl.): 47 – 58.
4. Tangkanakul, P., Auttaviboonkul, P., Niyomwit, B., Lowvitoon, N., Charoenthamawat, P. and Trakoontivakorn, G. 2009. Antioxidant capacity, total phenolic content and nutritional composition of Asian foods after thermal processing. International Food Research Journal 16: 571-580.
5. Tangkanakul, P., Trakoontivakorn, G., Saenprakai, J., Auttaviboonkul, P., Niyomwit, B., Lowvitoon, N. and Nakahara, K. 2011. Antioxidant capacity and antimutagenicity of thermal processed Thai foods. JARQ 45: 211 – 218.

6. Trakoontivakorn, G., Tangkanakul, P. and Nakahara, K. 2012. Changes of antioxidant capacity and phenolics in *Ocimum* herbs after various cooking methods. JARQ 46 (4): 347 – 353.

คณะผู้ร่วมวิจัย (1)

1. ชื่อ นางสาว เกศศิณี ตระกูลทิวากร
Miss Gassinee Trakoontivakorn
2. รหัสประจำตัวนักวิจัยแห่งชาติ 38-40-0760
3. ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิจัย เชี่ยวชาญ
4. หน่วยงานที่อยู่ สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มก.
โทรศัพท์/โทรสาร 0 2942 8630 ต่อ 814
E-mail address ifrgnt@ku.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา	
2525	ปริญญาตรี	วท.บ. (วิทยาศาสตร์บัณฑิต)	เกษตรศาสตร์ (พืชสวน)	ม.เกษตรศาสตร์	ไทย
2530	โท	MS Master of Science	Food Science	Washington St. University	USA
2536	เอก	Ph.D. Doctor of Philosophy	Food Science	Washington St. University	USA

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชา

Food Chemistry, Functional Food, antioxidant activity and antimutagenicity ในพืช

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย:

1. การใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าผักพื้นบ้านไทย

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย:

1. ฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผักพื้นบ้าน และการวิเคราะห์หาปริมาณกรดออกซาลิก
2. ฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากผักกระโดนน้ำ
3. การใช้ผักพื้นบ้านควบคุมการเจริญเติบโตของมอดในข้าว
4. Physiological functionalities of indigenous vegetables in Southeast Asia

7.3 ผู้ร่วมโครงการ:

1. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเข้าสำเร็จรูปชนิดที่มีแคลเซียมและใยอาหารสูง
2. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้านในอาหารเนื้อและอีสาน
3. การวิจัยและพัฒนาคุณภาพและโภชนาการของอาหารไทยเพื่อการส่งออก
4. ฤทธิ์ป้องกันเหินของสารสกัดผักพื้นบ้านไทย
5. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารไทยสุขภาพเสริมยุทธศาสตร์ครัวไทยสู่โลก(ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2547 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)
6. พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารไทยและ เครื่องปรุงรส เพื่อสนับสนุนธุรกิจแฟรนไชส์ในต่างประเทศ (ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2548 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)
7. พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารไทยจานด่วนเพิ่มศักยภาพการแข่งขันในตลาดต่างประเทศ(ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2549 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)
8. พัฒนาผลิตภัณฑ์ซูบไทยสุขภาพ(ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2550 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)
9. Collection and use of 'wild' vegetable, fruit and mushrooms for health, nutrition, and income among rural households in North and Northeast Thailand

7.4 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว: ชื่อเรื่อง ปีที่พิมพ์

1. Nakahara, K. and Trakoontivakorn, G. 1999. Antioxidative and antimutagenic properties of some local agricultural products in Thailand, pp 138 – 140. In Suzuki, M. and Ando, S. (ed). 1999. Highlight of collaborative Research activities between Thai Research Organizations and JIRCAS. Provided for “JIRCAS Seminar in Bangkok 1999” March 3.
2. Nakahara, K., Trakoontivakorn, G., Alzoreky, N.S. Ono, H., Onishi-Kameyama, M., and Yoshida, M., 2002. Antimutagenicity of some edible Thai plants, and a bioactive carbazole alkaloid, mahanine, isolated from *Micromelum minutum*. J. Agric. Food Chem. 50: 4796-4802.
3. Trakoontivakorn, G., Nakahara, K., Shimoto, H. and Tsushida, T., 1999. Identification of antimutagenic substances (Ames Test) from *Boesenbergia pandurata* Schl. (fingerroot) and *Languas galanga* (galanga). JIRCAS J. 7: 05 – 116.
4. Trakoontivakorn, G., Nakahara, K., Shinmoto, H. and Tsushida, T. 1999. Determination of antimutogenic constituents of fingerroot and galange, in Highlight of Collaborative Research Activities between Thai Research Organizations and JIRCA provided for JIRCAS Seminar in Bangkok 1999, Bangkok, Thailand. 3 March 1999. pp. 138 – 140.
5. Trakoontivakorn, G., Nakahara, K., Shinmoto, H., Takenaka, M., Onishi – Kameyama, M., Ono, H., Yoshida, M., Nagata, T. and Tsushida, T. 2001. Structural analysis of a novel antimutagenic compound, 4-hydroxypanduratin A, and the Antimutagenic Activity of Flavonoids in a Thai Spice, Fingerroot (*Boesenbergiapandurata* Schult.) against Mutagenic Heterocyclic Amines. J. Agric. Food Chem. 49 (6): 3046 – 3050.

6. Tangkanakul, P., Trakoontivakorn, G., Saenprakai, J., Auttaviboonkul, P., Niyomwit, B., Lowviton, N. and Nakahara, K. 2011. Antioxidant capacity and antimutagenicity of thermal processed Thai foods. JARQ 45: 211 – 218.
7. Trakoontivakorn, G., Tangkanakul, P. and Nakahara, K. 2012. Changes of antioxidant capacity and phenolics in *Ocimum* herbs after various cooking methods. JARQ 46 (4): 347 – 353.

คณะผู้ร่วมวิจัย (2)

1. ชื่อ – นามสกุลนายญานิพัรีร์ ปักแก้ว
ชื่อ - นามสกุล Mr. Yathippawi Pakkaew
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 1339900053988
3. ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์
4. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ 0-2942-8629-35 โทรสาร 0-2940-6455
e-mail: tomtams.k@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ	ระดับ ปริญญา	ชื่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบัน	ประเทศ
2551	ปริญญาตรี	วิทยาศาสตร บัณฑิต	คหกรรมศาสตร์ (อาหารและโภชนาการ)	มหาวิทยาลัยราชภัฏ จันทระเกษม	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

ความชำนาญ: การวิจัยทางโภชนาการชุมชน และการพัฒนาตำรับอาหารเพื่อโภชนาการ

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

- โครงการตรวจวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในปัสสาวะและเกลือบรีโกล เพื่อเฝ้าระวังภาวะการขาดสารไอโอดีนในกลุ่มเสี่ยง สำนักโภชนาการ กรมอนามัย
- การประเมินภาวะโภชนาการ พฤติกรรมการบริโภคอาหารที่มีผลต่อภาวะโภชนาการต่ำกว่าเกณฑ์ของเด็กชาวเขาเผ่าอาข่า บ้านแม่เต๋อ อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย