



รายงานการวิจัย เรื่อง

การตรวจสอบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์
เครื่องดื่มน้ำผักและน้ำผลไม้สกัดเข้มข้นเพื่อสุขภาพอย่างรวดเร็วด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปี
อินฟราเรดย่านใกล้

Rapid determination of bioactive compounds and antioxidant capacity in concentrated
vegetables and fruits juice using near infrared spectroscopy

ผศ.ดร. บุศรากรณ์ มหาโยธี

Assistant Professor Busarakorn Mahayothee

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

สถาบัน วิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2558
ภายใต้ชุดโครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาวิธีตรวจสอบอย่างรวดเร็วเพื่อวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทาง
ชีวภาพ ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้

ปีที่ดำเนินการเสร็จ พ.ศ. 2559

รายงานการวิจัย เรื่อง

การตรวจสอบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์
เครื่องดื่มน้ำผักและน้ำผลไม้สกัดเข้มข้นเพื่อสุขภาพอย่างรวดเร็วด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปี
อินฟราเรดย่านใกล้

Rapid determination of bioactive compounds and antioxidant capacity in concentrated
vegetables and fruits juice using near infrared spectroscopy

ผศ.ดร. บุศรากรณ์ มหาโยธี

Assistant Professor Busarakorn Mahayothee

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

สถาบัน วิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2558
ภายใต้ชุดโครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาวิธีตรวจสอบอย่างรวดเร็วเพื่อวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทาง
ชีวภาพ ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

ปีที่ดำเนินการเสร็จ พ.ศ. 2559

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2558 ในการทำวิจัย และให้คำปรึกษาในระหว่างการดำเนินโครงการ และขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีอาหารที่เชื้อเพื่อสถานที่ในการทำวิจัยให้กับโครงการวิจัย

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร

แบบ สว.ว 5

ชื่อโครงการ การตรวจสอบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูล
อิสระในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำผักและน้ำผลไม้สกัดเข้มข้นเพื่อสุขภาพอย่าง
รวดเร็วด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

ชื่อผู้วิจัย ผศ.ดร.บุศราภรณ์ มหาโยธี (หัวหน้าโครงการ)
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

แหล่งทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2557 และ พ.ศ. 2558

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีที่เสร็จ พ.ศ. 2559

ประเภทการวิจัย การวิจัยประยุกต์

สาขาวิชา ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของการใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (near-infrared spectroscopy, NIR) ในการทำนายปริมาณสารที่ออกฤทธิ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำผักและน้ำผลไม้สกัดเข้มข้น โดยทำการวัดสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 800-2500 นาโนเมตร ใช้การวัดในระบบสะท้อนผ่านตัวอย่าง สร้างสมการทำนายด้วยวิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (partial least square regression, PLSR) ผลการศึกษาพบว่าสมการทำนายที่ดีที่สุดในการวิเคราะห์สมการทำนายปริมาณแอนโทไซยานินชนิด cyanidin-3-glucoside ที่ดีที่สุดให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2), ค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (RMSECV), ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (bias) และ ค่าสัดส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มทดสอบสมการ (RPD) ของชุดข้อมูล validation เท่ากับเท่ากับ 0.9037, 23.5 mg cyanidin-3-glucoside/kg sample, 0.504 และ 3.22 ตามลำดับ สมการทำนายปริมาณแอนโทไซยานิน cyanidin-3-rutinoside ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC ที่ดีที่สุดให้ค่า R^2 , RMSECV, Bias และ RPD เท่ากับ 0.8239, 26.2 mg cyanidin-3-rutinoside/kg sample, 0.0703 และ 2.38 ตามลำดับ ส่วนสมการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ดีที่สุดให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.8370, RMSECV เท่ากับ 0.319 g GAE/kg sample, bias เท่ากับ 0.0598 และ RPD เท่ากับ 2.52 และสมการทำนายปริมาณวิตามินซีที่ดีที่สุด มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9860, RMSECV

เท่ากับ 1,630.00 mg ascorbic acid/kg sample, Bias เท่ากับ 351 และค่า RPD เท่ากับ 8.65 ในส่วนความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7604, RMSECV เท่ากับ 5.62 mmol FeSO₄/kg sample, Bias เท่ากับ 0.037 และค่า RPD เท่ากับ 2.04 สมการทำนายปริมาณไลโคปีนของน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นยี่ห้อคาโกเมะที่เหมาะสมให้ค่า R^2 , RMSECV, Bias และ RPD เท่ากับ 0.9122, 1.69 mg lycopene/g sample, 0.0367 และ 3.38 ตามลำดับ ส่วนสมการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ดีที่สุดให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.6544, RMSECV เท่ากับ 0.592 g GAE/kg sample, bias เท่ากับ 0.000279 และ RPD เท่ากับ 1.70 และสมการทำนายปริมาณวิตามินซีที่ดีที่สุด มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8896, RMSECV เท่ากับ 15,500 mg ascorbic acid/kg sample, Bias เท่ากับ -328 และค่า RPD เท่ากับ 3.01 พบว่าสมการทำนายความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ที่มีความเหมาะสมที่สุดให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.4086, RMSECV เท่ากับ 11.3 mmol Trolox equivalents (TE) /kg sample, Bias เท่ากับ 3.76 และค่า RPD เท่ากับ 1.38 ตามลำดับ ในตัวอย่างน้ำทับทิมสกัดเข้มข้นนั้น ผลการสร้างสมการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่เหมาะสมที่สุดให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.8682, RMSECV เท่ากับ 10.2 g GAE/L, bias เท่ากับ 0.135 และ RPD เท่ากับ 1.96 และสมการทำนายค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ที่เหมาะสมที่สุดให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.8384, RMSECV เท่ากับ 846 mL PJ/mol DPPH, bias เท่ากับ -63.6 และ RPD เท่ากับ 2.49 จะเห็นได้ว่าเทคนิค NIR มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ติดตามปริมาณสารที่ออกฤทธิ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในน้ำมัลเบอรี่สกัดเข้มข้น น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้นได้

คำสำคัญ : ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ, วิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายตัวอย่าง, เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

Research Title Rapid determination of bioactive compounds and antioxidant capacity in concentrated vegetables and fruits juice using near infrared spectroscopy

Researcher Assistant Professor Busarakorn Mahayothee
Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

Research Grants Fiscal Budget of Year 2014 and 2015

Research and Development Institute, Silpakorn University

Year of completion 2016

Type of research Applied research

Subjects (based NRCT) Food Technology

Abstract

The objective of this study was to evaluate the feasibility of using FT-NIR spectroscopy to determine the bioactive compounds and antioxidant capacities of concentrated vegetables and fruits juice. Spectrum acquisition was made at wavelength from 800 to 2500 nm in a transmittance mode using an FT-NIR spectrometer. Partial least square regression with a test set validation and full cross validation was performed to develop calibration models. The best models achieved for the anthocyanins content (cyanidin-3-glucoside) gave R^2 of 0.9037, RMSECV of 23.5 mg cyanidin-3-glucoside/kg sample, bias of 0.504 and RPD of 3.22. Therefore, the best models achieved for the anthocyanins content (cyanidin-3-rutinoside) gave R^2 of 0.8239, RMSECV of 26.2 mg cyanidin-3-rutinoside/kg sample, bias of 0.0703 and RPD of 2.38. Besides, the best models achieved for the total phenolic compound gave R^2 of 0.8370, RMSECV of 0.319 g GAE/kg sample, bias of 0.0598 and RPD of 2.52. Thus, the best models achieved for the vitamin c gave R^2 of 0.9860, RMSECV of 1,630.00 mg ascorbic acid/kg sample, bias of 351 and RPD of 8.65, while the best prediction model for FRAP assay was attained with R^2 of 0.7604, RMSECV of 5.62 mmol FeSO_4 /kg sample, bias of 0.037 and RPD of 2.04 respectively. For concentrated tomato juice: the best model was achieved for the lycopene content with R^2 of 0.9122, RMSECV of 1.69 mg lycopene/g sample, Bias of

0.0367, and RPD of 3.38. Therefore, the best models achieved for the total phenolic compound gave R^2 of 0.6544, RMSECV of 0.592 g GAE/kg sample, bias of 0.000279 and RPD of 1.70. Thus, the best models achieved for the vitamin c gave R^2 of 0.8896, RMSECV of 15,500 mg ascorbic acid/kg sample, bias of -328 and RPD of 3.01, while the best prediction model for DPPH radical scavenging capacity was attained with R^2 of 0.4086, RMSECV 11.3 mmol Trolox equivalents (TE) /kg sample, bias of 3.76 and RPD of 1.38 respectively. For concentrated pomegranate juices: the total phenolic compounds was accurately determined using NIRS with R^2 of 0.8682, RMSECV of 10.2 g GAE/L, Bias of 0.135, and RPD of 1.96, Finally, the best prediction model for an antioxidant capacity(EC_{50}) with R^2 of 0.8384, RMSECV of 846 mL PJ/mol DPPH, bias of -63.6 and RPD of 2.49. In conclusion, the NIRS has a potential for monitoring the bioactive compounds and antioxidant capacities of concentrated mulberry juice, concentrated tomato juice and concentrated pomegranate juice.

Keywords : Antioxidant activity, Non-destructive method, Healthy drink

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ง
สารบัญเรื่อง	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 มัลเบอร์รี่	3
2.2 มะเขือเทศ	3
2.3 ทับทิม	4
2.4 การผลิตน้ำผักผลไม้เข้มข้น	4
2.5 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และวิธีวิเคราะห์	5
2.6 ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	6
2.7 เทคนิค NIR และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการทดลอง	15
3.1 วิธีการทดลอง	15
3.1.1 คัดเลือกเครื่องดื่มน้ำผลไม้เข้มข้น และเครื่องดื่มน้ำผักรวมเข้มข้นที่มีขายในท้องตลาด 4 ชนิด	15
3.1.2 ศึกษาวิเคราะห์คุณภาพเริ่มต้นของน้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น	18

สารบัญเรื่อง

	หน้า
3.1.3 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ในการตรวจสอบสารที่ออกฤทธิ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ได้แก่ แอนโทไซยานิน ไลโคปีน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด วิตามินซี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันเบอรรี่สกัดเข้มข้น น้ำมันมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น	18
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	24
4.1 ผลการทดลองและวิจารณ์	24
4.1.1 ศึกษาวิเคราะห์คุณภาพเริ่มต้นของน้ำมันเบอรรี่สกัดเข้มข้น น้ำมันมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น	24
4.1.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการตรวจสอบสารที่ออกฤทธิ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันเบอรรี่สกัดเข้มข้น น้ำมันมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น	25
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	43
5.1 สรุปผล	43
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
บรรณานุกรม	44
ภาคผนวก	51

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	กลุ่มของสารประกอบฟีนอลที่พบในพืช	6
2	งานวิจัยที่แสดงถึงความสามารถของเทคนิค NIR ในการทำนายและตรวจสอบปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ	12
3	การเตรียมตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน	19
4	การเตรียมตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	19
5	ปริมาณกรดแกลลิกที่ใช้ในการศึกษา	20
6	การเตรียมตัวอย่างน้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้นสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี	21
7	การเตรียมตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี	21
8	ข้อมูลค่า Total soluble solids ($^{\circ}$ Brix) และค่า pH ของผลิตภัณฑ์น้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น (n=100)	24
9	ค่าทางสถิติของของปริมาณแอนโทไซยานิน (mg cyanidin-3-glucoside/kg sample), ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg cyanidin-3-rutinoside/kg sample), ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/kg sample), ปริมาณวิตามินซี (mg ascorbic acid/kg sample) และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (mmol FeSO ₄ /kg sample) ในน้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น	30
10	ค่าทางสถิติของของปริมาณไลโคปีน (mg lycopene/g sample), ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/kg sample), ปริมาณวิตามินซี (mg ascorbic acid/kg sample) และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (mmol Trolox equivalents (TE) /kg sample) ในน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น	31
11	ค่าทางสถิติของของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/L) และค่า	32

ตารางที่	หน้า
12	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (EC 50, mL PJ/mol DPPH) ในน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น (n=108) ค่า R^2, RMSECV, Bias, RPD, จำนวนตัวแปรของสมการทำนายค่าด้วยเทคนิค NIR ของปริมาณแอนโทไซยานิน (mg cyanidin-3-glucoside/kg sample), ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg cyanidin-3-rutinoside/kg sample), ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/kg sample), ปริมาณวิตามินซี (mg ascorbic acid/kg sample) และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (mmol FeSO₄/kg sample) ในน้ำมัลเบอรี่สกัดเข้มข้น
13	ค่า R^2, RMSECV, Bias, RPD, จำนวนตัวแปรของสมการทำนายค่าด้วยเทคนิค NIR ของปริมาณไลโคปีน (mg lycopene/g sample), ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/kg sample), ปริมาณวิตามินซี (mg ascorbic acid/kg sample) และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (mmol Trolox equivalents (TE) /kg sample) ในน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น
14	ค่า R^2, RMSECV, Bias, RPD, จำนวนตัวแปรของสมการทำนายค่าด้วยเทคนิค NIR ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/L) และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (EC 50, mL PJ/mol DPPH) ในน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น (n=108)

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	องค์ประกอบของเครื่อง NIR	10
2	ผลิตภัณฑ์น้ำมัลเบอรี่สกัดเข้มข้น (ก) ยี่ห้อไร่กำนันจุล และ (ข) ยี่ห้อดอยคำ	15
3	ผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น ยี่ห้อคาโกเมะ	16
4	ผลิตภัณฑ์น้ำทับทิมสกัดเข้มข้น (ก) ยี่ห้อดอยคำ (ข) ยี่ห้อไร่กำนันจุล และ (ค) ยี่ห้อทิปโก้	16
5	การวัดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำผลไม้สกัดเข้มข้นโดยวางอุปกรณ์ในระบบสะท้อนผ่านตัวอย่าง (ก) น้ำมัลเบอรี่สกัดเข้มข้น (ข) น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น (ค) น้ำทับทิมสกัดเข้มข้น	22
6	เส้นสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ (ก) น้ำมัลเบอรี่สกัดเข้มข้นยี่ห้อดอยคำ และยี่ห้อไร่กำนันจุล (ข) น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นยี่ห้อคาโกเมะ (ค) น้ำทับทิมสกัดเข้มข้นยี่ห้อไร่กำนันจุล ยี่ห้อดอยคำ และยี่ห้อทิปโก้	25
7	เส้นสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ (ก) น้ำมัลเบอรี่สกัดเข้มข้นยี่ห้อดอยคำ และยี่ห้อไร่กำนันจุล (ข) น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นยี่ห้อคาโกเมะ (ค) น้ำทับทิมสกัดเข้มข้นยี่ห้อไร่กำนันจุล ยี่ห้อดอยคำ และยี่ห้อทิปโก้ที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี second derivative	26
8	ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณแอนโทไซยานิน (mg cyanidin-3-glucoside/kg sample) ที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Vector Normalization	37
9	ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณแอนโทไซยานิน (mg cyanidin-3-rutinoside/kg sample) ที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Vector Normalization	37
10	ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/kg sample) ที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Vector normalization	38
11	ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณวิตามินซี (mg ascorbic acid/kg sample) ที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Vector	38

ภาพที่	หน้า
	normalization
12	ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (mmol FeSO ₄ /kg sample) ที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Min-max normalization 39
13	ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณไลโคปีน (mg/g sample) ที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี First derivative 40
14	ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/kg sample) ที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Multiplicative scattering Correction 40
15	ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณวิตามินซี (mg ascorbic acid/kg sample) ที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี First derivative ร่วมกับวิธี Vector normalization 41
16	ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (mmol Trolox equivalents (TE) /kg sample) ที่ไม่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัม 41
17	ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/L sample) ที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Min-max normalization 42
18	ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (EC 50, mL PJ/mol DPPH) ที่ไม่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัม 42

บทที่ 1

การตรวจสอบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระใน ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำผักและน้ำผลไม้สกัดเข้มข้นเพื่อสุขภาพอย่างรวดเร็วด้วยเทคนิค สเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีผู้ป่วยจำนวนมากที่ป่วยเป็นโรคเรื้อรังที่เกี่ยวข้องกับการรับประทานอาหารที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกาย และการใช้ชีวิตในสถานการณ์ที่มีความเครียด ซึ่งเป็นเหตุให้ร่างกายมีอนุมูลอิสระมากนำไปสู่การเจ็บป่วย โรคเรื้อรังดังกล่าวได้แก่ โรคมะเร็งลำไส้ โรคมะเร็งต่อมลูกหมาก โรคอ้วน โรคหัวใจ โรคความดัน โรคเบาหวาน และโรคภูมิแพ้ เป็นต้น ส่งเสริมให้ตลาดสินค้าอาหารเพื่อสุขภาพ (functional food) เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว เครื่องดื่มน้ำผัก และน้ำผลไม้สกัดเข้มข้นเป็นหนึ่งในจำนวนผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพหลากหลายชนิดที่ได้รับความนิยมอย่างมาก โดย Hafidh และคณะ (2009) พบว่าพฤติกรรมการบริโภค (dietary habits) เป็นปัจจัยสำคัญต่อการลดความเสี่ยงในการก่อโรคมะเร็ง โดยผู้ที่บริโภคอาหารจากพืชหรือสารสกัดจากพืช เช่นประชากรในภูมิภาคเอเชียมีอัตราการเป็นโรคมะเร็งลำไส้ และมะเร็งต่อมลูกหมากน้อยกว่าผู้ที่อยู่ในแถบยุโรปที่นิยมบริโภคเนื้อสัตว์ ทั้งนี้ในผักและผลไม้ประกอบด้วยใยอาหาร วิตามิน เกลือแร่ สารประกอบฟีนอล สารประกอบฟลาโวนอยด์ สารประกอบแคโรทีนอยด์ และสารพฤกษเคมีอื่นๆที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย และมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังดังกล่าวข้างต้นได้ (Hafidh และคณะ, 2009; Kongsuwan และคณะ, 2009; Leong และ Shui, 2002; Hernández และคณะ, 2006) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีวางจำหน่ายในประเทศ ได้แก่ SUPER 4RAC (ประกอบด้วยมังคุด ทับทิม และเก๋ากี้ หรือโกจิเบอร์รี่) น้ำทับทิมสกัดเข้มข้น มัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น มะเขือเทศสกัดเข้มข้น เป็นต้น

ซึ่งวิธีการวิเคราะห์สารที่ออกฤทธิ์ ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ หรือพฤกษเคมี (phytochemical) ที่เป็นส่วนสกัดจากธรรมชาติที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย และวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของอาหาร (ORAC, oxygen radical absorbance capacity) ในปัจจุบันนั้นมีความซับซ้อน ใช้เครื่องมือที่ราคาแพง ไม่สามารถวิเคราะห์สารต่างชนิดกันในเวลาเดียวกันได้ ทำให้ใช้เวลานานและใช้สารเคมีจำนวนมาก จึงมีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์

สูง ไม่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ครบถ้วนใน แต่ละชุดของกระบวนการผลิต และไม่สามารถติดตามค่าการเปลี่ยนแปลงของสารดังกล่าวได้ในระหว่างการเก็บรักษาและการวางจำหน่าย จึงมีความเสี่ยงต่อผู้บริโภคในการที่จะได้รับสารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพในปริมาณที่เหมาะสมและคุณภาพของสินค้ามีความสอดคล้องกับราคาผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างสูง

เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy, NIR) เป็นเทคนิคที่มีการพัฒนาขึ้น สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้รวดเร็ว โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง และไม่ต้องใช้สารเคมี สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบหลายอย่างหรือสารออกฤทธิ์พร้อมกันได้ในตัวอย่าง และเวลาเดียวกัน เคยมีการศึกษาพบว่า เทคนิค NIR มีศักยภาพในการทำนายปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารแทนนิน และสาร Malvidin-3-glucoside ในไวน์แดง (Fernandez-Novales และคณะ, 2009, Cozzolino, และคณะ, 2004) โดยสมการทำนาย ที่ได้มีค่า r เท่ากับ 0.99, 0.894 และ 0.959 ตามลำดับ นอกจากนี้การตรวจสอบปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสในสตาร์ชรากบัว พบว่ามีความแม่นยำที่ค่า r เท่ากับ 0.9243 และ 0.9827 ตามลำดับ (Xiaoying และคณะ, 2012) ในการตรวจสอบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และคาเฟอีนในชาเขียว พบว่า เทคนิค NIR สามารถตรวจสอบได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่า r อยู่ในช่วง 0.93 ถึง 0.99 (Zhang และคณะ, 2004, Chen และคณะ, 2008, 2009, 2012, Sinija และ Mishra, 2009) จากตัวอย่างงานวิจัยข้างต้น จะเห็นได้ว่าเทคนิค NIR มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ และตรวจสอบสารออกฤทธิ์ที่มีประโยชน์ได้ และเนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIR ใช้เวลาน้อย และไม่ใช้สารเคมี จึงเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ช่วยในการประกันและควบคุมปริมาณสารที่ออกฤทธิ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำผัก และผลไม้เข้มข้น และเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค และภาคอุตสาหกรรมเครื่องดื่มเสริมสุขภาพได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ในการตรวจสอบสารที่ออกฤทธิ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ได้แก่ แอนโทไซยานิน (anthocyanins) ไลโคปีน (lycopene) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic compounds) และวิตามินซี (vitamin c) ในน้ำมัลเบอรี่สกัดเข้มข้น น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น
- 1.2.2 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ในการตรวจสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในน้ำมัลเบอรี่สกัดเข้มข้น น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มัลเบอร์รี่

มัลเบอร์รี่ หรือ หม่อน เป็นไม้ล้มลุกจัดอยู่ในวงศ์ Moraceae มีทั้งหมด 24 สปีชีส์ มัลเบอร์รี่ถูกพบมากในบริเวณภูมิภาคเขตร้อน โดยมี 3 สายพันธุ์ที่เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางคือ หม่อนขาว (*Morus alba* L.) หม่อนดำ (*Morus nigra* L.) และหม่อนแดง (*Morus rubra* L.) (Gundogdu และคณะ, 2011) โดยพันธุ์หม่อนรับประทานผลหรือหม่อนผลสดที่ปลูกในประเทศไทย มีดังนี้ (วสันต์ นุ้ยภิรมย์, 2546)

- พันธุ์เชียงใหม่ ปลูกมากในภาคเหนือ กระจายทั่วไปทางภาคเหนือตอนบน และในหมู่บ้านชาวไทภูเขา ผลหม่อนพันธุ์เชียงใหม่จะมีลักษณะเด่น คือ มีผลขนาดใหญ่ อวบน้ำ รสชาติหวานกลมกล่อม เหมาะสำหรับบริโภคสดและการแปรรูป
- พันธุ์บุรีรัมย์ 60 เป็นพันธุ์หม่อนที่ปรับปรุงพันธุ์ โดยใช้หม่อนพื้นเมืองของไทยผสมกับหม่อนพันธุ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ คือ พันธุ์จินเบอร์ 44
- พันธุ์ศรีสะเกษ 33 เป็นหม่อนลูกผสมของหม่อนพันธุ์ Jing Mulberry จากประเทศจีน มีผลค่อนข้างใหญ่สามารถนำผลมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ดีและให้ผลผลิตใบหม่อนประมาณ ปีละ 1,500 กิโลกรัม/ไร่

2.2 มะเขือเทศ

มะเขือเทศเป็นพืชพื้นเมืองของทวีปอเมริกาใต้มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lycopersicon esulentum* Mill. เป็นพืชที่นิยมปลูกกันทั่วโลกโดยเฉพาะประเทศในแถบยุโรป สหรัฐอเมริกา มะเขือเทศจัดว่าเป็นพืชอุตสาหกรรมที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายประเภท การบริโภคผลิตภัณฑ์จากมะเขือเทศทั่วโลกมากกว่า 50 ล้านตันต่อปี และมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะในแถบยุโรปและสหรัฐอเมริกาที่นิยมบริโภคอาหารฟาสต์ฟู้ด ซึ่งใช้ผลิตภัณฑ์จากมะเขือเทศเป็นองค์ประกอบหนึ่ง พื้นที่เพาะปลูกทั่วโลกมีประมาณ 16 ล้านไร่ มีผลผลิตรวมประมาณ 54 ล้านตันต่อปี ในเขตร้อนสามารถผลิตมะเขือเทศได้เพียงร้อยละ 15 ของผลผลิตทั่วโลก ประเทศไทยสามารถผลิตมะเขือเทศสดได้ปีละประมาณ 70,000 ตัน โดยพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น จังหวัดหนองคาย สกลนคร นครพนมและภาคเหนือร้อยละ 63 และร้อยละ 14 ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) มะเขือเทศสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายประเภท เช่น มะเขือเทศเชื่อม มะเขือเทศแช่อิ่ม มะเขือเทศบรรจุกระป๋อง มะเขือเทศดองปรุงรส ซอสมะเขือเทศ ซุปมะเขือเทศ มะเขือเทศผง น้ำมะเขือเทศ (tomato juice) น้ำมะเขือเทศเข้มข้น (tomato paste)

2.3 ทับทิม

ทับทิม (*Punica granatum* L.) เป็นพืชอาหารดั้งเดิมของเอเชียและตะวันออกกลาง รวมทั้งประเทศไทย ทับทิมอุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญได้แก่ กรดฟีนอลิก แทนนิน ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน และมีคุณสมบัติในการลดความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดแดงแข็งตัว โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน เป็นต้น (Viuda-Martos และคณะ, 2010; Miguel และคณะ, 2010)

2.4 การผลิตน้ำผักผลไม้เข้มข้น

ในปัจจุบันขั้นตอนการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น เริ่มจากการสกัดน้ำผลไม้ก่อน ซึ่งแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ การตีปั่น และการคั้นน้ำผลไม้ ทั้งนี้กรรมวิธีที่ใช้ในการสกัดน้ำผลไม้จะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเนื้อเยื่อผลไม้ และลักษณะน้ำผลไม้ที่ต้องการ โดยการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น ซึ่งเป็นกระบวนการแยกหรือระเหยนํ้าออกจากน้ำผลไม้โดยส่วนใหญ่อาศัยหลักการทำให้อาหารที่เป็นของเหลวมีความเข้มข้นมากขึ้นโดยการกำจัดตัวทำละลายบางส่วนออกไป ซึ่งในอาหารโดยมากจะเป็นน้ำ ทำให้ได้ของเหลวที่มีความเข้มข้นมากขึ้น (จิรวรรณ ถูกจิตร์, 2554) ดังนั้นน้ำผลไม้เข้มข้น คือ ผลิตภัณฑ์ซึ่งได้มาจากน้ำผลไม้โดยการลดสัดส่วนของปริมาณน้ำ ทั้งนี้สัดส่วนของปริมาณน้ำที่ลดลงไปนั้นจะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 (กฎเกณฑ์กลาง Directive 2001/112/EC)

การผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นสามารถทำได้ 3 วิธี ดังนี้

- การทำให้เข้มข้นโดยวิธีการแช่เยือกแข็ง (freeze concentration) เป็นการทำให้อาหารที่เป็นของเหลวมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ซึ่งมีหลักการ คือการลดอุณหภูมิของอาหารเหลวให้ต่ำลงจนกระทั่งอาหารบางส่วนแข็งตัว อาหารในช่วงนี้มีลักษณะเป็นกึ่งของเหลวกึ่งของแข็ง (slurry) เพราะในอาหารเหลวประกอบไปด้วยผลึกน้ำแข็ง (ice crystal) อยู่รวมกับส่วนที่เป็นของเหลว ทำให้อาหารมีความเข้มข้นมากขึ้นเนื่องจากน้ำในอาหารเหลวบางส่วนเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง ถ้าผลึก น้ำแข็งเกิดขึ้นในสภาวะที่เหมาะสมผลึกน้ำแข็งที่ได้จะมีความบริสุทธิ์มาก เมื่ออาหารเหลวมีลักษณะเป็น slurry แล้วก็จะทำการแยกเอาผลึกน้ำแข็งออกจากของเหลว ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ อาหารเหลวที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ข้อจำกัดของการทำให้เข้มข้นแบบแช่เยือกแข็ง คือ ความเข้มข้นของอาหารที่ได้ต่ำกว่าวิธีการระเหย ซึ่งถ้าใช้วิธีการระเหยจะทำให้ได้อาหารที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 70-95 แต่ถ้าทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งจะได้อาหารที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40-55 (Karel และ Lund, 2003)

- การทำให้เข้มข้นภายใต้สุญญากาศ เป็นการระเหยนํ้าภายใต้สุญญากาศ ทำให้อุณหภูมิที่ใช้ระเหยนํ้าต่ำกว่าการใช้บรรยากาศปกติ จึงไม่ทำให้คุณภาพของน้ำเสียไปเนื่องจาก

ความร้อน วิธีนี้ช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงรสชาติและสี เพราะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนน้อยมาก (ทง ภัทรชพันธุ์, 2549, บทที่ 23)

- การระเหยโดยใช้อุณหภูมิสูงและเวลาสั้น วิธีนี้ใช้ความร้อนสูงประมาณ 105-205 องศาฟาเรนไฮต์ (ทง ภัทรชพันธุ์, 2549, บทที่ 23)

2.5 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และวิธีวิเคราะห์

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คือ สารประกอบที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ หรือมีกิจกรรมต่อสิ่งที่มีชีวิต ทั้งนี้การออกฤทธิ์อาจให้ผลดีหรือให้ผลเสียขึ้นอยู่กับชนิดของสารและปริมาณสารที่ได้รับ อาจแบ่งได้เป็นกลุ่มต่างๆดังนี้คือ สารประกอบแคโรทีนอยด์ กลูโคซิโนเลต สารประกอบฟีนอล กรดไขมัน คาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้ (McGoverin และคณะ, 2010) ทั้งนี้สารที่มักพบได้ตามธรรมชาติของพืชก็คือสารประกอบฟีนอล ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารอินทรีย์ที่มีทั้งโมเลกุลอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ จนถึงโครงสร้างโพลีเมอร์ที่ซับซ้อน เช่น ลิกนิน เมลานิน และแทนนิน เป็นต้น (Bravo, 1998) สารประกอบฟีนอลมีโครงสร้างพื้นฐานเป็นวงแหวนเบนซีน มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ สารประกอบฟีนอลที่พบในธรรมชาติส่วนมากมักจะเชื่อมต่อกับน้ำตาลทั้งแบบโมเลกุลเดี่ยว และโมเลกุลคู่ (Harborn และคณะ, 1999)

สารประกอบฟีนอลในพืชสามารถจำแนกชนิดตามจำนวนอะตอมคาร์บอนในโมเลกุลได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ hydroxybenzoic และ hydroxycinnamic acids ทั้งนี้ สารประกอบในกลุ่ม hydroxybenzoic acids ประกอบด้วยสารที่มีโครงสร้างอยู่ในรูป C6-C1 ได้แก่ กรดแกลลิก (gallic acid), p-hydroxybenzoic, protocatechuic, กรดวานิลลิก (vanillic acid) และกรดไซริงจิก (syringic acid) เป็นต้น ส่วนสารประกอบในกลุ่ม hydroxycinnamic acids ประกอบด้วยสารที่มีโครงสร้างอยู่ในรูป C6-C3 ได้แก่ กรดคาเฟอิก (caffeic acid), กรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid), กรด p-coumaric และ กรดไซแนปิก (sinapic acids) เป็นต้น (Bravo, 1998) ดังแสดงในตารางที่ 1

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลในปัจจุบันวิเคราะห์ตามวิธี Folin-Ciocalteu method (ดัดแปลงจาก Maisuthisakul และคณะ, 2007) เริ่มจากการสกัดสารด้วยตัวทำละลาย จากนั้นจึงนำสารสกัดที่ได้ไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent และโซเดียมคาร์บอเนต จากนั้นรอให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวความยาวคลื่น 760 นาโนเมตรโดยใช้สารละลายกรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐานวิธีวิเคราะห์ที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าต้องใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ที่ค่อนข้างนานและมีการใช้สารเคมีอันตรายร่วมวิเคราะห์ด้วย จึงต้องระมัดระวังในการทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 1 กลุ่มของสารประกอบฟีนอลที่พบในพืช

กลุ่ม	โครงสร้าง
Simple phenolics, benzoquinones	C_6
Hydroxybenzoic acids	C_6-C_1
Acetophenones, phenylacetic acids	C_6-C_2
Hydroxycinnamic acids, phenylpropanoids (coumarins, isocoumarins, chromones, chromenes)	C_6-C_3
Napthoquinones	C_6-C_4
Xanthones	$C_6-C_1-C_6$
Stilbenes, anthraquinones	$C_6-C_2-C_6$
Flavonoids, isoflavonoids	$C_6-C_3-C_6$
Lignans, neolignans	$(C_6-C_3)_2$
Biflavonoids	$(C_6-C_3-C_6)_2$
Lignins	$(C_6-C_3)_n$
Condensed tannins (proanthocyanidins or flavolans)	$(C_6-C_3-C_6)_n$

ที่มา: (Harborne, 1989; Harborne และคณะ, 1999)

2.6 ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลเกิดขึ้นเนื่องจากการที่สารกลุ่มนี้สามารถจับกับอนุมูลอิสระได้ สามารถให้อะตอมของไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนได้ หรือสามารถจับโลหะได้ (Amarowicz และคณะ, 2004) โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อความสามารถในการจับอนุมูลอิสระและโลหะ การมีไฮดรอกซิลเพียงหมู่เดียวที่ตำแหน่งออร์โท (ortho-) หรือพารา (para-) จะทำให้สารไม่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน โดยการให้ไฮโดรเจนน้อยมาก แต่หากวางอยู่ในตำแหน่งเมตา (meta-) จะให้ฤทธิ์ที่ดีกว่า ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของหมู่คาร์บอกซิลิก ($-COOH$) ที่มีคุณสมบัติดึงอิเล็กตรอน โดยเฉพาะที่ตำแหน่งออร์โทและพาราจะได้รับผลนี้มากกว่า (โอภา และคณะ, 2549)

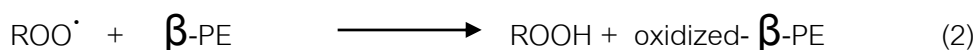
การวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant capacity) หรือการหาความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ซึ่งเป็นการรวมองค์ประกอบทั้งหมดของภาวะรีดอกซ์ โดยอาศัยการวิเคราะห์การส่งผ่านอิเล็กตรอนเดี่ยว (electron transfer) ซึ่งจะเปรียบเทียบความสามารถในการทำให้โปรตอนหลุดออกจากโมเลกุล และการแตกออกเป็นไอออน แสดงถึงความสามารถในการให้อิเล็กตรอนเพื่อทำให้โปรตอนหลุดออก วิธีการวิเคราะห์เป็นการหา

ความสามารถในการยับยั้งหรือกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น เป็นวิธีการวิเคราะห์โดยอ้อม เริ่มด้วยการสร้างอนุมูลอิสระให้เกิดขึ้น จากนั้นนำพลาสมา หรือสารต้านอนุมูลอิสระที่ต้องการทดสอบเติมลงไป ซึ่งวิธีที่ง่ายในการวิเคราะห์ ได้แก่

1. วิธี TRAP ซึ่งจะใช้สารประกอบ ABTS ABAP หรือ AAPH, 2,2'-azobis (2-amidopropane) ที่จะสลายตัวให้อนุมูลเปอร์ออกซี ซึ่งหาปริมาณได้จากการที่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสาร ABTS เกิดเป็นอนุมูล $ABTS^{•+}$ (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) ที่มีสี และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 660, 734 และ 820 นาโนเมตร เมื่อเติมสารต้านอนุมูลอิสระลงไป จะทำให้เกิดสีของ $ABTS^{•+}$ ชั่ว และน้อยลง ทำให้มีสีจางลง การวิเคราะห์ทำได้ทั้งการวัดระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดสีของ $ABTS^{•+}$ หลังการทำปฏิกิริยา หรือวัดปริมาณ $ABTS^{•+}$ ที่เกิดขึ้นจากค่าการดูดกลืนแสงในเวลาที่กำหนด เทียบกับสารมาตรฐาน TroloxTM (6-hydroxy-2,5,7,8 tetramethyl -chroman-2-carboxylic acid)

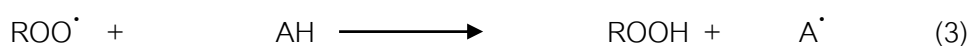
2. วิธี ORAC จัดเป็นวิธีการวิเคราะห์ทางอ้อม โดยการวัดความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ ในการยับยั้งอนุมูลเปอร์ออกซีไม่ให้ทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน การวิเคราะห์จะวัดแสงฟลูออเรสเซนส์ โดยอนุมูลเปอร์ออกซีจะทำปฏิกิริยาเปลี่ยนสารที่ให้แสงฟลูออเรสเซนส์เป็นสารที่ไม่ให้แสงฟลูออเรสเซนส์ ดังนั้น เมื่อเติมสารต้านอนุมูลอิสระลงไปจะลดอนุมูลเปอร์ออกซีจะทำให้มีแสงฟลูออเรสเซนส์เพิ่มขึ้นตามปริมาณและความแรงของสารทดสอบที่เติมลงไป

วิธีนี้จะใช้ β -phycoerythrin (β -PE) แทน $ABTS^{•+}$ ซึ่ง β -PE มีคุณสมบัติให้แสงฟลูออเรสเซนส์ที่ 565 นาโนเมตร เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงหรือรังสีที่มีความยาวคลื่นเท่ากับ 540 นาโนเมตร β -PE จะถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระ ทำให้คุณสมบัติในการให้แสงฟลูออเรสเซนส์เสียไป ดังนั้นเมื่อผสมสาร AAPH ซึ่งสลายตัวให้อนุมูลเปอร์ออกซี ($ROO^{\bullet}$) จะทำให้เกิดแสงฟลูออเรสเซนส์ของ β -PE ลดลง (สมการ 2) ดังนั้นการเติมสารต้านอนุมูลอิสระลงในสารละลายทดสอบจะยับยั้งการสูญเสียแสงฟลูออเรสเซนส์ของ β -PE (สมการ 3 และ 4)



(แสงฟลูออเรสเซนส์)

(ไม่ให้แสงฟลูออเรสเซนส์)



(สารต้านอนุมูล)



เพื่อกำจัดความแปรปรวนจากสารเคมี เครื่องมือ และผู้วิเคราะห์ค่า ORAC จะคำนวณเป็นค่าที่มีความสมมูลกับสารมาตรฐาน TroloxTM มีหน่วยเป็นไมโครโมลเทียบเท่ากับ Trolox แต่ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ เป็นวิธีที่วัดเฉพาะความสามารถในการหยุดปฏิกิริยาถูกไฟเกิดจากอนุมูลเปอร์ออกซีที่ละลายน้ำเท่านั้น (แต่อนุมูลเปอร์ออกซีเป็นอนุมูลชนิดละลายน้ำที่พบในร่างกายของมนุษย์) ไม่ได้วัดความสามารถในการต้านอนุมูลชนิดอื่นๆ และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลในลิปิดที่มีความสำคัญในการเกิดลิปิดออกซิเดชัน

3. วิธี FRAP เป็นวิธีการหาค่าความสามารถรวมในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยตรง ซึ่งสารต้านอนุมูลทำหน้าที่ในการให้อิเลคตรอนจึงจัดเป็นสารรีดิวซ์ ใช้สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก Fe^{3+} -TPTZ (ferric triazine) เป็นสารทดสอบ อะตอมของเหล็กจะถูกรีดิวซ์โดยสารต้านออกซิเดชัน ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอร์รัส Fe^{2+} -TPTZ สีน้ำเงินที่ดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

ทั้งวิธี TEAC และ FRAP เป็นการวิเคราะห์หาความสามารถในการรีดิวซ์ซึ่งเกิดอย่างรวดเร็วภายใน 4-5 นาที แต่ในการวิเคราะห์สารต้านออกซิเดชันจากพืชจำพวกพืชน้ำ จะพบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร จะเพิ่มขึ้นเมื่อทิ้งไว้ ดังนั้นการวัดครั้งเดียวตามเวลาที่กำหนด อาจไม่ใช่การเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ วิธี FRAP มีข้อดีคือเป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาน้อย ไม่แพง และไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ แต่มีข้อเสียคือกลไกของปฏิกิริยาที่ใช้วิเคราะห์ไม่เกี่ยวข้องกับกลไกในร่างกาย

4. วิธี DPPH คือ การวัดความสามารถในการรีดิวซ์อนุมูล $\text{DPPH}^{\cdot}$ (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical) ซึ่งเป็นการวัดกิจกรรมในการกำจัด hydrogen radicals โดย $\text{DPPH}^{\cdot}$ ซึ่งเป็นสารอนุมูลอิสระที่ให้สีม่วงเมื่อละลายในเอทานอล จึงสามารถวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร เมื่อ $\text{DPPH}^{\cdot}$ รับอิเลคตรอน หรือ hydrogen radical สีม่วงจะจางลง แสดงว่ามีสารประกอบที่สามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยไปกำจัดอนุมูลอิสระ ผลการวิเคราะห์จะแสดงในรูปร้อยละที่ลดลงจากค่าควบคุม (Brand-William, 1995) ข้อดีของวิธีนี้คือง่าย สามารถใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลของสารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติ ยกเว้นสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่มีการดูดกลืนแสงในย่านเดียวกัน อนุมูล $\text{DPPH}^{\cdot}$ มีความคงตัวไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลที่เกิดในร่างกาย ดังนั้นจึงไม่สามารถแยกแยะจัดอันดับอนุมูลที่มีความไวสูงได้ นอกจากนี้โครงสร้างทางเคมีของ $\text{DPPH}^{\cdot}$ ที่แสดงจะเห็นว่าอิเลคตรอนเดี่ยวของอนุมูลอิสระถูกบดบังด้วยวงแหวนเบนซีน 3 วง และหมู่ไนโตร ทำให้สารต้านอนุมูลที่มีฤทธิ์แรงแต่มีขนาดใหญ่บางสารไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาขจัดอนุมูล หรือต้องใช้เวลานาน ทั้งๆ

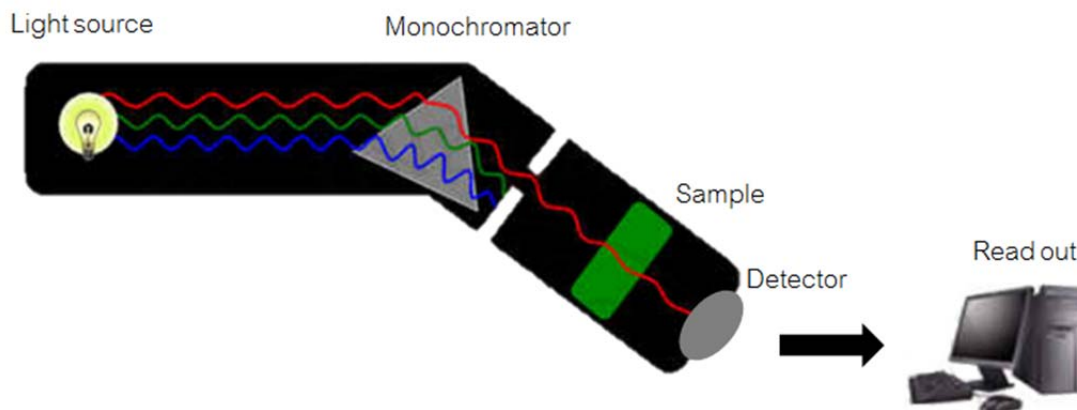
ที่สารนั้นมีฤทธิ์ในการขจัดอนุมูลเปอร์ออกซี นอกจากนี้สารรีดิวซ์สามารถทำให้สี DPPH[•] จางลงได้อีกด้วย

5. วิธี TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity) เป็นวิธีที่วัดความสามารถของสารในการกำจัดอนุมูล ABTS^{•+} ซึ่งเป็นอนุมูลที่มีความคงตัว เปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลมาตรฐาน Trolox ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับสารละลายทดสอบความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ข้อดีของวิธีนี้คือ ทำได้ง่าย อนุมูล ABTS^{•+} จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับสารต้านอนุมูล ปกติจะใช้เวลาประมาณ 5 นาที สามารถวิเคราะห์ได้ในช่วงสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่กว้าง อนุมูล ABTS^{•+} ละลายได้ทั้งในน้ำและสารทำละลายอินทรีย์ ใช้วิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสารที่ละลายน้ำ หรือสารที่ละลายในไขมัน แต่ ABTS ไม่เป็นสารตามธรรมชาติที่ก่อให้เกิดอนุมูลในเซลล์ของร่างกาย เช่นเดียวกันกับ Fe³⁺-TPTZ (โอภา และคณะ, 2549)

จากตัวอย่างวิธีวิเคราะห์ข้างต้น จะเห็นได้ว่าการวัดความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจะมีขั้นตอนที่ค่อนข้างยุ่งยากและต้องใช้สารเคมีมาก ซึ่งอาจเป็นอันตรายแก่ผู้วิเคราะห์ได้

2.7 เทคนิค NIR และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทคนิค NIR เป็นเทคนิคที่อาศัยการตรวจวัดปริมาณรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาว 780-2500 นาโนเมตรที่ถูกดูดกลืนในพันธะของโมเลกุลสารตัวอย่าง กล่าวคือเมื่อฉายแสงในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ลงไปในตัวอย่าง แสงที่มีพลังงานเพียงพอจะถูกดูดกลืนและกระตุ้นให้เกิดการสั่นของโมเลกุลในหมู่ฟังก์ชัน เช่น O-H, C-H, N-H และ C=H เป็นต้น ซึ่งเป็นโมเลกุลหลักของสารอินทรีย์ ปริมาณพลังงานและช่วงความยาวคลื่นที่จำเพาะต่อหมู่ฟังก์ชันแต่ละหมู่เพียงเท่านั้นที่จะทำให้เกิดการสั่นของพันธะในหมู่ฟังก์ชัน และปริมาณพลังงานที่ใช้ในการทำให้โมเลกุลสั่นจะเป็นสัดส่วนกับจำนวนหรือปริมาณของสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เทคนิค NIR สามารถวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ C, H, O และ N เป็นองค์ประกอบได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ (Osborne, 2000) โดยส่วนประกอบของเครื่อง NIR ประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดแสง (light source) อุปกรณ์แยกแสงออกเป็นแต่ละความยาวคลื่น (monochromator) ช่องใส่ตัวอย่าง (sample cell) ตัวรับแสง (detector) และคอมพิวเตอร์ ดังภาพที่ 1 ทั้งนี้จะเริ่มจากการที่แหล่งกำเนิดแสงปล่อยแสงซึ่งมีคุณสมบัติเป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาว 780-2500 นาโนเมตร ผ่านอุปกรณ์แยกแสงออกเป็นแต่ละความยาวคลื่นเข้าไปยังตัวอย่างที่อยู่ในช่องใส่ตัวอย่าง จากนั้นจะสะท้อนเข้าสู่ตัวรับแสงและผ่านการประมวลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ต่อไป



ภาพที่ 1 องค์ประกอบของเครื่อง NIR

ที่มา: Osborne และคณะ (1993)

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิค NIR ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอนคือการสร้างข้อมูลสเปกตรัมโดยนำตัวอย่างไปทำการวัดในช่วงคลื่น NIR และการสร้างข้อมูลทางเคมีโดยนำตัวอย่างบริเวณที่ผ่านการวัด NIR ไปทำการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยวิธีมาตรฐาน เมื่อได้ข้อมูลครบแล้วจึงนำไปหาความสัมพันธ์เพื่อสร้างเป็นสมการทำนายค่า (calibration model) ด้วยวิธีทางสถิติ จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสมการทำนายที่ได้ (validation) และทำการทำนายค่า (prediction) ความสามารถและประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้เทคนิค NIR ในการตรวจสอบต่อไป ในปัจจุบันเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ได้ถูกนำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้โดยไม่ทำให้ตัวอย่างได้รับความเสียหาย และวิเคราะห์ผลได้อย่างรวดเร็วทั้งการวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบหลายอย่างพร้อมกันได้ในตัวอย่างและเวลาเดียวกัน มีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างน้อยหรือไม่มีเลย และไม่ใช้สารเคมีใดๆ

สำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิค NIR ในการตรวจสอบปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มนั้น พบว่ามีผู้วิจัยได้ทำการศึกษาศักยภาพในการใช้เทคนิค NIR ในการทำนายปริมาณสาร Theaflavin ในชาดำ พบว่าสมการที่ได้มีค่า R เท่ากับ 0.86 (Hall และคณะ, 1988) ใช้เทคนิคนี้ในการตรวจสอบปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในองุ่นแดง พบความแม่นยำที่ค่า R เท่ากับ 0.938 (Janik และคณะ, 2007) ใช้ในการตรวจสอบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ สารแทนนิน และสาร Malvidin-3-glucoside ในไวน์แดง (Fernandez-Navales และคณะ, 2009; Cozzolino และคณะ, 2004) โดยสมการทำนายที่ได้มีค่า R เท่ากับ 0.99, 0.894 และ 0.959 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่ามีการใช้เทคนิค NIR ในการตรวจสอบปริมาณปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลทั้งหมด คาเฟอีน สาร Epigallocatechin

(EGC) สาร epicatechin (EC) สาร Epigallocatechin Gallate (EGCG) และสาร Epicatechin gallate (ECG) ในชาเขียว พบความแม่นยำที่ค่า R เท่ากับ 0.98, 0.96, 0.97, 0.97, 0.93 และ 0.97 ตามลำดับ (Chen และคณะ, 2008; Chen และคณะ, 2009) ส่วนในการตรวจสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระพบว่า เทคนิค NIR สามารถตรวจสอบได้อย่างแม่นยำทั้งจากวิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity assay), FRAP (Ferric reducing antioxidant power assay) และ ABTS (2,2'-azino-bis 3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid cation radical scavenging assay) ในสารสกัดจากใบไม้ได้อย่างแม่นยำโดยสมการที่ได้มีค่า R เท่ากับ 0.863, 0.910 และ 0.966 ตามลำดับ (Wu และคณะ, 2012) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 งานวิจัยที่แสดงถึงความสามารถของเทคนิค NIR ในการทำนายและตรวจสอบปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ตัวอย่าง	คุณลักษณะที่ศึกษา	Wave number(cm ⁻¹)	เทคนิคที่ใช้	ค่า R	ค่า SEP หรือ SECV หรือ RMSEP	อ้างอิง
ชาเขียว	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด คาเฟอีน	9000 ถึง 4500	PLS	0.958	0.7327	Chen และคณะ (2008)
	Epigallocatechin gallate (EGCG)			0.985	0.1365	
	Epigallocatechin (EGC)	9000 ถึง 5000	PLS	0.960	0.01743	Chen และคณะ (2009)
	Epicatechin gallate (ECG)			0.976	0.3839	
	Epicatechin (EC)			0.976	0.1176	
	ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	10000 ถึง 4000	PCR	0.925	1.81	Zhang และคณะ (2004)
	ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	10000 ถึง 4000	SVMR	0.969	0.02161	Chen และคณะ (2012)
องุ่นแดง	ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด	25000 ถึง 4000	PLS	0.938	0.15	Janik และคณะ (2007)
เปลือกองุ่น	ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด	25000 ถึง 4000	Adaboost	0.806	-	Fernandes และคณะ (2011)
	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด				0.04	Ferrer-Gallego และคณะ (2011)
	ปริมาณสารแอนโทไซยานิน	10000 ถึง 5000	PLS	-	0.36	
	ฟลาโวนอยด์				0.16	

ตารางที่ 2 (ต่อ) งานวิจัยที่แสดงถึงความสามารถของเทคนิค NIR ในการทำนายและตรวจสอบปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ตัวอย่าง	คุณลักษณะที่ศึกษา	Wave number(cm ⁻¹)	เทคนิคที่ใช้	ค่า R	ค่า SEP หรือ SECV หรือ RMSEP	อ้างอิง
ไวน์แดง	น้ำตาลรีดิวซ์	14285 ถึง 9433	PLS	0.99	10.44	Fernandez-Novales และคณะ
	Malvidin-3-glucoside	25000 ถึง 4000	PLS	0.959	28	(2009)
	แทนนิน			0.894	131.2	Cozzolino และคณะ (2004)
	trans-Resveratrol	52631.58 ถึง 4000	PLS	0.934	0.36	Martelo-Vidal และคณะ (2014)
	Quercitin			0.781	0.46	
	Catechin			0.883	0.63	
	Malvin			0.742	0.39	
	Epicatechin			0.678	0.27	
	Oenin			0.985	0.62	
กากกาแฟ	Syringic acid			0.671	0.36	
	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	10000 ถึง 4000	PLS	0.948	1.48	Páscoa และคณะ (2013)
	ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์			0.948	0.88	
	ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (ABTS assay)			0.930	17.2	

ตารางที่ 2 (ต่อ) งานวิจัยที่แสดงถึงความสามารถของเทคนิค NIR ในการทำนายและตรวจสอบปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ตัวอย่าง	คุณลักษณะที่ศึกษา	Wave number(cm ⁻¹)	เทคนิคที่ใช้	ค่า R	ค่า SEP หรือ SECV หรือ RMSEP	อ้างอิง
สารสกัดจากใบไผ่	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH assay)	12500 ถึง 4000	PLS	0.895	0.226	Wu และคณะ (2012)
	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP assay)		PLS	0.905	65.601	
	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS assay)		PLS	0.978	3.839	
ชาดำ	Theaflavin	7246.38	ถึง Simple stepwise forward regression	0.86	2.8	Hall และคณะ (1988)
		4201.68				
เมล็ดข้าวฟ่าง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	25000 ถึง 4000	mPLS	0.985	1.41	Dykes และคณะ (2014)
	3-Deoxyanthocyanidins			0.990	9.97	
	condensed tannins			0.964	5.35	

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 วิธีการทดลอง

3.1.1 คัดเลือกเครื่องดื่มน้ำผลไม้เข้มข้น และเครื่องดื่มน้ำผักรวมเข้มข้นที่มีขายในท้องตลาด 4 ชนิด

สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเลือกน้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้นเป็นตัวแทนของเครื่องดื่มน้ำผลไม้เข้มข้น และน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นเป็นตัวแทนของเครื่องดื่มน้ำผักรวมเข้มข้น

3.1.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1.1 น้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น

น้ำมัลเบอร์รี่ที่ใช้ในการศึกษามี 2 ยี่ห้อ คือ น้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้นยี่ห้อไร่กำนันจุล และยี่ห้อดอยคำ ซึ่งซื้อมาจากบริษัท ไร่กำนันจุล คูนวงส์ จำกัด และเทศโก้ โลตัส สาขาพระราม 2 จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 100 ตัวอย่าง โดยผลิตภัณฑ์น้ำทับทิมสกัดเข้มข้นแต่ละยี่ห้อจำนวนยี่ห้อละ 50 ตัวอย่าง โดยผลิตภัณฑ์น้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้นแต่ละยี่ห้อ แสดงดังภาพที่ 2 ก และ 2 ข ตามลำดับ



(ก)

(ข)

ภาพที่ 2 ผลิตภัณฑ์น้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น (ก) ยี่ห้อไร่กำนันจุล และ (ข) ยี่ห้อดอยคำ

3.1.1.1.2 น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น

น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นที่ใช้ในการศึกษา คือ น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นยี่ห้อคาโกเมะ ซึ่งซื้อมาจากบริษัท โอสดสกา จำกัด จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 100 ตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น ยี่ห้อคาโกเมะ

3.1.1.1.3 น้ำทับทิมสกัดเข้มข้น

น้ำทับทิมสกัดเข้มข้นที่ใช้มี 3 ยี่ห้อ คือ ยี่ห้อดอยคำและยี่ห้อไร่กำนันจุลซึ่งซื้อจากร้านผลิตภัณฑ์โครงการหลวงดอยคำ อ.เมืองนครปฐม จ.นครปฐม และยี่ห้อทิปโก้ซึ่งมาจากเทศโก้ โลตัส สาขานครปฐม จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 108 ตัวอย่างโดยผลิตภัณฑ์น้ำทับทิมสกัดเข้มข้นแต่ละยี่ห้อ จำนวนยี่ห้อละ 36 ตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 4ก 4ข และ 4ค ตามลำดับ



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4 ผลิตภัณฑ์น้ำทับทิมสกัดเข้มข้น (ก) ยี่ห้อดอยคำ (ข) ยี่ห้อไร่กำนันจุล และ (ค) ยี่ห้อทิปโก้

3.1.1.2 อุปกรณ์

3.1.1.2.1 เครื่องสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบ FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker Optik, Germany)

3.1.1.2.2 เครื่อง HPLC (Shimadzu, Kyoto, Japan)

3.1.1.2.3 เครื่อง spectrophotometer (10s UV-Vis, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA)

3.1.1.2.4 เครื่องแยกสารแบบหมุนเหวี่ยง (RC6 superspeed, Sorvall, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA)

3.1.1.2.5 เครื่องปั่นผสม (homogenizer) (UltraTurrax T25 Basic, Germany)

3.1.1.2.6 อ่างน้ำอัลตราโซนิก

3.1.1.3 สารเคมี

- 3.1.1.3.1.0 เมทานอล (AR. grade) (Lab-Scan, Bangkok, Thailand)
- 3.1.1.3.1.1 กรดแกลลิก (Sigma Aldrich, St. Louis, USA)
- 3.1.1.3.1.2 กรดอะซิติก (acetic acid, RCI Labscan, Thailand)
- 3.1.1.3.1.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, Merk, Germany)
- 3.1.1.3.1.4 สาร Folin-Ciocalteu Reagent (Merck, Darmstadt, Germany)
- 3.1.1.3.1.5 สารโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) (Ajax, New South Wales, Australia)
- 3.1.1.3.1.6 น้ำกลั่น (Better Syndicate, Bangkok, Thailand)
- 3.1.1.3.1.7 กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, QRëC, New Zeland)
- 3.1.1.3.1.8 โพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride, Ajax Finechem, Australia)
- 3.1.1.3.1.9 โซเดียมอะซิเตท (sodium acetate, Ajax Finechem, Australia)
- 3.1.1.3.2.0 สารมาตรฐาน cyanidin-3-glucoside (Kuromanin Chloride assay $\geq 95\%$, Sigma AldrichTM, USA)
- 3.1.1.3.2.1 สารมาตรฐาน cyanidin-3-O-rutinoside (Keracyanin chloride) $\geq 98.0\%$, Sigma AldrichTM, USA)
- 3.1.1.3.2.2 สารมาตรฐาน Ascorbic Acid (Sigma - AldrichTM, USA)
- 3.1.1.3.2.3 ไอร์ออน (II) ซัลเฟต (ferrous sulphate, Sigma AldrichTM, USA)
- 3.1.1.3.2.4 ไอร์ออน (II) คลอไรด์ (QREC, New Zealand)
- 3.1.1.3.2.5 2,4,6-Tripyridyl-s-Triazine (TPTZ, Fluka Sigma-Aldrich SigmaTM, Switzerland)
- 3.1.1.3.2.6 2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH, Fluka Sigma-Aldrich SigmaTM, Switzerland)
- 3.1.1.3.2.7 Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) Sigma-AldrichTM, USA)
- 3.1.1.3.2.8 กรดฟอสเฟอริก (phosphoric acid, RCI Labscan, Thailand)
- 3.1.1.3.2.9 อะซิโตนไทรล์ (HPLC grade) (acetonitrile, RCI Labscan, Thailand)
- 3.1.1.3.3.0 เอทานอล (AR. grade) (ethanol, RCI Labscan Limited, Thailand)
- 3.1.1.3.3.1 อะซิโตน (AR. grade) (acetone, RCI Labscan Limited, Thailand)
- 3.1.1.3.3.2 เฮกเซน (AR. grade) (Hexane, RCI Labscan Limited, Thailand)

3.1.1.3.3.3 เมทานอล (HPLC grade) (Methanol, RCI Labscan Limited, Thailand)

3.1.1.3.3.4 เฮกเซน (HPLC grade) (Hexane, RCI Labscan Limited, Thailand)

3.1.1.3.3.5 สารมาตรฐานไลโคปีน (Sigma - AldrichTM, USA)

3.1.1.3.3.6 กรดเมตาฟอสฟอริก (AR. grade) (Metaphosphoric acid, Panreac, USA)

3.1.1.3.3.7 ผงไลโคปีน (food grade) (DMS, Switzerland)

3.1.2 ศึกษาวิเคราะห์คุณภาพเริ่มต้นของน้ำมันเบอรรี่สกัดเข้มข้น น้ำมันมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น ก่อนนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีโดยการวิเคราะห์ดังนี้

- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids, TSS) โดยใช้มาตรดัชนีหักเห

- ค่าความเป็นกรด - ด่าง โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด - ด่าง (pH meter)

3.1.3 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ในการตรวจสอบสารที่ออกฤทธิ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ได้แก่ แอนโทไซยานิน ไลโคปีน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด วิตามินซี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันเบอรรี่สกัดเข้มข้น น้ำมันมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น

3.1.3.1 วิธีการทดลอง

3.1.3.1.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณไลโคปีน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

3.1.3.1.1.1 น้ำมันเบอรรี่สกัดเข้มข้นที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ น้ำมันเบอรรี่สกัดเข้มข้นยี่ห้อไร์ก้านจุล และยี่ห้อดอยคำ จำนวนรวม 100 ตัวอย่าง ทำการเตรียมตัวอย่าง โดยกำหนดให้จำนวนตัวอย่าง 1 ตัวอย่างคือ น้ำมันเบอรรี่สกัดเข้มข้นแต่ละยี่ห้อจำนวน 1 ขวด ปริมาตร 45 มิลลิลิตร จากนั้นจึงแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 น้ำมันเบอรรี่สกัดเข้มข้นชุดควบคุม และกลุ่มที่ 2 น้ำมันเบอรรี่สกัดเข้มข้นที่ผ่านการทำให้เข้มข้นขึ้นโดยเติมกรดเบอรรี่ผงที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการในปริมาณ 0.25, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม ต่อตัวอย่างปริมาตร 45 มิลลิลิตรเพื่อให้ได้ตัวอย่างที่มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่หลากหลาย จากนั้นทำการผสมตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยการปั่นผสม ด้วยเครื่อง Homogenizer (รุ่น Ultra Turax T25 basic IKA, Germany) เป็นเวลา 2 นาที

3.1.3.1.1.2 น้ำมันมะเขือเทศสกัดเข้มข้นที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ น้ำมันมะเขือเทศสกัดเข้มข้นยี่ห้อคาโกเมะ จำนวนรวม 100 ตัวอย่าง ทำการเตรียมตัวอย่าง โดยกำหนดให้จำนวน

ตัวอย่าง 1 ตัวอย่างคือ น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นจำนวน 1 ขวด ปริมาตร 45 มิลลิลิตร จากนั้นจึงแบ่งตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม คือ น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นชุดควบคุม น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นที่ผ่านการเจือจางด้วยน้ำกลั่น และน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นที่เติมไลโคปีนให้มีความเข้มข้นตามในช่วง (0.1, 0.2, ..., 1.6 กรัมต่อ 45 มิลลิกรัมตัวอย่าง) เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที ด้วยเครื่อง vortex เป็นเวลา 3 นาที แสดงการเตรียมตัวอย่างดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเตรียมตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน

ตัวอย่าง	n (ตัวอย่าง)
ควบคุม(น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นยี่ห้อคาโกเมะ)	10
เจือจาง (1/2 v/v)	10
เติมผงไลโคปีน (0.1, 0.2, ..., 1.6 กรัมต่อ 45 มิลลิกรัมตัวอย่าง)	80
รวม	100

กลุ่มตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในการศึกษานี้ นั้นเป็นกลุ่มตัวอย่างบางส่วนซึ่งเป็นกลุ่มเดียวกับกลุ่มที่นำไปวิเคราะห์ไลโคปีน ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเตรียมตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ตัวอย่าง	จำนวนกลุ่มตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	จำนวนกลุ่มตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ
ควบคุม(น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นยี่ห้อคาโกเมะ)	10	10
เจือจาง (1/2 v/v)	3	3
เติมผงไลโคปีน (0.1, 0.2, ..., 1.6 กรัมต่อ 45 มิลลิกรัมตัวอย่าง)	48	45
รวม	61	58

3.1.3.1.1.3 น้ำทับทิมสกัดเข้มข้นที่ใช้ในการศึกษามี 3 ยี่ห้อ คือ ยี่ห้อดอยคำและยี่ห้อไร่กำนันจุลซึ่งซื้อจากร้านผลิตภัณฑ์โครงการหลวงดอยคำ อ.เมืองนครปฐม จ.นครปฐม และยี่ห้อทิปโก้ซื้อจากเทสโก้ โลตัส สาขานครปฐม จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 108 ตัวอย่าง ทำการเตรียมตัวอย่าง โดยกำหนดให้จำนวนตัวอย่าง 1 ตัวอย่างคือ น้ำทับทิมสกัดเข้มข้นจำนวน 1 ขวด จากนั้นจึงแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ น้ำทับทิมสกัดเข้มข้นชุดควบคุม และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้นเข้มข้นที่เติมกรดแกลลิกให้มีความเข้มข้นตามในช่วง (10,30,50,70,...,130 มิลลิลิตร ต่อตัวอย่าง) แสดงการเตรียมตัวอย่างดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณกรดแกลลิกที่ใช้ในการศึกษา

ความเข้มข้นกรดแกลลิก (มิลลิลิตร)	น้ำหนักกรดแกลลิกโดยประมาณ (กรัม)
10	0.0100
30	0.0300
50	0.0500
70	0.0700
90	0.0900
100	0.1000
130	0.1300

3.1.3.1.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี

สำหรับการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีในน้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น และน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นนั้นแสดงดังตารางที่ 6 และ 7 ตามลำดับ

3.1.3.1.2.1 น้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น

น้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น จำนวน 101 ตัวอย่าง ซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่เติมกรดแอสคอบิกให้มีความเข้มข้นในช่วง (0.2, 0.4,...,2.0 กรัมต่อตัวอย่าง 45 มิลลิลิตร) เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex เป็นเวลา 5 นาที ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การเตรียมตัวอย่างน้ำมันเบอรี่สกัดเข้มข้นสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี

ตัวอย่าง	n (ตัวอย่าง)
ควบคุม (น้ำมันเบอรี่สกัดเข้มข้นยี่ห้อดอยคำ)	21
เติมกรดแอสคอบิก (0.2, 0.4, 0.6, 0.8, ..., 2.0 กรัมต่อตัวอย่างทั้งยี่ห้อดอยคำ และไร้กำนันจุล 45 มิลลิลิตร)	80
รวม	101

3.1.3.1.2.2 น้ำมันเชื้อเทศสกัดเข้มข้น

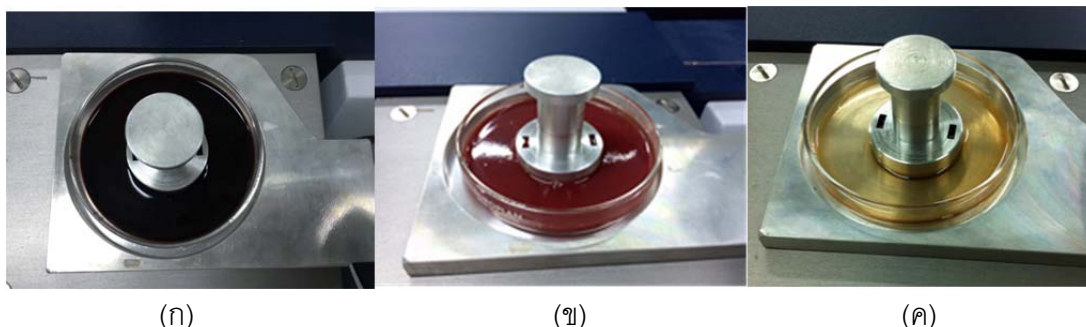
น้ำมันเชื้อเทศสกัดเข้มข้นจำนวน 100 ตัวอย่าง ซึ่งแบ่งเป็น 3 กลุ่มได้แก่ ตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างเจือจาง และตัวอย่างที่เติมกรดแอสคอบิกให้มีความเข้มข้นในช่วง (0.1, 0.2, ..., 1.6 กรัมต่อ 10 มิลลิกรัมตัวอย่าง) เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex เป็นเวลา 5 นาที ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การเตรียมตัวอย่างน้ำมันเชื้อเทศสกัดเข้มข้นสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี

ตัวอย่าง	n (ตัวอย่าง)
ควบคุม (น้ำมันเชื้อเทศสกัดเข้มข้นยี่ห้อคาโกเมะ)	10
เจือจาง (1/2 v/v)	10
เติมกรดแอสคอบิก (0.1, 0.2, ..., 1.6 กรัมต่อ 10 มิลลิกรัมตัวอย่าง)	23
เจือจาง (1/2 v/v) และเติมกรดแอสคอบิก (0.1, 0.2, ..., 1.6 กรัมต่อ 10 มิลลิกรัมตัวอย่าง)	23
เจือจาง (3/4 v/v) และเติมกรดแอสคอบิก (0.1, 0.2, ..., 1.6 กรัมต่อ 10 มิลลิกรัมตัวอย่าง)	24
รวม	100

3.1.3.1.3 ขั้นตอนการวัดสเปกตรัม

เริ่มจากกำหนดความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร resolution 16 cm⁻¹ จำนวนการสแกนเป็น 32 และกำหนดวิธีการวัดในระบบสะท้อนผ่านตัวอย่าง (transflectance) นำตัวอย่างน้ำมันเบอรี่สกัดเข้มข้น น้ำมันเชื้อเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้นมาวัด NIR โดยการปิเปตน้ำผลไม้แต่ละชนิด ปริมาตร 10 ml เทลง petri dish วัดการดูดกลืนแสงจากระบบสะท้อนผ่านทำได้โดย นำภาชนะที่เป็น petri dish วางตรงบริเวณที่ช่องแสงส่องของเครื่อง NIR ดังภาพที่ 5ก 5ข และ 5ค ตามลำดับ



ภาพที่ 5 การวัดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำผลไม้สกัดเข้มข้นโดยวางอุปกรณ์ในระบบสะท้อนผ่านตัวอย่าง (ก) น้ำมันเบอรรี่สกัดเข้มข้น (ข) น้ำมันมะเขือเทศสกัดเข้มข้น (ค) น้ำทับทิมสกัดเข้มข้น

3.1.3.1.4 การวิเคราะห์ค่าทางเคมีของปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

3.1.3.1.4.1 ปริมาณแอนโทไซยานิน ด้วยวิธี HPLC ดัดแปลงจากวิธีของ Brown และคณะ (2011) (ดูที่ภาคผนวก)

3.1.3.1.4.2 ปริมาณไลโคปีน ด้วยวิธี HPLC ดัดแปลงวิธีจาก Barba และคณะ (2006) (ดูที่ภาคผนวก)

3.1.3.1.4.3 ปริมาณวิตามินซี ด้วยวิธี HPLC ดัดแปลงวิธีจาก Ross และคณะ (1994) และวิธีของ Valente และคณะ (2011) (ดูที่ภาคผนวก)

3.1.3.1.4.4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu assay ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Maisuthisakul และคณะ (2007) และวิธีของ Harish และคณะ (2011) (ดูที่ภาคผนวก)

3.1.3.1.4.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ตามวิธีของ Benzie และ Strain (1996) (ดูที่ภาคผนวก)

3.1.3.1.4.6 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ตามวิธีของ Brand - Williams และคณะ (1995) (ดูที่ภาคผนวก)

3.1.3.1.5 ขั้นตอนของการสร้างสมการทำนาย

3.1.3.1.5.1 นำข้อมูลสเปกตรัมที่วัดได้จากเครื่อง NIR และค่าทางเคมีที่ทำการวิเคราะห์ได้จากวิธีมาตรฐานต่างๆ ได้แก่ ปริมาณแอนโทไซยานิน ปริมาณไลโคปีน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณวิตามินซี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี

DPPH และ วิธี FRAP มาสร้างสมการทำนายค่าด้วยโปรแกรม OPUS Version 7.2.139.1294 (Bruker, Germany) ด้วยเทคนิค PLSR (partial least square regression) โดยเส้นสเปกตรัมที่ได้ นั้นจะผ่านการปรับแต่งเส้นสเปกตรัม (pretreatment) ด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้ อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First derivative) การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (Multiplicative scatter correction, MSC) การปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน (standard normal variate, SNV) อนุพันธ์อันดับสอง (Second derivative) และวิธีอื่นๆ

3.1.3.1.5.2 สร้างสมการการทำนายและทวนสอบสมการด้วยวิธีการพิสูจน์แบบ ชุดทดสอบ (Test set validation) และ วิธี leave-one-out validation โดยใช้โปรแกรม OPUS ซึ่งจะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) ผลรวมของความ ผิดพลาดทั้งหมด (root mean squares error of calibration, RMSEC) หรือ (root mean squares error of prediction, RMSEP) ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในการทำนาย (bias) เป็นต้น

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1.1 ศึกษาวิเคราะห์คุณภาพเริ่มต้นของน้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น

จากการศึกษาวัตถุดิบลักษณะเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์น้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้นยี่ห้อดอยคำ และยี่ห้อไร่กำนันจุล น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นยี่ห้อคาโกเมะ และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้นยี่ห้อดอยคำ ไร่กำนันจุล และทิปโก้ โดยวัดค่า Total soluble solids ($^{\circ}$ Brix) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) แสดงดังตารางที่ 8 พบว่าน้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้นยี่ห้อดอยคำมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุด และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้นยี่ห้อไร่กำนันจุลมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำสุด ทั้งนี้ น้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้นจากยี่ห้อไร่กำนันจุลมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ใกล้เคียงกับผลมัลเบอร์รี่ดำสด (*Morus nigra*) และมัลเบอร์รี่แดงสด (*Morus rubra*) ซึ่งมีค่า 16.7% และ 15.9% ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์น้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้นทั้งสองยี่ห้อนี้มีค่าความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียงกับผลมัลเบอร์รี่สด (Ercisli และ Orhan, 2007) ส่วนน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นยี่ห้อคาโกเมะนั้น พบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศ 100% (Ayvaz และคณะ, 2016) เมื่อพิจารณาในกลุ่มผลิตภัณฑ์น้ำทับทิมสกัดเข้มข้นพบว่ามีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และค่าความเป็นกรด-ด่างที่ใกล้เคียงกับน้ำทับทิม 100% (Mphahlele และคณะ, 2016)

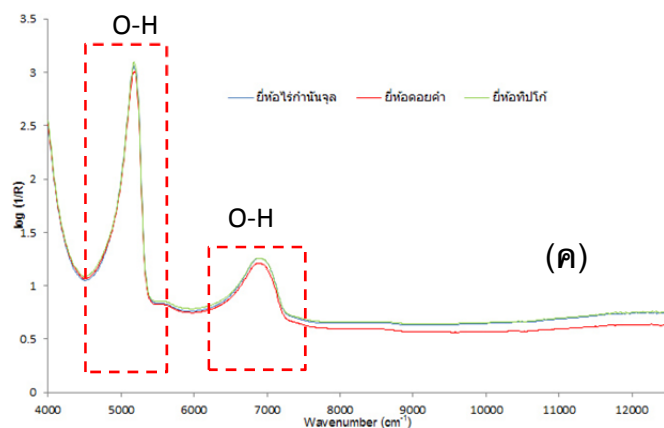
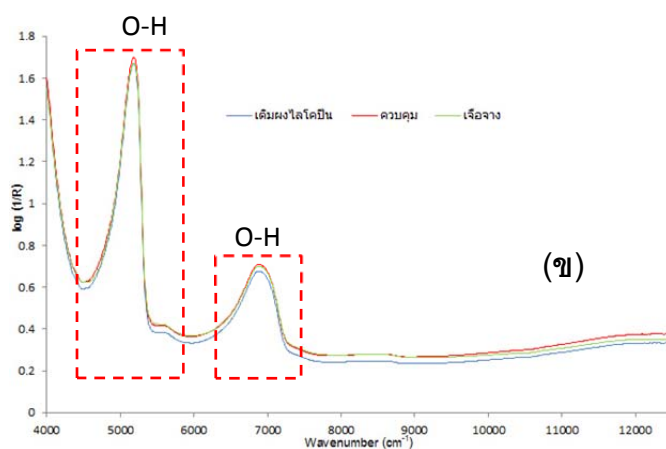
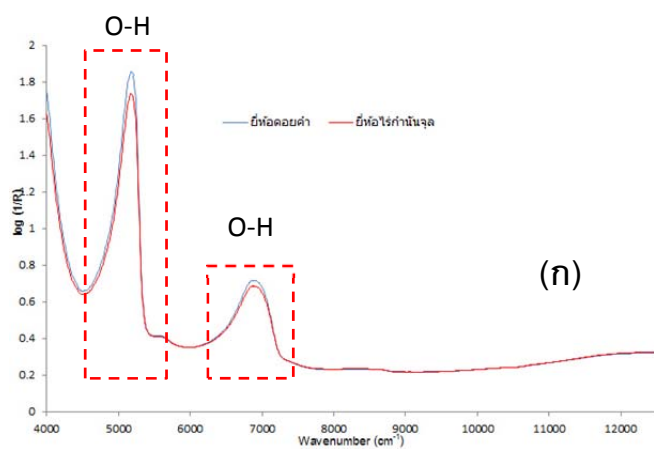
ตารางที่ 8 ข้อมูลค่า Total soluble solids ($^{\circ}$ Brix) และค่า pH ของผลิตภัณฑ์น้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น (n=100)

samples	Total soluble solids ($^{\circ}$ Brix)	pH
น้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้นยี่ห้อดอยคำ	19.5 $\pm$ 0.7	3.80 $\pm$ 0.19
น้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้นยี่ห้อไร่กำนันจุล	16.6 $\pm$ 0.6	4.09 $\pm$ 0.04
น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นยี่ห้อคาโกเมะ	14.7 $\pm$ 0.0	3.80 $\pm$ 0.00
น้ำทับทิมสกัดเข้มข้นยี่ห้อดอยคำ	17.2 $\pm$ 0.7	3.32 $\pm$ 0.10
น้ำทับทิมสกัดเข้มข้นยี่ห้อไร่กำนันจุล	10.9 $\pm$ 0.9	3.23 $\pm$ 0.06
น้ำทับทิมสกัดเข้มข้นยี่ห้อทิปโก้	17.2 $\pm$ 0.7	3.20 $\pm$ 0.06

4.1.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการตรวจสอบสารที่ออกฤทธิ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น

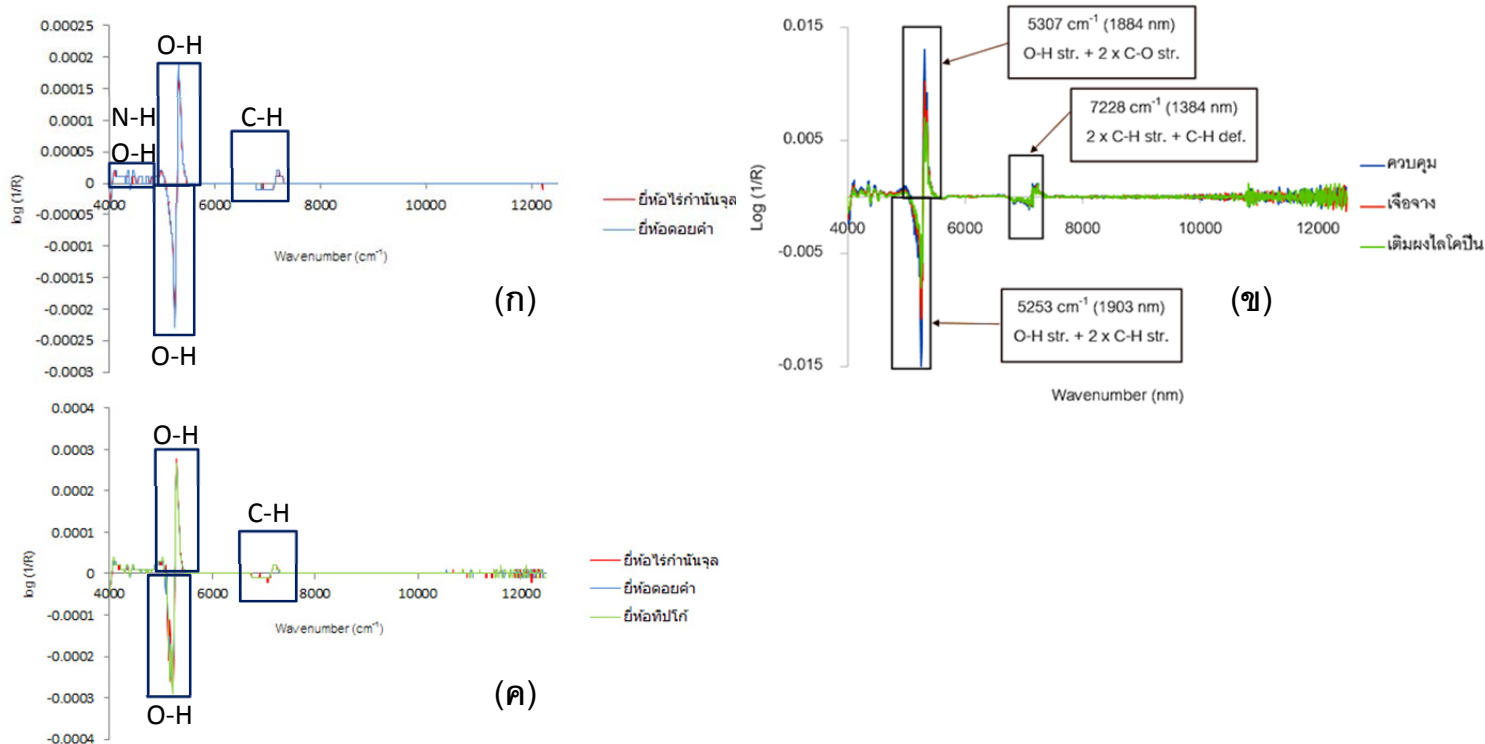
4.1.2.1 สเปกตรัมและการปรับแต่งสเปกตรัม

จากการนำผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพน้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้นที่มีขายในท้องตลาดมาทำการวัดสเปกตรัมด้วยเครื่องสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในรูปแบบการวัดระบบสะท้อนผ่านตัวอย่าง จากภาพที่ 6 ก ข และ ค แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) หรือ $\log 1/R$ (แกน y) กับความยาวคลื่นหน่วยเป็น cm^{-1} (แกน x) ของสเปกตรัมน้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น ตามลำดับ พบว่าเส้นสเปกตรัมที่ได้จากน้ำสกัดเข้มข้นทั้งสามชนิดมีลักษณะคล้ายคลึงกัน ทั้งนี้พบพีคของการดูดกลืนที่ชัดเจนมาก คือ บริเวณเลขคลื่น 5100 และ 6800 cm^{-1} ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นแบบ first overtones และ second overtones ของพันธะ O-H ซึ่งแสดงถึงพันธะภายในโมเลกุลของน้ำ (Frizon, 2015)



ภาพที่ 6 เส้นสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ (ก) น้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้นยี่ห้อคอตด้า และยี่ห้อไร่กำนันจุล (ข) น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นยี่ห้อคาโกเมะ (ค) น้ำทับทิมสกัดเข้มข้นยี่ห้อไร่กำนันจุล ยี่ห้อคอตด้า และยี่ห้อทับโก้

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความแตกต่างของขนาดสเปกตรัม และมีงานการดูดกลืนที่ซ้อนทับกัน (overlapping) มักจะส่งผลกระทบต่อตัวแปรที่สนใจ ดังนั้น จึงนำวิธีการปรับแต่งเส้นสเปกตรัม (pretreatment) เข้ามาช่วยเพื่อให้ได้พีคที่มีลักษณะชัดเจนมากขึ้นดัง ภาพที่ 7ก 7ข และ 7ค เป็นเส้นสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพน้ำมัลเบอรี่สกัดเข้มข้น น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้นที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับสอง (second derivative) ตามลำดับ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ช่วยลดการเกิดการซ้อนทับกันของพีค ลดอิทธิพลของการเกิดพีคที่ไม่ชัดเจนให้เห็นชัดเจนมากขึ้น และยังทำให้ลดการเกิดการเลื่อนขึ้นตามแนวแกน y โดยจะเห็นว่า baseline มีลักษณะอยู่ในระดับเดียวกัน ทั้งนี้พบว่าการดูดกลืนที่บริเวณเลขคลื่น $4878.05\text{--}4545.45\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นแบบ combination ของพันธะ N-H และ OH (Xiao-Meng และคณะ, 2009) และการดูดกลืนที่บริเวณเลขคลื่น $7151\text{--}7374\text{ cm}^{-1}$ (Mariani และคณะ, 2015) ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นแบบ combination ของพันธะ C-H ของสารที่เป็นวงแหวน (aromatic) โดยเฉพาะของสารประกอบฟีนอลิก



ภาพที่ 7 เส้นสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ (ก) น้ำมัลเบอรี่สกัดเข้มข้นยี่ห้อคอยค่า และยี่ห้อไรกันนูล (ข) น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นยี่ห้อคาโกเมะ (ค) น้ำทับทิมสกัดเข้มข้นยี่ห้อไรกันนูล ยี่ห้อคอยค่า และยี่ห้อทาบโกที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี second derivative

4.1.2.2 การสร้างสมการแคลิเบรชันของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 9 แสดงค่าสถิติของสมการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/kg sample) ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg cyanidin-3-glucoside/kg sample) และ ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg cyanidin-3-rutinoside/kg sample) ปริมาณวิตามินซี (mg ascorbic acid/kg sample) และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (mmol FeSO₄/kg sample) ของชุดตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการและสำหรับทดสอบสมการด้วยเทคนิค NIR จากการศึกษพบว่า ผลไม้เบอร์รี่สดประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญคือ สารกลุ่มแอนโทไซยานิน และสารประกอบกลุ่มฟีนอล โดยแอนโทไซยานินชนิดที่พบในปริมาณสูงที่สุดในผลไม้เบอร์รี่ดำสดคือ cyanidin-3-O-glucoside รองลงมาคือ cyanidin-3-O-rutinoside, Pelargonidin-3-O-glucoside และ Pelargonidin-3-O-rutinoside ตามลำดับ (Kamiloglu และคณะ, 2013; Pawlowska และคณะ, 2008) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าในน้ำผลไม้เบอร์รี่สกัดเข้มข้นทั้งสองยี่ห้อ พบแอนโทไซยานินที่สำคัญ 2 ชนิดคือ cyanidin-3-O-glucoside และ cyanidin-3-O-rutinoside โดยการเติมผลไม้ลงไปในตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้นที่หลากหลาย ได้แก่ เติมน้ำในปริมาณ 0.25, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม ส่งผลให้น้ำผลไม้สกัดเข้มข้นมีปริมาณแอนโทไซยานิน อยู่ในช่วง 3.88-244.31 (mg cyanidin-3-glucoside/kg sample) และ 3.22-195.53 (mg cyanidin-3-rutinoside/kg sample) และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP อยู่ในช่วง 19.8-79.4 (mmol FeSO₄/kg sample) ซึ่งมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP value) ที่ใกล้เคียงกับไวน์แดง 2.9 mmol FeSO₄/L และสูงกว่าในผลิตภัณฑ์น้ำแบล็คเคอร์เรนท์แท้ 100% น้ำส้มแท้ 100% ซ็อกโกแลตพร้อมดื่ม กาแฟผงสำเร็จรูป ชาขาว ชาเขียว ชาดำ เป็นต้น (Zujko, และ Witkowska, 2014) นอกจากนี้พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำผลไม้สกัดเข้มข้นจากทั้งสองยี่ห้อ มีค่าอยู่ในช่วง 1.9-5.2 (g GAE/kg sample) และน้ำผลไม้สกัดเข้มข้นยี่ห้อใดก็ตาม จุลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่ายี่ห้อใดก็ตาม อีกทั้งยังมีปริมาณฟีนอลิกรวมทั้งหมดใกล้เคียงกับผลไม้เบอร์รี่ดำ ราสเบอร์รี่แดง และเชอร์รี่ ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมทั้งหมด 2.7, 3.6 และ 3.1 g GAE/kg fresh weight (Özgen และคณะ, 2009; de Souza, และคณะ, 2014) ทั้งนี้ น้ำผลไม้สกัดเข้มข้นทั้งสองยี่ห้อ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงกว่าผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้แท้ 100% ซึ่งได้แก่ น้ำพ룬 น้ำแบล็คเคอร์เรนท์ น้ำทับทิม 1.8, 1.2 และ 1.6 g GAE/L ซึ่งมีวางจำหน่ายในสหรัฐอเมริกา (Medina, 2011) และมีค่าสูงกว่าในกลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มอื่นๆ ได้แก่ ชาขาว ชาเขียว ชาดำ ชาอูหลง ชาออยบอส กาแฟ ซ็อกโกแลต ไวน์ขาว โกโก้ร้อน และเบียร์ (Zujko, และ Witkowska, 2014) จากการศึกษเมื่อเติมกรดแอสคอร์บิกในช่วง 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 และ

2.0 กรัมส่งผลให้น้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้นมีปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 319.32-47,579.40 (mg ascorbic acid/kg sample) ซึ่งน้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้นนี้ห่อหุ้มด้วยค่ามีปริมาณวิตามินซีใกล้เคียงกับผลราสเบอร์รี่สดพันธุ์ Heritage และพันธุ์ Autumn Bliss แต่สูงกว่าผลแบล็คเบอร์รี่สดพันธุ์ Thornless Evergreen พันธุ์ Chester Thornless และพันธุ์ Hull Thornless เป็นต้น (Pantelidis และคณะ, 2007)

จากตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด 100 ตัวอย่าง พบว่าน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นนี้ห่อหุ้มด้วยค่ามีปริมาณไลโคปีนอยู่ในช่วง 0.89 - 22.60 (mg lycopene/g sample) ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมากเมื่อเทียบกับมะเขือเทศระยะสุกเต็มที่ พันธุ์ Rio Grande ผลิตภัณฑ์กลุ่มน้ำมะเขือเทศ 100% ซอสมะเขือเทศ ชุปมะเขือเทศ และซอสพริกที่มีค่าเท่ากับ 0.097 (mg/g fresh weight) 0.10, 0.16, 0.08 และ 0.20 (mg/ml sample; mg/g sample) ตามลำดับ (Ilahy และคณะ, 2011; Rao และคณะ, 1998) นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นนี้ห่อหุ้มด้วยค่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 2.20-8.50 (g GAE/kg sample) ปริมาณวิตามินซีมีค่าอยู่ในช่วง 0.31-298,381.00 (mg ascorbic acid/kg sample) และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าอยู่ในช่วง 2.39-57.18 (mmol Trolox equivalents (TE) /kg sample) เป็นต้น รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 10 และเป็นที่น่าสังเกตว่าทั้งน้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น และน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นชุดควบคุมนั้นมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าในน้ำทับทิมสกัดเข้มข้นชุดควบคุมทั้งสามยี่ห้อดังแสดงในตารางที่ 11

จากตารางที่ 12 แสดงค่า R^2 , RMSECV, RMSEE, Bias และ RPD จำนวนตัวแปรของสมการทำนายค่าด้วยเทคนิค NIR ที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยเทคนิคต่างๆของน้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น ซึ่งโดยทั่วไปการเลือกสมการที่ดีที่สุดจะเลือกจากสมการที่ให้ค่าการทำนายในชุดของการทวนสอบที่ดีที่สุด (Keawsorn และ Sirisomboon, 2014) จากผลการทดลองพบว่าสมการทำนายปริมาณแอนโทไซยานินชนิด cyanidin-3-glucoside ที่ดีที่สุด ให้ค่า R^2 , RMSECV, Bias และ RPD ของชุดข้อมูล validation เท่ากับ 0.9037, 23.5 mg cyanidin-3-glucoside equivalents/kg sample, 0.504 และ 3.22 ตามลำดับ สมการทำนายปริมาณแอนโทไซยานิน cyanidin-3-rutinoside ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC ที่ดีที่สุด ให้ค่า R^2 , RMSECV, Bias และ RPD เท่ากับ 0.8239, 26.2 mg cyanidin-3-rutinoside/kg sample, 0.0703 และ 2.38 ตามลำดับ ส่วนสมการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ดีที่สุด ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.8370, RMSECV เท่ากับ 0.319 g GAE/kg sample, bias เท่ากับ 0.0598 และ RPD เท่ากับ 2.52 และสมการทำนายปริมาณวิตามินซีที่ดีที่สุด มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9860, RMSECV เท่ากับ 1,630.00 mg ascorbic acid/kg sample, Bias เท่ากับ 351 และค่า RPD

เท่ากับ 8.65 ในส่วนความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ FRAP มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7604, RMSECV เท่ากับ 5.62 mmol FeSO₄/kg sample, Bias เท่ากับ 0.037 และค่า RPD เท่ากับ 2.04

เมื่อนำตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นทั้งหมด 100 ตัวอย่างที่มีปริมาณไลโคปีนและวิตามินซีที่แตกต่างกัน สร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยเทคนิค PLS เพื่อทำนายองค์ประกอบทางเคมีโดยทำการเลือกสมการที่ดีที่สุด จากผลการศึกษาพบว่าสมการทำนายปริมาณไลโคปีนที่เหมาะสมให้ค่า R^2 , RMSECV, Bias และ RPD เท่ากับ 0.9122, 1.69 mg lycopene/g sample, 0.0367 และ 3.38 ตามลำดับ ส่วนสมการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ดีที่สุด ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.6544, RMSECV เท่ากับ 0.592 g GAE/kg sample, bias เท่ากับ 0.000279 และ RPD เท่ากับ 1.70 และสมการทำนายปริมาณวิตามินซีที่ดีที่สุด มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8896, RMSECV เท่ากับ 15,500 mg ascorbic acid/kg sample, Bias เท่ากับ -328 และค่า RPD เท่ากับ 3.01 แต่พบว่าการใช้เทคนิค NIRS ในการทำนายค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ของน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น ให้ผลการทำนายค่อนข้างต่ำซึ่งสมการทำนายที่มีความเหมาะสมที่สุดให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.4086, RMSECV เท่ากับ 11.3 mmol Trolox equivalents (TE) /kg sample, Bias เท่ากับ 3.76 และค่า RPD เท่ากับ 1.38 ตามลำดับ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 13 ส่วนผลจากการสร้างสมการทำนายการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในน้ำทับทิมทั้งสามยี่ห้อแสดงดังตารางที่ 14

4.1.2.2.1 การสร้างสมการแคลิเบรชันด้วยเทคนิค NIR

ตารางที่ ๑ ค่าทางสถิติของปริมาณแอนโทไซยานิน (mg cyanidin-3-glucoside/kg sample), ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg cyanidin-3-rutinoside/kg sample), ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/kg sample), ปริมาณวิตามินซี (mg ascorbic acid/kg sample) และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (mmol FeSO₄/kg sample) ในน้ำมัลเบอรี่สกัดเข้มข้น

Parameter	ชุดข้อมูลสมการทำนาย (Calibration set) (60%)					ชุดข้อมูลทดสอบสมการ (Validation set) (40%)				
	จำนวน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วน	จำนวน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วน
	ข้อมูล				เบี่ยงเบน	ข้อมูล				เบี่ยงเบน
					มาตรฐาน					มาตรฐาน
Anthocyanins content (cyanidin-3-glucoside)	60	3.88	244.31	79.33	83.39	40	5.05	233.1	100.61	76.87
Anthocyanins content (cyanidin-3-rutinoside)	60	3.22	195.53	57.67	60.90	40	3.93	193.81	85.72	63.28
Total phenolic compound	63	1.90	5.20	3.07	0.71	41	1.90	4.90	3.26	0.80
Vitamin c content	61	319.32	47,579.40	16,101.29	15,242.10	40	320.67	46,274.50	23,167.82	13,941.78
Antioxidant capacity (FRAP)	61	19.80	79.40	37.62	10.65	41	20.60	65.40	37.31	11.62

ตารางที่ 10 ค่าทางสถิติของปริมาณไลโคปีน (mg lycopene/g sample), ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/kg sample), ปริมาณวิตามินซี (mg ascorbic acid/kg sample) และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (mmol Trolox equivalents (TE) /kg sample) ในน้ำมะเขือเทศสดเข้มข้น

Parameter	Validation type		ชุดข้อมูล	จำนวนข้อมูล	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Lycopene content	test validation	set	Cal	60	0.89	22.60	7.05	5.44
			Val	40	1.21	20.96	8.72	5.77
Vitamin c content	test validation	set	Cal	60	0.31	298,381.00	52,129.55	57,395.48
			Val	40	1.16	239,605.00	78,127.68	47,148.31
Total phenolic compound	leave-one-out validation		Cal	61	2.20	8.50	5.66	1.02
Antioxidant capacity (DPPH)	leave-one-out validation		Cal	58	2.39	57.18	27.37	14.79

ตารางที่ 11 ค่าทางสถิติของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/L) และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (EC 50, mL PJ/mol DPPH) ในน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น (n=108)

Parameter	ชุดข้อมูลสมการทำนาย (Calibration set) (60%)					ชุดข้อมูลทดสอบสมการ (Validation set) (40%)				
	จำนวนข้อมูล	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	จำนวนข้อมูล	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Total phenolic compound	65	1.20	109.50	25.32	26.41	43	1.30	104.80	32.93	23.52
Antioxidant capacity (DPPH)	65	43.19	18,617.50	1,370.90	2,780.99	43	44.45	11,347.20	1,648.07	2,128.80

ตารางที่ 12 ค่า R^2 , RMSECV, Bias, RPD, จำนวนตัวแปรของสมการทำนายค่าด้วยเทคนิค NIR ของปริมาณแอนโทไซยานิน (mg cyanidin-3-glucoside/kg sample), ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg cyanidin-3-rutinoside/kg sample), ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/kg sample), ปริมาณวิตามินซี (mg ascorbic acid/kg sample) และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (mmol FeSO₄/kg sample) ในน้ำมัลเบอร์รี่สดแช่แข็ง

Parameter	Pre-treatment	PLS factor	Calibration set (60%)		Validation set (40%)			RPD
			R^2	RMSEE	R^2	RMSEP	Bias	
Anthocyanins content (cyanidin-3-glucoside)	Vector normalization	6	0.8389	35.3	0.9037	23.5	0.504	3.22
Anthocyanins content (cyanidin-3-rutinoside)	Vector normalization	8	0.9037	20.3	0.8239	26.2	0.0703	2.38
Total phenolic compound	Vector normalization	8	0.9116	0.226	0.8370	0.319	0.0598	2.52
Vitamin c content	Vector normalization	9	0.9898	1,670	0.9860	1,630	351	8.65
Antioxidant capacity (FRAP)	Min-max normalization	8	0.6648	6.62	0.7604	5.62	0.037	2.04

หมายเหตุ: R^2 : coefficients of determination, RMSEP: root mean square error of prediction, RMSEE: root mean square error of estimation and RPD: ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP

ตารางที่ 13 ค่า R^2 , RMSECV, Bias, RPD, จำนวนตัวแปรของสมการทำนายค่าด้วยเทคนิค NIR ของของปริมาณไลโคปีน (mg lycopene/g sample), ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/kg sample), ปริมาณวิตามินซี (mg ascorbic acid/kg sample) และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (mmol Trolox equivalents (TE) /kg sample) ในน้ำมะเขือเทศสดเข้มข้น

Parameter	Pre-treatment	Validation type	PLS factor	Calibration set (60%)		Validation set (40%)			
				R^2	RMSEE	R^2	RMSEP/ RMSECV	Bias	RPD
Lycopene content	First derivative	test validation	set 7	0.8687	2.1	0.9122	1.69	0.0367	3.38
Vitamin c content	First derivative+ Vector normalization	test validation	set 3	0.8282	24,400	0.8896	15,500	-328	3.01
Total phenolic compound	Multiplicative scattering correction	leave-one-out validation	4	0.6669	0.607	0.6544	0.592	0.000279	1.7
Antioxidant capacity (DPPH)	No spectral preprocessing	data leave-one-out validation	2	0.5474	10.1	0.4086	11.3	3.76	1.38

หมายเหตุ: R^2 : coefficients of determination, RMSEP: root mean square error of prediction, RMSECV: root mean square error of cross-validation, RMSEE: root mean square error of estimation and RPD: ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP

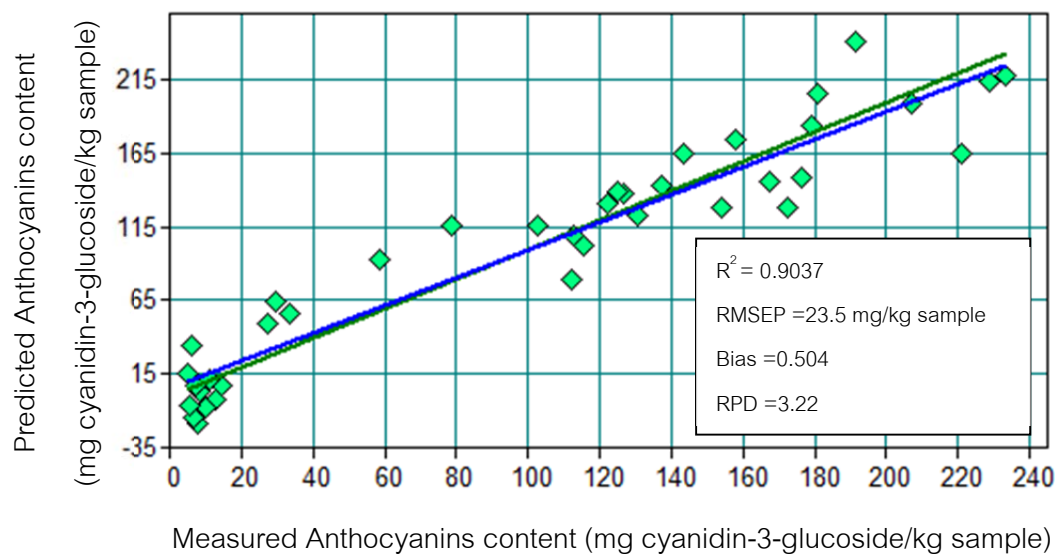
ตารางที่ 14 ค่า R^2 , RMSECV, Bias, RPD, จำนวนตัวแปรของสมการทำนายค่าด้วยเทคนิค NIR ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/L) และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (EC 50, mL PJ/mol DPPH) ในน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น (n=108)

Parameter	Pre-treatment	PLS factor	Calibration set (60%)		Validation set (40%)			RPD
			R^2	RMSEE	R^2	RMSEP	Bias	
Total phenolic compound	Min-max normalization	7	0.8682	10.2	0.7385	11.9	0.135	1.96
Antioxidant capacity (DPPH)	No spectral preprocessing	8	0.9856	357	0.8384	846	-63.6	2.49

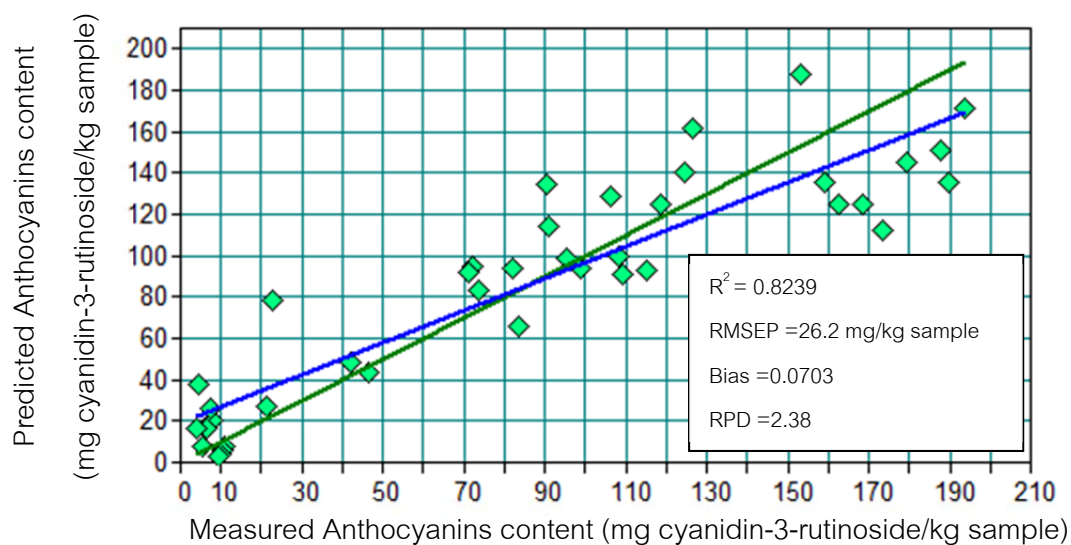
หมายเหตุ: R^2 : coefficients of determination, RMSEP: root mean square error of prediction, RMSEE: root mean square error of estimation and RPD: ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP

4.1.2.2.2 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจาย (scattering plot) ของสารที่ออกฤทธิ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของน้ำมัลเบอรี่สกัดเข้มข้น

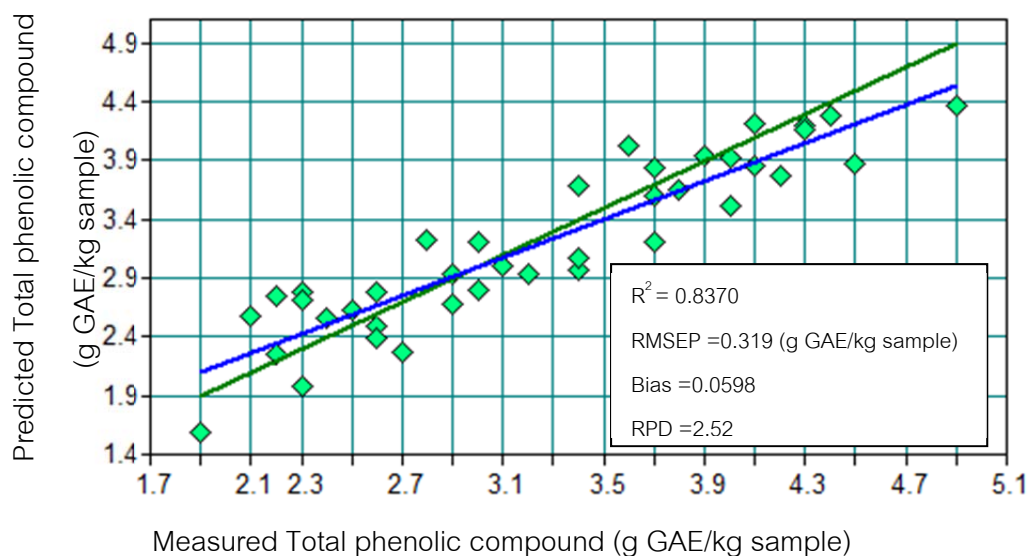
ความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วย NIRS สำหรับปริมาณแอนโทไซยานินทั้งสองชนิด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณวิตามินซี และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) ของน้ำมัลเบอรี่สกัดเข้มข้นทั้งสองยี่ห้อแสดงดังภาพที่ 8-12 ตามลำดับ โดยจากลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณวิตามินซีมีการกระจายตัวของข้อมูลเป็นช่วงกว้างเข้าใกล้เส้น target line บ่งบอกถึงการทำนายที่แม่นยำ ค่าทางเคมีที่วิเคราะห์ได้และค่าการทำนายจาก NIR มีความสัมพันธ์กันสูง ในทางตรงกันข้ามพบว่าลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณแอนโทไซยานิน cyanidin-3-glucoside และ cyanidin-3-rutinoside มีการกระจายตัวของข้อมูลเป็นช่วงกว้างเช่นเดียวกันแต่มีลักษณะกระจายออกห่างจากเส้น target line ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการกระเจิงของแสง (scattering) ซึ่งมีผลมาจากอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในตัวอย่าง และยังพบว่าการกระจายตัวของข้อมูลซึ่งกระจุกตัวอยู่ในกลุ่มของข้อมูลตัวอย่างชุดควบคุมทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในชุดตัวอย่างควบคุมมีปริมาณแอนโทไซยานินในความเข้มข้นที่ต่ำซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำของ NIR ในการตรวจสอบปริมาณสารดังกล่าวซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Dykes และคณะ (2014) ซึ่งศึกษาการทำนายปริมาณคอนเดนส์แทนนิน (condensed tannins) ในข้าวฟ่างด้วย NIR จากผลการทดลองพบว่าเนื่องจากในข้าวฟ่างมีปริมาณ condensed tannins ในความเข้มข้นที่ต่ำหรือไม่สามารถตรวจสอบได้ในบางตัวอย่าง ส่งผลโดยตรงต่อการวิเคราะห์ในเชิงปริมาณด้วยวิธี NIR สังเกตได้จากค่าสหสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้จากทางเคมีและค่าที่ทำนายจาก NIR ที่มีความสัมพันธ์กันต่ำ



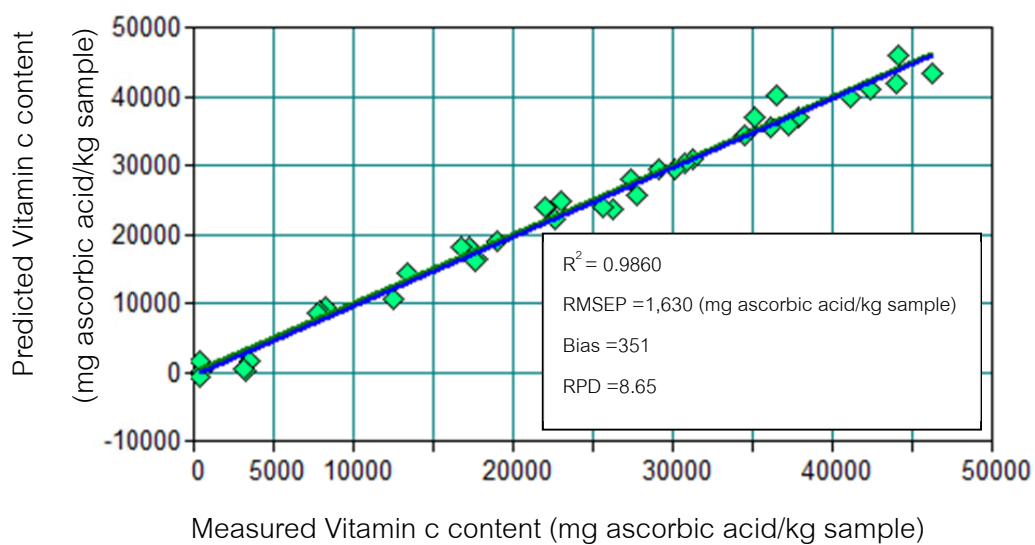
ภาพที่ ๘ ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณแอนโทไซยานิน
(mg cyanidin-3-glucoside/kg sample) ที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Vector
Normalization



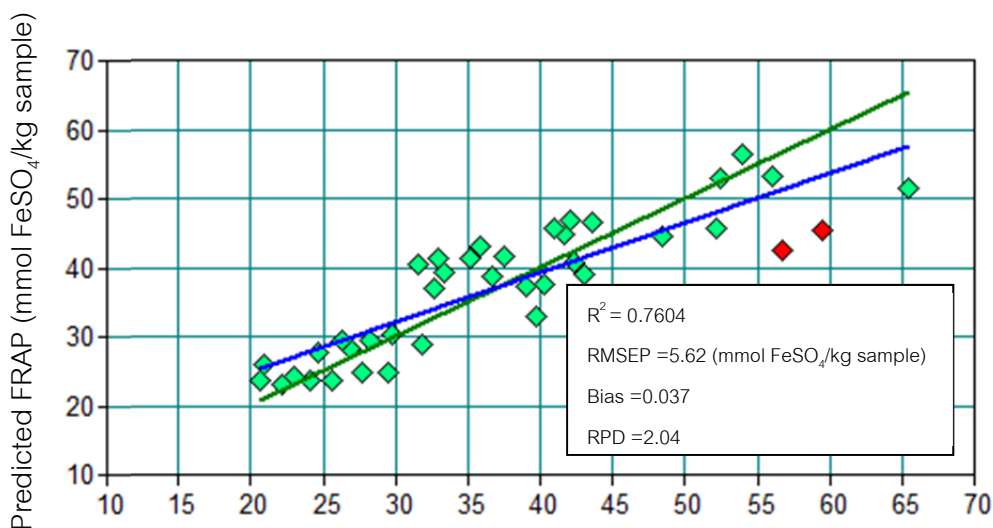
ภาพที่ ๙ ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณแอนโทไซยานิน
(mg cyanidin-3-rutinoside/kg sample) ที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Vector
normalization



ภาพที่ 10 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/kg sample) ที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Vector normalization



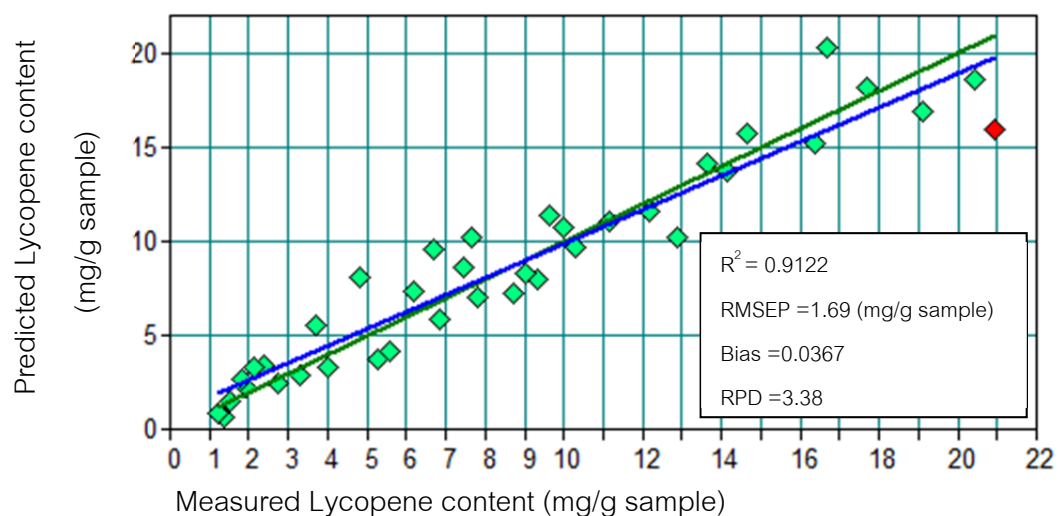
ภาพที่ 11 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณวิตามินซี (mg ascorbic acid/kg sample) ที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Vector normalization



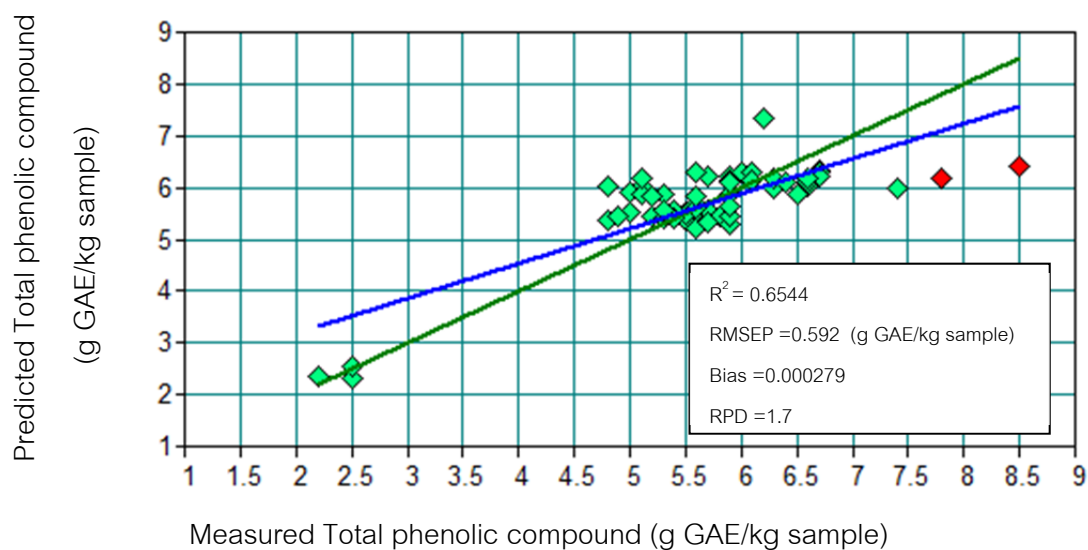
ภาพที่ 12 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (mmol FeSO₄/kg sample) ที่ปรับแต่งสเกลด้วยวิธี Min-max normalization

4.1.2.2.3 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจาย (scattering plot) ของสารที่ออกฤทธิ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของน้ำมะเขือเทศกั๊ดเข้มข้น

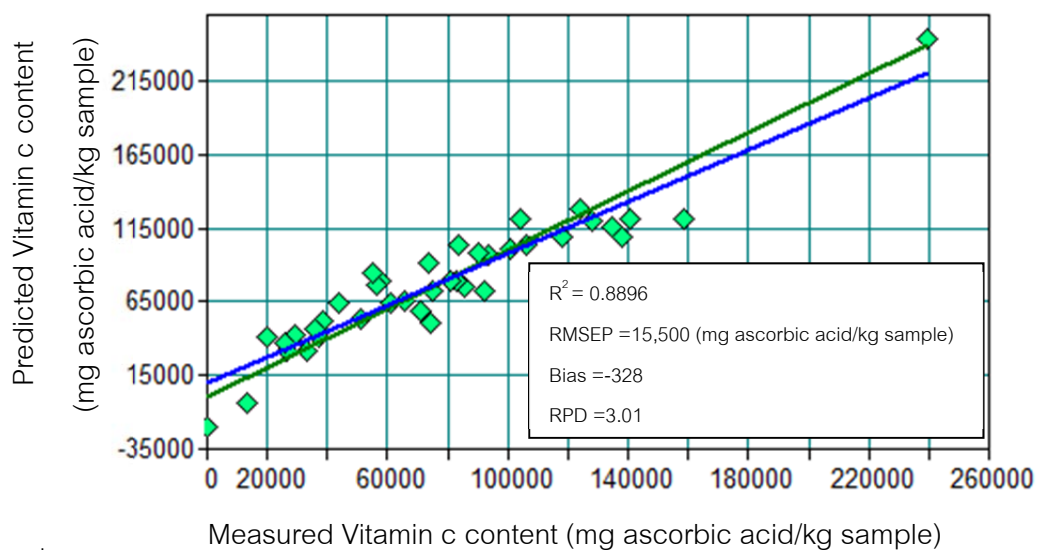
สำหรับลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของสมการทำนายปริมาณไลโคปีนและปริมาณวิตามินซีของน้ำมะเขือเทศกั๊ดเข้มข้น พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวและมีแนวโน้มไปทางเดียวกับเส้น target line บ่งบอกว่าค่าการผิดพลาดในการทำนายต่ำและบอกถึงประสิทธิภาพในการทำนายที่ดี ในทางตรงกันข้ามพบว่าลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีค่ากระจายตัวในช่วงแคบและมีลักษณะกระจายออกห่างจากเส้น target line เช่นเดียวกับลักษณะการกระจายตัวข้อมูลของสมการทำนายค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ในน้ำมะเขือเทศกั๊ดเข้มข้นที่มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการกระเจิงของแสง ซึ่งมีผลมาจากอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในตัวอย่างน้ำมะเขือเทศกั๊ดเข้มข้น รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 13-16



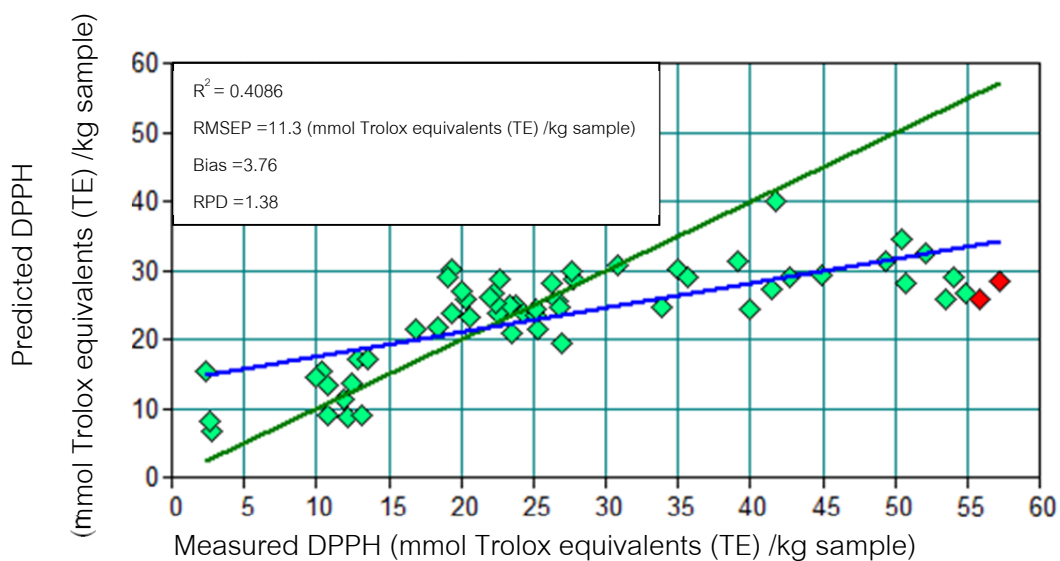
ภาพที่ 13 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณไลโคปีน (mg/g sample) ที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี First derivative



ภาพที่ 14 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/kg sample) ที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Multiplicative scattering Correction



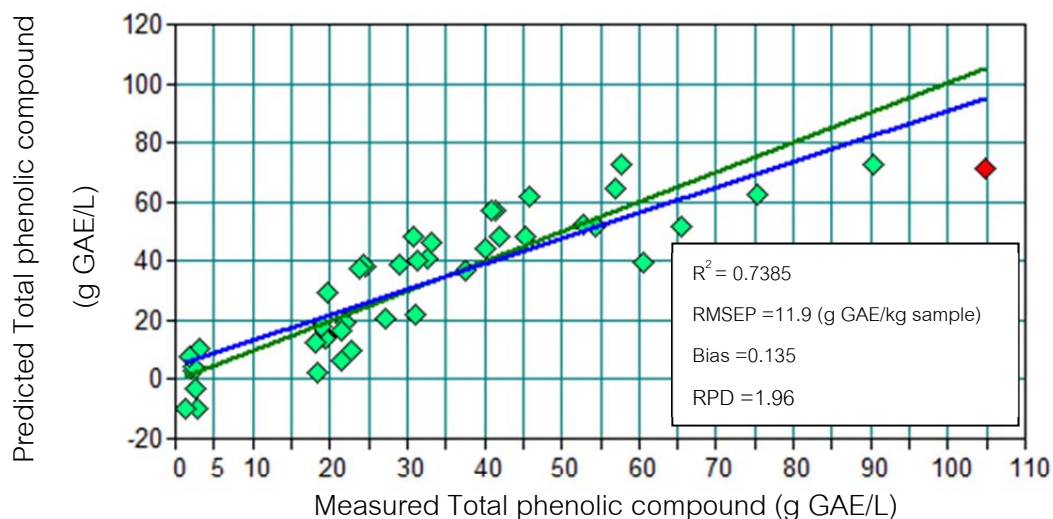
ภาพที่ 15 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณวิตามินซี (mg ascorbic acid/kg sample) ที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี First derivative ร่วมกับวิธี Vector normalization



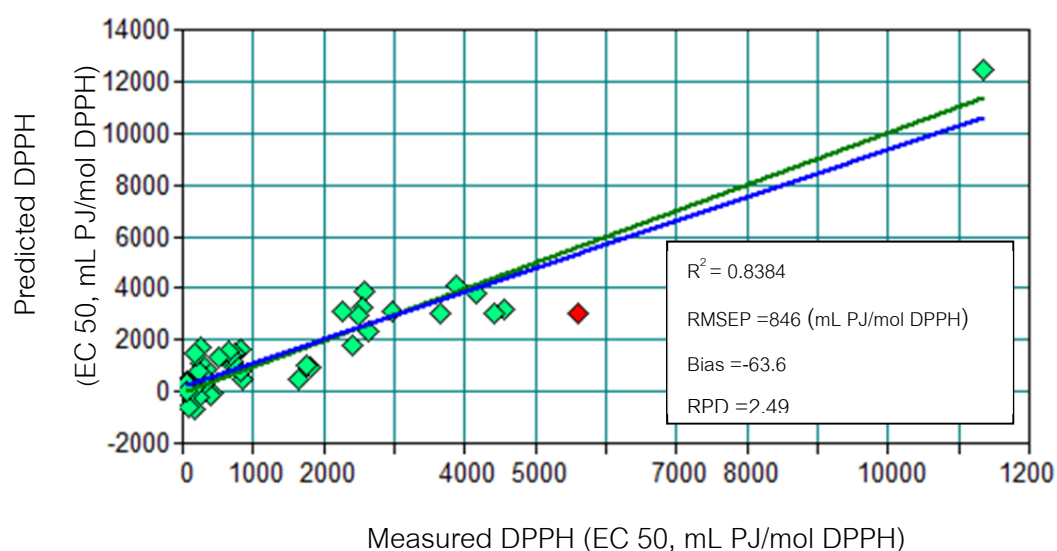
ภาพที่ 16 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH (mmol Trolox equivalents (TE) /kg sample) ที่ไม่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัม

4.1.2.2.4 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจาย (scattering plot) ของสารที่ออกฤทธิ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพของน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น

สำหรับลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของสมการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ของน้ำทับทิมสกัดเข้มข้นทั้งสามยี่ห้อแสดงดังภาพที่ 17 และ 18 ตามลำดับ



ภาพที่ 17 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (g GAE/L sample) ที่ปรับแต่งสเกลตรึงด้วยวิธี Min-max normalization



ภาพที่ 18 ลักษณะการกระจายจุดบนกราฟการกระจายของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (EC 50, mL PJ/mol DPPH) ที่ไม่ผ่านการปรับแต่งสเกลตรึง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผล

1.จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่าเทคนิค NIR มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ติดตามปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพซึ่ง ได้แก่ แอนโทไซยานิน ไลโคปีน วิตามินซี และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมัลเบอรี่สกัดเข้มข้น น้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้นได้

2.เทคนิค NIR มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ติดตามความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น และน้ำทับทิมสกัดเข้มข้น และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของน้ำมัลเบอรี่สกัดเข้มข้นได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

หากต้องการปรับสมการให้มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำมาใช้จริงในระดับการประกันคุณภาพได้ควรใช้ตัวอย่างที่มีความหลากหลายในการสร้างสมการที่มากกว่า 200 ตัวอย่างขึ้นไป และครอบคลุมปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระตามที่โรงงานอุตสาหกรรมใช้จริง ทั้งนี้ในส่วนของผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีให้ค่า Bias และ RMSEP สูง เนื่องจากช่วงของข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์มีช่วงค่อนข้างกว้าง จึงส่งผลให้ค่าดังกล่าวมีค่าสูงตามไปด้วย

บรรณานุกรม

- จิราวรรณ ฤกษ์จิตร. 2554. การผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นพร้อมดื่มจากน้ำมะเขือเทศน้ำหมอนโดยการระเหยภายใต้สุญญากาศ. การค้นคว้าแบบอิสระ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ทง ภัทรชพันธุ์. 2549. บทที่ 23 อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. (พิมพ์ ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 450.
- วสันต์ นุ้ยภิรมย์. 2546. หม่อนรับประทานผลและการแปรรูป. เชียงใหม่: สถาบันวิจัยหม่อนไหม กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร สถิตินำเข้า-ส่งออก. (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา:
http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php (เข้าถึงวันที่ 7 มิถุนายน 2559)
- โอภา วัชรคุปต์ ปรีชา บุญจูง จันทนา บุญยรัตน์ และมาลีรักษ์ อัดตสินทอง. 2549. สารต้านอนุมูลอิสระ: สารต้านอนุมูลสังเคราะห์. พี.เอส.พรินท์. กรุงเทพฯ. 190 หน้า.
- Amarowicz R., Pegg R.B., Rahimi-Moghaddam P., Barl B. and J.A. Weil. 2004. Free-radical scavenging capacity and antioxidant activity of selected plant species from the Canadian prairies. Food Chemistry, 84: 551-562.
- Ayvaz, H., Sierra-Cadavid, A., Aykas, D. P., Mulqueeney, B., Sullivan, S., and Rodriguez-Saona, L. E. 2016. Monitoring multicomponent quality traits in tomato juice using portable mid-infrared (MIR) spectroscopy and multivariate analysis. Food Control. 66, 79-86.
- Barba, O. A., Hurtado, C. M., Sa´nchez, M. C., Ruiz, F. V. and Tejada, L. M. 2006. Application of a UV-vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and b-carotene in vegetables. Journal of Food Chemistry. 95: 328-336.
- Benzie, I. F., and Strain, J. J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. Analytical Biochemistry. 239(1): 70-76.
- Brand-William, W., Cuvelier, M.E., and C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity, Lebensmittel-Wissenschaft & Technology, 28: 25-30.

- Bravo, L. 1998. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Reviews*. 56, 317-333.
- Brown, P.N., and Shipley, P.R. 2011. Determination of anthocyanins in cranberry fruit and cranberry fruit products by high-performance liquid chromatography with ultraviolet detection: single-laboratory validation. *Journal of AOAC International*. 94(2): 459.
- Chen, Q., Zhao, J., Liu, M., Cai, J. and J. Liu. 2008. Determination of total polyphenols content in green tea using FT-NIR spectroscopy and different PLS algorithms. *Jornal of Phamaceutical and Biomedical Analysis*. 46: 568-573
- Chen, Q., Zhao, J., Chaitep, S. and Z. Guo. 2009. Simultaneous analysis of main catechin contents in green tea (*Camellia sinensis* (L.)) by Fourier transform near infrared reflectance (FT-NIR) spectroscopy. *Food Chemistry*. 113: 1272-1277.
- Chen, Q., Guo, Z., Zhao, J. and Q. Ouyang. 2012. Comparisons of different regressions tools in measurement of antioxidant activity in green tea using near infrared spectroscopy. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 60: 92-97
- Cozzolino, D., Kwiatkowski, M.J., Parker, M., Cynkar, W.U., Damberg, R.G., Gishen, M. and M.J. Herderich. 2004. Prediction of phenolic compounds in red wine fermentations by visible and near infrared spectroscopy. *Analytica Chimica Acta*. 513: 73-80.
- de Souza, V. R., Pereira, P. A. P., da Silva, T. L. T., de Oliveira Lima, L. C., Pio, R., and Queiroz, F. 2014. Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food chemistry*. 156: 362-368.
- Dykes, L., Hoffmann Jr, L., Portillo-Rodriguez, O., Rooney, W.L., and Rooney, L. W. 2014. Prediction of total phenols, condensed tannins, and 3-deoxyanthocyanidins in sorghum grain using near-infrared (NIR) spectroscopy. *Journal of Cereal Science*. 60(1): 138-142.
- EC(2001). Council Directive 2001/112/EC of 20 December 2001 relating to fruit juices and certain similar products intended for human consumption. *Official Journal of the European Communities*. L10. 58-66.
- Ercisli, S., and Orhan, E. 2007. Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits. *Food Chemistry*. 103(4), 1380-1384.

- Fernandes, A.M., Oliveira, P., Moura, J.P., Oliveira, A.A., Falco, V., Correia, M.J. and P. Melo-Pinto. 2011. Determination of anthocyanin concentration in whole grape in whole grape skins using hyperspectral imaging and adaptive boosting neural networks. *Journal of Food Engineering*. 105:216-226.
- Fernandez-Novales, J., Lopez, M.I., Sanchez, M.T., Garcia, J.A. and J. Morales. 2009. A feasibility study on the use of a miniature fiber optic NIR spectrometer for the prediction of volumic mass and reducing sugars in white wine fermentations. *Journal of Food Engineering*. 89: 325-329.
- Fernandez-Novales, J., Lopez, M.I., Sanchez, M.T., Morales, J. and V. Gonzalez-Caballero. 2009. Shortwave-near infrared spectroscopy for determination of reducing sugar content during grape ripening, winemaking, and aging of white and red wines. *Food research international*. 42: 285-291.
- Ferrer-Gallego, R., Hernandez-Hierro, J.M., Rivas-Gonzalo, J.C. and M.T. Escribano-Bailon. 2011. Determination of phenolic compounds of grapes skins during ripening by NIR spectroscopy. *LWT Food Science and Technology*. 44: 847-853.
- Frizon, C. N. T., Oliveira, G. A., Perussello, C. A., Peralta-Zamora, P. G., Camlofski, A. M. O., Rossa, Ü. B., and Hoffmann-Ribani, R. 2015. Determination of total phenolic compounds in yerba mate (*Ilex paraguariensis*) combining near infrared spectroscopy (NIR) and multivariate analysis. *LWT - Food Science and Technology*. 60(2, Part 1): 795-801.
- Gundogdu, M., Muradoglu, F., Sensoy, R. G., and Yilmaz, H. 2011. Determination of fruit chemical properties of *Morus nigra* L., *Morus alba* L. and *Morus rubra* L. by HPLC. *Scientia Horticulturae*. 132: 37-41.
- Hafidh, R., Abas, F., Abdulamir, A., Jahanshiri, F., Bakarand, F. and Z. Sekawi. 2009. A review: Cancer research of natural products in Asia. *International Journal of Cancer Research*, 5 (2): 69-82.
- Hall, M. N., Robertson, A., and Scotter, C. N. 1988. Near-infrared reflectance prediction of quality, theaflavin content and moisture content of black tea. *Food Chemistry*. 27(1): 61-75.

- Harborne, J. B. 1989. General procedures and measurement of total phenolics. In J. B. Harborne (Ed.). *Methods in plant biochemistry. Plant Phenolics*. London: Academic Press. (1)1-28.
- Harborne, J.B., Baxter, H. and G.P. Moss. 1999. *Phytochemical dictionary: Handbook of bioactive compounds from plants*. 2nd ed. London: Taylor and Francis.
- Harish, M. C. and Sathishkumar, S. 2011. Antioxidant Potentials of Skin, Pulp, and Seed Fractions of Commercially Important Tomato Cultivars. *Food Science Biotechnology*. 20(1): 15-21.
- Hernández, Y., Gloria Lobo, M. and M. González. 2006. Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. *Food Chemistry*. 96; 654-664.
- Ilahy, R., Hdider, C., Lenucci, M. S., Tlili, I., and Dalessandro, G. 2011. Antioxidant activity and bioactive compound changes during fruit ripening of high-lycopene tomato cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*. 24(4), 588-595.
- Janik, L.J., Cozzolino, D., Damberg, R., Cynkar, W. and M. Gishen. 2007. The prediction of total anthocyanin concentration in red-grape homogenates using visible-near-infrared spectroscopy and artificial neural networks. *Analytica Chimica Acta*. 594: 107-118.
- Kaewsorn, K., and Sirisomboon, P. 2014. Determination of the gamma-aminobutyric acid content of germinated brown rice by near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 22: 45-54.
- Kamiloglu, S., Serali, O., Unal, N., and Capanoglu, E. 2013. Antioxidant activity and polyphenol composition of black mulberry (*Morus nigra* L.) products. *Journal of Berry Research*. 3(1).
- Karel, M., and Lund, D.B. 2003. *Physical Principles of Food preservation: Revised and Expanded*. CRC Press. 129: 338.
- Kongsuwan, A., Suthiluk, P., Theppakorn, T., Srilaong, V. and S. Setha. 2009. Bioactive compounds and antioxidant capacities of phulae and nanglae pineapple. *Asian Journal of Food and Agro-industry. Special Issue*, S44-S50.
- Leong, L.P. and G. Shui. 2002. An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. *Food Chemistry*. 76; 69–75.
- Maisuthisakul, P., Suttajit, M. and R. Pongsawatmanit. 2007. Assessment of phenolic

- content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. *Food Chemistry*. 100: 1409-1418.
- Mariani, N. C. T., de Almeida Teixeira, G. H., de Lima, K. M. G., Morgenstern, T. B., Nardini, V., and Júnior, L. C. C. 2015. NIRS and iSPA-PLS for predicting total anthocyanin content in jaboticaba fruit. *Food chemistry*. 174: 643-648.
- Martelo-Vidal, M.J., and Vázquez, M. 2014. Determination of polyphenolic compounds of red wines by UV–VIS–NIR spectroscopy and chemometrics tools. *Food Chemistry*. 158: 28-34.
- McGoverin, C. M., Weeranantanaphan, J., Downey, G., and Manley, M. 2010. The application of near infrared spectroscopy to the measurement of bioactive compounds in food commodities. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 18(2): 87-111.
- Medina, M. B. 2011. Determination of the total phenolics in juices and superfruits by a novel chemical method. *Journal of functional foods*. 3(2): 79-87.
- Miguel, M. G., Neves, M. A., and Antunes, M. D. 2010. Pomegranate (*Punica granatum* L.): A medicinal plant with myriad biological properties-A short review. *Journal of Medicinal Plants Research*. 4(25), 2836-2847.
- Mphahlele, R. R., Caleb, O. J., Fawole, O. A., and Opara, U. L. 2016. Effects of different maturity stages and growing locations on changes in chemical, biochemical and aroma volatile composition of 'Wonderful' pomegranate juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 96(3), 1002-1009.
- Mphahlele, R. R., Fawole, O. A., Mokwena, L. M., and Opara, U. L. 2016. Effect of extraction method on chemical, volatile composition and antioxidant properties of pomegranate juice. *South African Journal of Botany*. 103, 135-144.
- Osborne, B.G., Fearn, T., and Hindle, P.H. 1993. *Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis*. Longman Scientific and Technical Singapore. 29.
- Osborne, B.G. 2000. *Near Infrared spectroscopy in food analysis*. BRI Australia Ltd, North Ryde, Australia. Wiley. Newyork. pp. 1-14.

- Özgen, M., Serçe, S., and Kaya, C. 2009. Phytochemical and antioxidant properties of anthocyanin-rich *Morus nigra* and *Morus rubra* fruits. *Scientia Horticulturae*. 119(3): 275-279.
- Pantelidis, G. E., Vasilakakis, M., Manganaris, G. A., and Diamantidis, G. R. 2007. Antioxidant capacity, phenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries, blackberries, red currants, gooseberries and Cornelian cherries. *Food chemistry*. 102(3), 777-783.
- Páscoa, R. N., Magalhães, L.M., and Lopes, J. A. 2013. FT-NIR spectroscopy as a tool for valorization of spent coffee grounds: Application to assessment of antioxidant properties. *Food Research International*. 51(2): 579-586.
- Pawlowska, A. M., Oleszek, W., and Braca, A. 2008. Quali-quantitative analyses of flavonoids of *Morus nigra* L. and *Morus alba* L. (Moraceae) fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56(9): 3377-3380.
- Rao, A. V., Waseem, Z., and Agarwal, S. 1998. Lycopene content of tomatoes and tomato products and their contribution to dietary lycopene. *Food Research International*. 31(10), 737-741.
- Ross, M. 1994. Determination of ascorbic acid and uric acid in plasma by high performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography*. 657: 197-200.
- Sinija, V.R. and H.N. Mishra. 2009. FT-NIR spectroscopy for caffeine estimation in instant green powder and granules. *LWT Food Science and Technology*. 42: 998-1002.
- Valente, A., Albuquerque, T. G., Sanches-Silva, A., and Costa, H. S. 2011. Ascorbic acid content in exotic fruits: A contribution to produce quality data for food composition databases. *Food Research International*. 44(7): 2237-2242.
- Viuda-Martos, M., Fernández-López, J., & Pérez-Álvarez, J. A. 2010. Pomegranate and its many functional components as related to human health: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 9(6), 635-654.
- Wu, D., Chen, J., Lu, B., Xiong, L., He, Y., and Zhang, Y. 2012. Application of near infrared spectroscopy for the rapid determination of antioxidant activity of bamboo leaf extract. *Food Chemistry*. 135(4): 2147-2156.
- Xiao-Meng C., Chang-Qin H., Yan-chun F., and Huan-Huan P. 2009. Construction of a

- universal model for non-invasive identification of penicillins for injection using near-infrared diffuse reflectance spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy*. 51(2). 313-317.
- Xiaoying, N., Zhilei, Z., Kejun, J. and L. Xiaoting. 2012. A feasibility study on quantitative analysis of glucose and fructose in lotus root powder by FT-NIR spectroscopy and chemometrics. *Food Chemistry*. 133: 592-597.
- Zhang, M.H., Luypaert, J., Pierna, F., Xu, Q.S. and D.L. Massart. 2004. Determination of total antioxidant capacity in green tea by near-infrared spectroscopy and multivariate calibration. *Talanta*. 62: 25-35.
- Zujko, M. E., and Witkowska, A. M. 2014. Antioxidant potential and polyphenol content of beverages, chocolates, nuts, and seeds. *International Journal of Food Properties*. 17(1): 86-92.

ภาคผนวก

1. ปริมาณแอนโทไซยานิน ด้วยวิธี HPLC ดัดแปลงจากวิธีของ Brown และคณะ (2011)

- ในการวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินจะใช้คอลัมน์ C18 และใช้ mobile phase A เป็นสารละลายผสมระหว่าง water-phosphoric acid (99.5 + 0.5, v/v) กับ mobile phase B เป็นสารละลายผสมระหว่าง water-acetonitrile-glacial acetic acid-phosphoric acid (50.0 + 48.5 + 1.0 + 0.5, v/v/v/v) อัตราการไหลที่ 1.2 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาณการฉีดที่ 10 ไมโครลิตร ติดตามปริมาณสารแอนโทไซยานินที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร และตรวจวัดด้วย photodiode array detector คำนวณปริมาณแอนโทไซยานิน โดยหาอัตราส่วนพื้นที่ peak เทียบกับกราฟมาตรฐาน รายงานผลเป็นแอนโทไซยานิน 2 ชนิดหลักที่พบในตัวอย่างคือ mg cyanidin-3-glucoside และ mg cyanidin-3-rutinoside ต่อกรัมตัวอย่าง

2. ปริมาณไลโคปีน ด้วยวิธี HPLC ดัดแปลงวิธีจาก Barba และคณะ (2006)

- ชั่งน้ำหนักมะเขือเทศสดเข้มข้น 2.5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตรโดยจะคลุมด้วยถุงดำเพื่อป้องกันแสง ใช้เฮกเซน อะซิโตน และเอทานอล อัตราส่วน 2:1:1 เป็นตัวทำละลายปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปสกัดโดยใช้ magnetic bar กวนเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร สารที่เราสนใจลอยอยู่บนน้ำ จากนั้นดูดสารละลายส่วนใสที่เราสนใจ 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดกั่นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วนำไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยตัวทำละลายแบบหมุนควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 150 rpm จนตัวทำละลายระเหยออกหมดแล้วปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยเฮกเซนในขวดปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นดูดสารสกัดที่ได้ผ่านตัวกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร ใส่ขวดแก้วขนาด 1.5 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC โดยมีเมทานอล และอะซิโตนในไตรล์ อัตราส่วน 90:10 เป็น mobile phase ใช้คอลัมน์ Reverse-phase C18 stable bond อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้ระบบ isocratic กำหนดอัตราการไหล 0.9 มิลลิลิตรต่อนาที โดยสารที่ฉีดเข้าไปปริมาตร 20 ไมโครลิตร และควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ที่ 30 องศาเซลเซียส วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 475 นาโนเมตร

- การสร้างกราฟมาตรฐานไลโคปีน โดยเตรียมสารมาตรฐานไลโคปีน ที่มีความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC และทำการ plot กราฟระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้น รายงานผล เป็นมิลลิกรัมไลโคปีนต่อกรัมตัวอย่าง

3. ปริมาณวิตามินซี ด้วยวิธี HPLC ดัดแปลงวิธีจาก Ross และคณะ (1994) และวิธีของ Valente และคณะ (2011)

3.1 วิธีสกัดวิตามินซีจากน้ำผลไม้ (Ross, 1994)

- ชั่งตัวอย่างน้ำผลไม้ 2.5 ± 0.0005 กรัม ปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดเมตาฟอสฟอริก ความเข้มข้น 10% (w/v) ในขวดปรับปริมาตรขนาด 5 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าสาร (Vortex Mixer) เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องแยกสารแบบหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10000 รอบต่อนาที โดยกำหนดเวลา 5 นาที กรองสารละลายส่วนใสด้วยกระดาษกรองชนิด nylon ที่มีความละเอียด 0.45 ไมโครเมตร ชั่งตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร เข้าเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง โดยติดตามปริมาณวิตามินซีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร

3.2 รายละเอียดของสภาวะ HPLC (Valente et al., 2011; Food Research International)

- คอลัมน์ C18 (250x4.6 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ไมครอน Phenomenex, Torrance, CA, USA)

- เฟสเคลื่อนที่ คือ สารละลายแอมโมเนียม ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต (ammonium dihydrogen phosphate) ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 3.5 (โดยทำการปรับพีเอช ด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 85%) ที่ประกอบด้วยกรดเมตาฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.015 % (w/v)

- อัตราการไหล 0.6 มิลลิลิตร/นาที อุณหภูมิคอลัมน์ 30 องศาเซลเซียส

- ติดตามปริมาณวิตามินซีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร

4. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu assay ดัดแปลงมาจากวิธีของ Maisuthisakul และคณะ (2007) และวิธีของ Harish และคณะ (2011)

4.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu assay ดัดแปลงมาจากวิธีของ Maisuthisakul และคณะ (2007) สำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำทับทิมสกัดเข้มข้นและน้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น

- ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (Total phenolic compound)

1. การเตรียมสารละลายกรดมาตรฐานกรดแกลลิก

1.1 ชั่งน้ำหนักกรดแกลลิก 0.100 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน)

1.2 ละลายกรดแกลลิกด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนได้ 50 มิลลิลิตร ใช้เป็น Stock solution

1.3 ปิเปต Stock solution ที่เตรียมไว้ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, และ 0.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกรดแกลลิกมาตรฐาน

ความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80, 100 ppm ตามลำดับ

1.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร และนำมาสร้างกราฟมาตรฐาน

2. การวิเคราะห์

2.1 เจือจางเครื่องต้มน้ำมีลเบอรี่สกัดเข้มข้นโดยเจือจางด้วยน้ำที่ระดับการเจือจางเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

2.2 ปิเปตสารละลายที่ได้จากการเจือจางข้างต้นปริมาตร 400 ไมโครลิตร ใส่ขวดสีชาแล้วเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent ความเข้มข้นร้อยละ 10 (w/w) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

2.3 เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 (w/w) ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากันโดยการเขย่า ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 120 นาที

2.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร

2.5 ใช้กรดแกลลิกเป็นสารละลายมาตรฐานในการทำ Calibration curve

หมายเหตุ Control: เมทานอล 70 % (v/v) 400 ไมโครลิตร + Folin-Ciocalteu reagent 2

มิลลิลิตร + โซเดียมคาร์บอเนต 1.6 มิลลิลิตร

Blank: น้ำกลั่น

4.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu assay ดัดแปลงมาจากวิธีของ Harish และคณะ (2011) สำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น

- การสกัดสารประกอบฟีนอลจากตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้นทำได้โดย ซึ่งตัวอย่างน้ำมะเขือเทศสกัดเข้มข้น 1 กรัม ใส่ในขวดปริมาตร 10 มิลลิลิตรจากนั้นปรับปริมาตรด้วยเมทานอลแล้วนำไปสกัดโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงเป็นเวลา 10 นาที ความเร็วรอบ 6000 rpm ดังภาพที่ 9 จากนั้นเทสารละลายส่วนใสผ่านกระดาษกรอง Whatman No.4 ลงในขวดสีชาขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วนำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยทำการเจือจาง สารสกัดให้มีความเข้มข้น 1/20 ปิเปตสารสกัดมา 0.4 มิลลิลิตร เกิดปฏิกิริยากับสารละลาย Folin – Ciocalteu reagent ความเข้มข้น 10% (v/v) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 7.5% (w/v) ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 90 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

โดยใช้ 0.4 มิลลิลิตรของเมทานอลผสมกับ 2 มิลลิลิตรของ Folin – Ciocalteu reagent และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 1.6 มิลลิลิตร เป็น control และน้ำกลั่นเป็น blank

- การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยเทียบกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐานในการทำ calibration curve ที่ความเข้มข้นต่างๆ (0, 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) ทำการวิเคราะห์เหมือนกับสารสกัดจากน้ำมะเขือเทศแต่ใช้สารละลายกรดแกลลิกแทนสารสกัดจากน้ำมะเขือเทศ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 nm โดยใช้ 0.4 มิลลิลิตรของเมทานอลผสมกับ 2 มิลลิลิตรของ Folin – Ciocalteu reagent และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 1.6 มิลลิลิตรเป็น control และน้ำกลั่นเป็น blank นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก โดยให้แกน x เป็นค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิก และแกน y เป็นค่าการดูดกลืนแสง นำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างมาเทียบกับกราฟมาตรฐาน ซึ่งค่าที่ได้แสดงเป็นกรัมกรดแกลลิกต่อกิโลกรัมตัวอย่าง

5. ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ตามวิธีของ Benzie และ Strain (1996)

- เตรียมสารละลาย FRAP reagent โดยผสม 300 มิลลิโมล ของสาร acetate buffer pH 3.6 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร, 10 มิลลิโมลของสาร TPTZ (2,4,6-tripyridyl-triazine) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร, 20 มิลลิโมลของ $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และน้ำ deionized 12 มิลลิลิตร อุ่นไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการดูดสารสกัดของตัวอย่างน้ำมัลเบอร์รี่สกัดเข้มข้น 100 ไมโครลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลาย FRAP reagent 3 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดย control คือ เมทานอล 70% (v/v) 100 ไมโครลิตร + สารละลาย FRAP reagent 3 มิลลิลิตร และ Blank คือ น้ำกลั่น

- การเตรียมกราฟมาตรฐานทำได้โดยเตรียมสารละลาย FeSO_4 เข้มข้น 0.2-1.0 มิลลิโมล ปิเปตสารละลาย FeSO_4 ที่เตรียมไว้ 100 ไมโครลิตร มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย FRAP reagent 3 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดย control คือ เมทานอล 70% (v/v) 100 ไมโครลิตร + สารละลาย FRAP reagent 3 มิลลิลิตร และ Blank คือ น้ำกลั่น นำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างมาเทียบกับกราฟมาตรฐาน ซึ่งค่าที่ได้แสดงเป็นมิลลิโมลสาร FeSO_4 ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง

6. ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ตามวิธีของ Brand-Williams และคณะ (1995)

- การเตรียมสาร 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) 6×10^{-5} M ด้วยเมทานอล

โดยการชั่ง DPPH 0.0047 แล้วใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายปรับปริมาตรจนได้ 100 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตร

- การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ทำได้โดยเจือจาง สารสกัดให้มีความเข้มข้น 1/20, 50, 100, 200, 500 และ 1000 ใช้ปิเปตสารสกัดมา 1 มิลลิลิตร เกิดปฏิกิริยากับ DPPH 6×10^{-5} M ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้เมทานอล 1 มิลลิลิตรผสมกับ 2 มิลลิลิตร DPPH เป็น control และเมทานอลเป็น blank การวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยเทียบกราฟมาตรฐานของ Trolox โดยใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐานในการทำ calibration curve ที่ความเข้มข้นต่างๆ (0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) ทำการวิเคราะห์เหมือนกับสารสกัดจากน้ำมะเขือเทศแต่ใช้สารละลาย Trolox แทนสารสกัดจากน้ำมะเขือเทศ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้ 1 มิลลิลิตร เมทานอลผสมกับ 2 มิลลิลิตรของ DPPH เมทานอลเป็น blank นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานของ Trolox โดยให้แกน x เป็นค่าความเข้มข้นของ Trolox และแกน y เป็นค่าการดูดกลืนแสง นำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างมาเทียบกับกราฟมาตรฐาน ซึ่งค่าที่ได้แสดงเป็น มิลลิโมล Trolox ต่อกรัมของตัวอย่าง

การเผยแพร่ผลงานวิจัย

ภัทรภรณ์ ธาตุวิจักษณ์ เพ็ญณา ตั้งขยัน พิลาศลักษณ์ วิชัยดิษฐ์ ปิยะพร เนียมมณี ปราโมทย์ คูวิจิตร จารุ และบุศราภรณ์ มหาโยธี. 2557. การทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำทับทิมสกัดเข้มข้นด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้. การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 12. 16-18 กรกฎาคม 2557, โรงแรมดิ เอ็มเพรส เชียงใหม่ (โปสเตอร์)

พิลาศลักษณ์ วิชัยดิษฐ์ บุศราภรณ์ มหาโยธี และ ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ. 2559. การตรวจสอบ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในน้ำมัลเบอรี่ สกัดเข้มข้นอย่างรวดเร็วด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้. โครงการประชุมวิชาการ บัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6 เรื่อง “สหวิทยาการสร้างสรรค์เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน” 11-12 กรกฎาคม 2559, ณ ศูนย์สันสกฤตศึกษา มหาวิทยาลัยศิลปากร เขตทวีวัฒนา กรุงเทพฯ (ภาคบรรยาย)

ประวัติผู้วิจัย

ตอนที่ 1 ประวัติทั่วไป

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

1. ชื่อ – สกุล (ภาษาไทย) นางสาวบุศราภรณ์ มหาโยธี
(ภาษาอังกฤษ) Ms. Busarakorn Mahayothee
2. วัน เดือน ปีเกิด 14 ธันวาคม 2511
3. รหัสประจำตัวผู้วิจัยของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (ถ้ามี) -
4. ตำแหน่งทางวิชาการปัจจุบัน

☒ ข้าราชการ	☐ พนักงาน
☐ อาจารย์	☐ ชำนาญการ
☒ ผู้ช่วยศาสตราจารย์	☐ เชี่ยวชาญ
☐ รองศาสตราจารย์	☐ เชี่ยวชาญพิเศษ
☐ ศาสตราจารย์	☐ อื่นๆ (โปรดระบุ)
5. สถานที่ทำงาน
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
อ. เมือง จ. นครปฐม โทรศัพท์ 034 219361 โทรสาร 034 219361
E-mail address: busarakomm@yahoo.com
ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 140/449 หมู่บ้านมหามงคล พุทธมนทลสาย 2 กทม
6. ประวัติการศึกษา
 - ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขา เทคโนโลยีอาหาร สถาบัน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีที่จบ พ.ศ. 2532
 - ปริญญาโท M.Sc. สาขา เทคโนโลยีอาหาร สถาบัน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีที่จบ พ.ศ. 2537
 - ปริญญาเอก Ph.D. สาขา Food Technology สถาบัน The University of Hohenheim, Germany ปีที่จบ พ.ศ. 2548
7. วิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา (ชื่อเรื่อง/ปีที่ดำเนินการ ทั้งระดับปริญญาโทและปริญญาเอก)
 - ระดับปริญญาโท
คุณสมบัติของโคโคแซนในการจับ ferric ion ปีที่ดำเนินการ 2537
 - ระดับปริญญาเอก
The Influence of Raw Material on the Quality of Dried Mango Slices (Mangifera indica L.) with Special reference to Postharvest Ripening ปีที่ดำเนินการ 2548

8. สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ การอบแห้ง เทคโนโลยีอาหาร เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว และการตรวจสอบผักและผลไม้แบบไม่ทำลายตัวอย่างด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

9. การนำเสนอผลงานทางวิชาการ

9.1 Conference Proceedings

ภากริกา รุ่งพิชัยพิเชฐ และ **บุศราภรณ์ มหาโยธี**. 2552. การใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีย่านคลื่นใกล้อินฟราเรด (Near Infrared spectroscopy, NIR) ในการติดตามคุณภาพของมะม่วงสำหรับการผลิตมะม่วงตัดแต่งพร้อมบริโภค” ในการประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 8 ระหว่างวันที่ 6-9 พฤษภาคม 2552 ณ โรงแรม ดิ เอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่ (ภาคบรรยาย)

พิริยาอร วรณปิยะรัตน์ และ **บุศราภรณ์ มหาโยธี**. 2549. สารประกอบระเหยที่ให้กลิ่นรสในมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์สุกและที่ผ่านการอบแห้ง. การประชุมสัมมนาวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว/หลังการผลิตแห่งชาติ ครั้งที่ 4 วันที่ 8-9 มิถุนายน 2549 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่ (เสนอในรูปแบบโปสเตอร์)

ศรัณยา ลาภส่งผล จิตารัตน์ ขาติเอกชัย และ **บุศราภรณ์ มหาโยธี**. 2549. การวิเคราะห์การใช้วัตถุดิบอาหารในผลิตภัณฑ์มะม่วงดอง น้ำมะนาวปรุงอาหาร และลำไยอบแห้ง. การประชุมสัมมนาวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 8 นวัตกรรมทางอาหาร 15-16 มิ.ย. 2549 ศูนย์ประชุมนานาชาติไบเทค บางนา กรุงเทพฯ (เสนอในรูปแบบโปสเตอร์)

นิษณา ลุงรุ่ง และ **บุศราภรณ์ มหาโยธี**. 2549. การผลิตสับปะรดแช่อิ่มอบแห้งชนิดที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำและไม่มีสารกลุ่มเมตาโบไลต์. การประชุมสัมมนาวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว/หลังการผลิตแห่งชาติ ครั้งที่ 4 วันที่ 8-9 มิถุนายน 2549 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่ (เสนอในรูปแบบบรรยาย)

บุศราภรณ์ มหาโยธี, Neidhart, S., Leitenberger, M., Mühlbauer, W., Carle, R. 2548. ดัชนีที่เหมาะสมสำหรับวัดระดับการสุกของมะม่วงด้วยวิธีไม่ทำลายตัวอย่างโดยใช้เครื่องสเปกโทรสโกปีช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด. การประชุมสัมมนาวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 7 ในงานแสดงเทคโนโลยีกระบวนการผลิตและบรรจุภัณฑ์ ProPak Asia 2005 วันที่ 22-24 มิถุนายน 2548 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติ ไบเทค กรุงเทพมหานคร (โปสเตอร์)

Janjai S; Sruamsiri P; Intawee P; Thamrongmas C; Lamlert N; Boonrod Y;

Mahayothee B; Precoppe M F; Nagle M; Müller J (2010). Experimental and simulated performance of greenhouse dryer for drying litchi flesh.

International Symposium ‘Sustainable Land Use and Rural Development in

Mountainous Regions of Southeast Asia, Hanoi (Vietnam), 21-23 July 2010, pp. 1-9.

Nagle M; Spreer W; **Mahayothee B**; Janjai S; Sardsud V; Müller J (2010). In-field measurement of fruit respiration for determining climacteric activity and harvest maturity of mango. Proceedings of the XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR) - Section VI: Postharvest Technology and Process Engineering, Quebec City (Canada), 13-17 June 2010, pp. 1-9.

Precoppe M F; Nagle M; Janjai S; **Mahayothee B**; Müller J (2010). Dryer evaluation to optimize small-scale litchi processing in Northern Thailand. Proceedings of the XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR) - Section VI: Postharvest Technology and Process Engineering, Quebec City (Canada), 13-17 June 2010, pp. 1-9.

Precoppe MF, Nagle M, Janjai S, **Mahayothee B**, Müller J. 2010 Small-scale litchi dryer performance at mountainous regions of Northern Thailand. In: International Symposium 'Sustainable Land Use and Rural Development in Mountainous Regions of Southeast Asia', 21-23 July 2010. Hanoi (Vietnam).

Precoppe MF, Nagle M, **Mahayothee B**, Udomkun P, Janjai S, Müller J. 2010 Prediction of Thai consumers preference of dried litchi using reverse engineering and circular ideal point regression. In: Proceedings of the 17th International Drying Symposium (IDS 2010), 3-6 October 2010. Magdeburg (Germany); p. 959-966.

Parika Rungpichayapichet and **Busarakorn Mahayothee**. 2009. Influence of harvesting period on mango quality as determined by near infrared spectroscopy. In The 14th International Conference on Near Infrared Spectroscopy during 7-16 November 2009 in Bangkok, Thailand. (Poster presentation)

Parika Rungpichayapichet, Marcus Nagle, **Busarakorn Mahayothee** and Joachim Müller. 2008. Determination of sweetness for fresh-cut mango processing using near infrared spectroscopy (NIR). In The 1st Asian NIR Symposium and the 24th Japanese NIR Forum during 10-14 November 2008 in Tsukuba city, Japan. (Poster Presentation)

Parika Rungpichayapichet, **Busarakorn Mahayothee**, Marcus Nagle, Methinee Haewsungcharoen, Serm Janjai and Joachim Müller. 2008. The effect of irrigation on harvesting maturity of mango as determined by near infrared spectroscopy (NIR). In The 1st Asian NIR Symposium and the 24th Japanese NIR Forum during 10-14 November 2008 in Tsukuba city, Japan. (Poster Presentation)

Mahayothee, B., R. Wongtom, E. Keowmaneechai, S. Phupaichitkun, M. Haewsungcharern, S. Janjai and J. Mueller. 2006. Influence of drying on browning and sensory characteristics of dried whole longan. In the 15th International Drying Symposium (IDS 2006) during August, 20-23 in Budapest, Hungary (Poster)

Sarawut Phupaichitkun, **Busarakorn Mahayothee**, Methinee Haewsungcharern, Serm Janjai, Joachim Müller. 2006. Drying Behaviour of Thai Unpeeled Longan: Modelling of Water Diffusion with Shrinkage. In the 15th International Drying Symposium (IDS 2006) during August, 20-23 in Budapest, Hungary (Poster)

Serm Janjai, Poolsak Intawee, Chamnong Chaichoet, **Busarakorn Mahayothee**, Methinee Haewsungcharern, Joachim Mueller. 2006. Improvement of the air flow and temperature distribution in a conventional longan dryer. In the International symposium towards sustainable livelihoods and ecosystems in mountainous regions during 7-9 March 2006 at Chiang Mai, Thailand. (Oral Presentation)

Phupaichitkun, S., **Mahayothee, B.**, Haewsungcharern, M., Janjai, S., Mueller, J. 2005. Single-layer drying behavior of longan (*Dimocarpus longan* Lour.). In: Deutscher tropentag, Stuttgart, Germany. (Poster Presentation)

Sarawut Phupaichitkun, **Busarakorn Mahayothee**, Serm Janjai, Methinee Haewsungcharern, Joachim Müller. 2006. Drying behaviour of thai unpeeled longan: modeling of shrinkage inside fruit. In the 15th International Drying Symposium (IDS 2006) during 20-23 August 2006 at Budapest, Hungary. (Poster Presentation)

Mahayothee, B., Leitenberger, M., Neidhart, S., Mühlbauer, W., Carle, R. 2002. Non-destructive determination of fruit maturity of Thai mango cultivars by

near infrared spectroscopy. *Proceedings of the International Symposium "Sustaining Food Security and Managing Natural Resources in Southeast Asia - Challenges for the 21st Century"*, Chiang Mai, Thailand, 08-11.01.2002. (Oral presentation)

<http://www.uni->

[hohenheim.de/symposium2002/frame_contributions_pa.htm](http://www.uni-hohenheim.de/symposium2002/frame_contributions_pa.htm)

Mahayothee, B., Neidhart, S., Leitenberger, M., Mühlbauer, W., Carle, R. 2002. Non-destructive determination of maturity of Thai mangoes by near-infrared spectroscopy (NIR). *Proceedings of the 7th International Mango Symposium*, Recife, Brazil, 22-27.09.2002. (Oral presentation)

Mahayothee, B., Neidhart, S., Mühlbauer, W., Carle, R. 2002. Effects of postharvest ripening processes on the quality of dried mango slices produced from Thai mango cultivars Nam Dokmai and Kaew. *Proceedings of the International Symposium "Sustaining Food Security and Managing Natural Resources in Southeast Asia - Challenges for the 21st Century"*, Chiang Mai, Thailand, 08-11.01.2002. (Poster presentation)

<http://www.uni->

[hohenheim.de/symposium2002/frame_contributions_po.htm](http://www.uni-hohenheim.de/symposium2002/frame_contributions_po.htm)

Mahayothee, B., Neidhart, S., Mühlbauer, W., Carle, R. 2002. Appropriate postharvest ripening processes for drying Thai mangoes "Nam Dokmai" and "Kaew". *Proceedings of the 7th International Mango Symposium*, Recife, Brazil, 22-27.09.2002. (Poster presentation)

Mahayothee, B., Neidhart, S., Leitenberger, M., Mühlbauer, W., Carle, R. 2002. Non-destructive determination of maturity of Thai mangoes by near infrared spectroscopy (NIR). *The First Workshop on NIR Spectroscopy in Thailand*, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, 27-28.11.2002. (Poster presentation)

9.2 Journals

Marcus Nagle; Habasimbi K; **Mahayothee B**; Haewsungcharern M; Janjai S; Müller J (2011). Fruit processing residues as an alternative fuel for drying in Northern Thailand. *Fuel*, 90 (2), 813-823.

- Precoppe M F; Nagle M; Janjai S; **Mahayothee B**; Müller J (2011). Analysis of dryer performance for the improvement of small-scale litchi processing. *International Journal of Food Science & Technology*, 46 (3), 561–569.
- Marcus Nagle, **Busarakorn Mahayothee**, Parika Rungpichayapichet, Serm Janjai and Joachim Müller. 2010. Effect of irrigation on near-infrared (NIR) based prediction of mango maturity. *Scientia Horticulturae*, 125 (4)771-774.
- Janjai, S., Lamlert, N., Tohsing, K., **Mahayothee, B.**, Bala, B. K., Mueller, J. 2010. Measurement and modeling of moisture sorption isotherm of litchi (*Litchi Chinensis* Sonn.). *International Journal of Food Properties*, 13(2) 251-260.
- Marcus Nagle, Juan Carlos Gonzalez Azcarraga, **Busarakorn Mahayothee**, Methinee Haewsungcharern, Serm Janjai, Joachim Muller. 2010. Improved quality and energy performance of a fixed-bed longan dryer by thermodynamic modifications, *Journal of Food Engineering*, 99(3) 392-399.
- S. Janjai, **B. Mahayothee**, N. Lamlert, B.K. Bala, M. Precoppe, M. Nagle, J. Muller, 2010. Diffusivity, shrinkage and simulated drying of litchi fruit (*Litchi Chinensis* Sonn.), *Journal of Food Engineering*, 96(2) , 214-221.
- Janjai S; Precoppe M F; Lamlert N; **Mahayothee B**; Bala B K; Nagle M; Müller J (2010). Thin-layer drying of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *Food and Bioproducts Processing*, online available.
- Busarakorn Mahayothee**, Patchimaporn Udomkun, Marcus Nagle, Methinee Haewsungcharoen, Serm Janjai, Joachim Mueller. 2009. Effects of pretreatments on colour alterations of litchi during drying and storage. *European Food Research and Technology*, 229 (2) 329-337.
- S. Janjai, P. Intawee, K. Tohsing, **B. Mahayothee**, B.K. Bala, M.A. Ashraf, J. Muller. (2009) Neural network modeling of sorption isotherms of longan (*Dimocarpus longan* Lour.), *Computers and Electronics in Agriculture*, 66, (2), May 2009, 209-214.
- Franz Roman, Marcus Nagle, Hermann Leis, Serm Janjai, **Busarakorn Mahayothee**, Methinee Haewsungcharoen, Joachim Muller. Potential of roof-integrated solar collectors for preheating air at drying facilities in Northern Thailand. 2009. *Renewable Energy* 34(7): 1661-1667.

- S. Janjai, N. Lamlert, P. Intawee, **B. Mahayothee**, B.K. Bala, M. Nagle, J. Muller. (2009) Experimental and simulated performance of a PV-ventilated solar greenhouse dryer for drying of peeled longan and banana. *Solar Energy*, 83 (9), 1550-1565.
- Janjai, S., Lamlert, N. Intawee, P., **Mahayothee, B.**, Boonrod, Y., Haewsungcharern, M., Bala, B. K., Nagle, M., Mueller, J. 2009. Solar Drying of Peeled Longan Using a Side Loading Type Solar Tunnel Dryer: Experimental and Simulated Performance. *Drying Technology* 27(4) 595-605.
- M. Nagle, J. C. González-Azcárraga, S. Phupaichitkun, **B. Mahayothee**, M. Haewsungcharern, S. Janjai, He. Leis & J. Müller (2008). Effects of operating practices on performance of a fixed-bed convection dryer and quality of dried longan. 43(11): 1979 - 1987.
- Janjai, S., Lamlert, N., Intawee, P., **Mahayothee, B.**, Haewsungcharern, M., Bala, B. K., Nagle, M., Leis, H. & Müller, J. 2008. Finite Element Simulation of Drying of Longan Fruit. *Drying Technology*, 26 (6), 666-674.
- S. Janjai, N. Lamlert, P. Intawee, **B. Mahayothee**, M. Haewsungcharern, B.K. Bala, J. Müller. 2008. Finite element simulation of drying of mango. *Biosystems Engineering*, 99(4): 523-531.
- Sarawut Phupaichitkun, **Busarakorn Mahayothee**, Thomas Waldenmaier, Joachim Müller. Generalized single-layer model for drying kinetics of unpeeled-longan. *Int J Agric & Biol Eng*. 2008; 1(2): 64-71.
- Busarakorn Mahayothee**, Sybille Neidhart, Reinhold Carle and Werner Mühlbauer. 2007. Effects of variety, ripening condition and ripening stage on the quality of sulphite-free dried mango slices. *European Food Research and Technology*, 225(5-6): 723-732.
- S. Janjai, B.K. Bala, N. Lamlert, **B. Mahayothee**, M. Haewsungcharern, W. Mühlbauer, J. Muller. 2007. Moisture Diffusivity Determination of Different Parts of Longan Fruit. *International Journal of Food Properties*, 10(3): 471-478.
- Busarakorn Mahayothee**, S. Neidhart, W. Mühlbauer, R. Carle. 2007. Effects of Calcium Carbide and 2-Chloroethylphosphonic Acid on Fruit Quality of Thai

Mangoes under Various Postharvest Ripening Regimes. *European Journal of Horticultural Science*, 72(4):171-178.

Janjai S, Bala BK, Tohsing K, **Mahayothee B**, Haewsungcharern M, Müller J. 2007.

Moisture sorption isotherms and heat of sorption of mango (*Magnifera Indica* L. cv. Nam Dok Mai). *International Agricultural Engineering Journal*;16(3-4):159-168.

Janjai, S., Bala, B.K., Tohsing, K., **Mahayothee, B.**, Haewsungcharern, M.,

Muehlbauer, W., Mueller, J. 2006. Equilibrium moisture content and heat of sorption of longan (*Dimocarpus longan* Lour.). *Drying technology* 24 (12),1691-1696.

Mahayothee, B., Neidhart, S., Leitenberger, M., Mühlbauer, W., Carle, R. Non-destructive determination of maturity of Thai mangoes by near-infrared spectroscopy. *Acta Horticulturae (ISHS)* 2004; 645: 581-588.

Mahayothee, B., Neidhart, S., Mühlbauer, W., Carle, R. Influence of postharvest ripening processes on appropriate maturity for drying mangoes 'Nam Dokmai' and 'Kaew'. *Acta Horticulturae (ISHS)* 2004; 645: 241-248.

9.3 Book Chapters

Neidhart S, Vasquez-Caicedo AL, **Mahayothee B**, Pott I, Mühlbauer W, Sruamsiri P, et al. The controll of postharvest ripening processes and its implications for the productivity of mango processing. In: Heidhues F, Herrmann L, Neef A, Neidhart S, Pape J, Sruamsiri P, et al., editors. *Sustainable land use in mountainous regions of Southeast Asia: Meeting the challenges of ecological, socio-economic and cultural diversity*. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris and Tokyo: Springer-Verlag; 2007. p. 134-146.

ตอนที่ 2 ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ทางด้านศิลปะและการออกแบบที่ดำเนินการเสร็จแล้ว
(กรุณาให้ ข้อมูลทุกเรื่องที่ท่านทำโดยกรอก 1 เรื่องต่อ 1 แผ่น)

เรื่องที่ 1

1. ชื่อเรื่อง / ชื่อผลงาน การพัฒนาน้ำมันสลัดจากน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันข้าวโพด
Development of Salad Oil from Soybean and Corn Oil
2. ลักษณะโครงการ / ผลงาน ☐ ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ
 ☒ คณะบุคคล/กลุ่ม ☐ เป็นหัวหน้า ☒ เป็นผู้ร่วม
3. สาขาวิชา เกษตรศาสตร์และชีววิทยา
4. จำนวนงบประมาณ 90,000 บาท
ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 ถึงปี พ.ศ. 2540
5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน
☒ ในประเทศ
☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ)
☒ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ) บริษัทเชียร์ (ประเทศไทย) จำกัด
☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ)
6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว
☒ ยังไม่ได้เผยแพร่
☐ เผยแพร่แล้ว

เรื่องที่ 2

1. ชื่อเรื่อง Mathematical Modelling of the Drying Process of Tropical Fruits Including the Kinetics of Quality Decisive Attributes

2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน ☐ ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ
☒ คณะบุคคล/กลุ่ม ☒ เป็นผู้ร่วม

3. สาขาวิชา เกษตรศาสตร์และชีววิทยา

4. จำนวนงบประมาณ 300,000 บาท (2548)

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547-2549

5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน

☐ ในประเทศ

☐ ภาครัฐ ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ)

☒ ต่างประเทศ (โปรดระบุ)The University of Hohenheim, Stuttgart, Germany

financial support by DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft /German Research Foundation)

เรื่องที่ 3

1. ชื่อเรื่อง การพัฒนาสูตรและวิธีผลิตผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากผลไม้ในรูปของผลไม้อัดแท่ง

Process Development of Fruit bar

2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน ☐ ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ ☒ คณะบุคคล/กลุ่ม ☒ เป็นหัวหน้า ☐ เป็นผู้ร่วม

3. สาขาวิชา เกษตรศาสตร์และชีววิทยา

4. จำนวนงบประมาณ 70,000 บาท

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548

5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน

- ☒ ในประเทศ
☐ ภาครัฐ ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
☒ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ) ศูนย์บ่มเพาะธุรกิจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ)

เรื่องที่ 4

1. ชื่อเรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งชนิดที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำ ปราศจากสารกลุ่มเมตาไบซัลไฟต์ และไม่มีการเติมวัตถุกันเสีย
2. ลักษณะโครงการ / ผลงาน ☒ ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ ☐ คณะบุคคล/กลุ่ม ☒ เป็นหัวหน้า ☐ เป็นผู้ร่วม
3. สาขาวิชา เกษตรศาสตร์และชีววิทยา
4. จำนวนงบประมาณ 90,000 บาท
ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548
5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน
☒ ในประเทศ
☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
☒ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ) สกว. (IRPUS ปี 2548)
☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ)

เรื่องที่ 5

1. ชื่อเรื่อง การพัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งชนิดที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำ
ปราศจากสารกลุ่มเมตาโบไลต์ไฟต์ และไม่มีการเติมวัตถุกันเสีย
2. ลักษณะโครงการ / ผลงาน ☒ ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ
☐ คณะบุคคล/กลุ่ม ☒ เป็นหัวหน้า ☐ เป็นผู้ร่วม
3. สาขาวิชา เกษตรศาสตร์และชีววิทยา
4. จำนวนงบประมาณ 80,000 บาท
ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548
5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน
☒ ในประเทศ
☐ ภาครัฐ ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
☒ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ) สกว. (IRPUS ปี 2548)
☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ)

เรื่องที่ 6

1. ชื่อเรื่อง การศึกษากระบวนการอบแห้งแบบไม่ต่อเนื่องต่อคุณภาพของกล้วยอบแห้ง เป็นโครงการย่อยในชุดโครงการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตกล้วยอบแห้ง
2. ลักษณะโครงการ / ผลงาน ☐ ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ ☒ คณะบุคคล/กลุ่ม ☒ เป็นหัวหน้า ☐ เป็นผู้ร่วม
3. สาขาวิชา เกษตรศาสตร์และชีววิทยา
4. จำนวนงบประมาณ 400,000 บาท
ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549
5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน
 - ☒ ในประเทศ
 - ☐ ภาครัฐ ☐ คณะวิชา ☒ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
 - ☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ)
 - ☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ)

เรื่องที่ 7

1. ชื่อเรื่อง การลดต้นทุนการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งชนิดหวานน้อย ปราศจากสารกลุ่มเมตาไบซัลไฟต์
โดยการรีไซเคิลสารละลายออสโมติก
2. ลักษณะโครงการ / ผลงาน ☒ ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ
☐ คณะบุคคล/กลุ่ม ☐ เป็นผู้ร่วม
3. สาขาวิชา เกษตรศาสตร์และชีววิทยา
4. จำนวนงบประมาณ 80,000 บาท (2549)
ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549-2550
5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน
☒ ในประเทศ
☐ ภาครัฐ ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
☒ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ) สกว. (IRPUS)
☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ)

เรื่องที่ 8

1. ชื่อเรื่อง Multi-layer drying models for optimization of high value crop drying in small scale food industries
2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน ☐ ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ ☒ คณะบุคคล/กลุ่ม ☒ เป็นผู้ร่วม
3. สาขาวิชา เกษตรศาสตร์และชีววิทยา
4. จำนวนงบประมาณ 130,000 บาท (2549)
ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549-2552
5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน
☐ ในประเทศ
☐ ภาครัฐ ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ)
☒ ต่างประเทศ (โปรดระบุ)The University of Hohenheim, Stuttgart, Germany
 financial support by DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft /German Research Foundation)

ตอนที่ 3 ผลงานวิจัยหรือผลงานสร้างสรรค์ที่กำลังดำเนินการ

เรื่องที่ 1

1. ชื่อเรื่อง „Multi-sensor inline system for non-invasive mango quality assessment during postharvest processing by fruit export industries in Thailand”
2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน ☐ ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ ☒ คณะบุคคล/กลุ่ม ☒ เป็นผู้ร่วม
3. สาขาวิชา เกษตรศาสตร์และชีววิทยา
4. จำนวนงบประมาณปีละ 4, 800 Euro สำหรับค่าจ้างนักศึกษา PhD Thai (2554-2557)
ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554-2557
5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน
☐ ในประเทศ
☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ)
☒ ต่างประเทศ (โปรดระบุ)The University of Hohenheim, Stuttgart, Germany
 financial support by DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft /German Research Foundation)

เรื่องที่ 2

1. ชื่อเรื่อง การพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์จากมะพร้าว
2. ลักษณะโครงการ / ผลงาน ☐ ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ
☒ คณะบุคคล/กลุ่ม ☒ เป็นผู้ร่วม
3. สาขาวิชา เกษตรศาสตร์และชีววิทยา
4. จำนวนงบประมาณปีละ 7,920,000 บาท (3 ปี)
 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551-2555
5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน
☐ ในประเทศ
☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☒ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ)
☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ)

เรื่องที่ 3

1. ชื่อเรื่อง การพัฒนาและสร้างมาตรฐานกระบวนการตรวจสอบแบบรวดเร็วของวัตถุดิบ
กระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหารและการเกษตรด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่าน
ใกล้
2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน ☐ ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ
☒ คณะบุคคล/กลุ่ม ☒ เป็นผู้ร่วม
3. สาขาวิชา เกษตรศาสตร์และชีววิทยา
4. จำนวนงบประมาณปีละ 5,983,900 บาท
ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555-2556
5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน
☐ ในประเทศ
☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☒ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ)
☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ)