

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ผลมังคุดมีรสชาติดี เป็นที่นิยมชื่นชอบของผู้บริโภคทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศจนได้รับนามว่าเป็นราชินีแห่งผลไม้ ปัจจุบันมังคุดจัดว่าเป็นผลไม้ที่ตลาดมีความต้องการสูง เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีประโยชน์ เพราะมีสารที่มีคุณประโยชน์แก่ร่างกาย มังคุดเป็นผลไม้ที่ออกตามฤดูกาล ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดของมังคุด คือ มังคุดสด นอกจากนี้ ยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อเพิ่มมูลค่ามากมาย อาทิเช่น น้ำมังคุด สบู่สมุนไพร ยาสีฟัน เป็นต้น ผลมังคุดนอกจากจะมีเนื้อที่ประกอบด้วยสารอาหารหลายชนิดแล้ว ยังพบว่ามีสารที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ที่พบทั้งในเนื้อและเปลือก สารต้านอนุมูลอิสระที่พบมาก คือ แชนโทน ในทางการแพทย์พบว่า แชนโทนมีสรรพคุณในการบรรเทาอาการแพ้ การติดเชื้อ ควบคุมระดับคอเรสเตอรอล ลดการอักเสบของผิวหนัง เสริมภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย และมีฤทธิ์สูงในการกำจัดอนุมูลอิสระในร่างกายมนุษย์ (Zadernowski และคณะ, 2009; Naczka และคณะ, 2011) การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักและผลไม้ส่วนใหญ่เป็นวิธีทางเคมี ซึ่งตัวอย่างจะถูกทำลายโดยการบดก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ อีกทั้งต้องใช้สารเคมีต่างๆ ทำให้มีความปลอดภัยน้อย ยุ่งยากและเสียเวลา ดังนั้นในปัจจุบันนี้จึงได้มีการนำเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้มาใช้ในการทำนายคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระในผลไม้ เพื่อลดระยะเวลาในการวิเคราะห์และอันตรายที่อาจเกิดจากสารเคมีได้ และตัวอย่างไม่ต้องถูกทำลายในการวิเคราะห์ ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมคุณภาพ โดยตัวอย่างยังคงมีสภาพปกติหลังการวิเคราะห์ ทำให้ไม่ต้องสูญเสีย อาทิเช่น Szuvandzsiev และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาการใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศ Blanco-Diaz และคณะ (2014) ศึกษาการใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ในการวัดปริมาณวิตามินซี ปริมาณฟีนอลิก และปริมาณคลอโรฟิลล์ ในผลสควอช Pissard และคณะ (2014) ศึกษาการใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ในการวัดปริมาณวิตามินซี ปริมาณฟีนอลิก และปริมาณน้ำตาล ในผลแอปเปิ้ล และ Terdwongworakul และคณะ (2012) ทำการศึกษาการหาปริมาณเนื้อแก้วในผลมังคุดโดยใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ทำนายได้จากเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้กับค่าจริงที่วัดได้จากวิธีทางเคมี

1.2.2 เพื่อประเมินความแม่นยำของการทำนายความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลมังคุดด้วยเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้ ใช้มังคุดที่เพาะปลูกในประเทศไทย ทำการวิเคราะห์โดยใช้ส่วนของเปลือกชั้นนอกและเปลือกชั้นในของมังคุด วิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทางเคมีใช้วิธี DPPH radical scavenging วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดใช้วิธี Folin-Ciocalteu วิเคราะห์ปริมาณแชนโทนใช้วิธี High-performance liquid chromatography (HPLC) และตรวจสอบการวิเคราะห์การทำนายค่าด้วยวิธีที่รวดเร็วโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้มาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการแปรรูปมังคุดที่เน้นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถทำการตรวจวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว และหลายตัวอย่าง เป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย และหลีกเลี่ยงอันตรายจากการตรวจวิเคราะห์โดยวิธีทางเคมี

คำสำคัญ: มังคุด สารต้านอนุมูลอิสระ รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ การวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง

บทที่ 2 การตรวจเอกสาร

2.1 มังคุด

มังคุดมีชื่อสามัญว่า Mangosteen และชื่อพฤกษศาสตร์ว่า *Garcinia mangostana* Linn. ตระกูล Guttiferae จัดเป็นไม้ยืนต้น มีการเพาะปลูกในแถบประเทศเขตร้อน โดยเฉพาะในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ พม่าและไทย ผลมังคุดมีรสชาติดี เป็นที่นิยมชื่นชอบของผู้บริโภคทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศจนได้รับนามว่าเป็นราชินีแห่งผลไม้ ปัจจุบันมังคุดจัดว่าเป็นผลไม้ที่ตลาดมีความต้องการสูง เพราะนอกจากตลาดภายในประเทศแล้วยังมีการส่งออกทั้งในรูปผลสด และแช่เยือกแข็ง ทำรายได้เข้าสู่ประเทศปีละหลายสิบล้านบาท (คณะกลุ่มเกษตรสัญจร, 2530) โดยตลาดส่งออกที่สำคัญ คือญี่ปุ่น ไต้หวัน จีน มาเลเซีย ฮองกง และสิงคโปร์ เป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้นมังคุดยังจัดเป็นผลไม้ที่มีประโยชน์ เพราะมีสารที่มีคุณประโยชน์กับร่างกาย มังคุดเป็นผลไม้ที่ออกตามฤดูกาลโดยจะเริ่มออกสู่ตลาดตั้งแต่เดือนเมษายนไปจนถึงปลายเดือนกันยายน ผลิตรัฐที่ได้รับความนิยมมากที่สุดของมังคุด คือม้งคุดสด นอกจากนี้ ยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อเพิ่มมูลค่ามากมาย อาทิเช่น น้ำมังคุด สบู่สมุนไพร ยาสีฟัน เป็นต้น มังคุดมีอยู่สายพันธุ์เดียว เรียกกันว่าพันธุ์พื้นเมือง เพราะมังคุดเป็นพืชที่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด และเมล็ดมังคุดเจริญจากเนื้อเยื่อของต้นแม่ ไม่ได้เกิดจากการผสมเกสร จึงแทบจะไม่มีโอกาสกลายพันธุ์เลย ลักษณะพันธุ์ เช่น ทรงต้น ใบ ผล รสชาติ และขนาดของผลจะแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นกับสภาพแวดล้อมในการปลูก (กวิศร์ และสุรพงษ์, 2522)

ผลมังคุดนอกจากจะมีเนื้อที่ประกอบด้วยสารอาหารหลายชนิดแล้ว ยังพบว่ามีสารที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ที่พบทั้งในเนื้อและเปลือก สารต้านอนุมูลอิสระที่พบมาก คือ แชนโธนส์ นอกจากนี้ยังพบสารประกอบอื่นๆที่มีคุณสมบัติดังกล่าว ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ เบนโซฟีโนน แอลกอฮอล์ และกรดฟีนอล ในทางการแพทย์พบว่า แชนโธนมีสรรพคุณในการบรรเทาอาการแพ้ การติดเชื้อ ควบคุมระดับคอเรสเตอรอล ลดการอักเสบของผิวหนัง เสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย และมีฤทธิ์สูงในการกำจัดอนุมูลอิสระในร่างกายมนุษย์ (Zadernowski และคณะ, 2009; Naczka และคณะ, 2011)

2.2 สารต้านปฏิกิริยาอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ

ประสิทธิภาพของสารต้านออกซิเดชันธรรมชาติขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ แหล่งวัตถุดิบ ภูมิอากาศ วันที่เก็บเกี่ยว และปัจจัยด้านเทคโนโลยี (Cuvelier และคณะ, 1996; Hagerman และ คณะ, 1998; Moure และคณะ, 2001)

ปริมาณสารประกอบฟีนอล (phenolic content) ยังไม่มีหลักฐานยืนยันแน่นอนเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารประกอบฟีนอลกับประสิทธิภาพของการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สกัดจากธรรมชาติ เนื่องจากยังพบการรายงานผลการวิจัยที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและวิธีการทดสอบ (Moure และคณะ, 2001)

Palapol และคณะ (2009) ได้ศึกษาลักษณะของสีเปลือกมังคุดหลังจากการเก็บเกี่ยว ซึ่งพบว่าหลังจากการเก็บเกี่ยวสีของเปลือกมังคุดจะมีสีที่แตกต่างกันตั้งแต่สีเขียวไปจนถึงสีม่วงดำ สีของเปลือกที่ต่างกันนั้นจะมีความสัมพันธ์กับระดับการสุกของมังคุด และยังสัมพันธ์กับปริมาณแอนโทไซยานินส์ด้วย เปลือกมังคุดสีเขียวหมายถึงมังคุดที่มีลักษณะอ่อนที่สุด เปลือกมังคุดสีม่วงดำหมายถึงมังคุดที่มีลักษณะแก่ที่สุด มังคุดที่มีสีเปลือกเป็นสีม่วงดำจะมีปริมาณแอนโทไซยานินส์และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solids, TSS) มากที่สุด

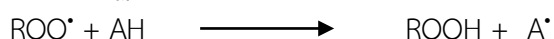
2.3 การประเมินประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระ

การประเมินประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระมีหลายวิธี เช่น Ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay, β -Carotene-linoleic acid model system (β -CLAMS), Oxygen radical absorption capacity (ORAC) method, Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) method, Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) method, Photochemiluminescence (PCL) method (Tsao and Deng, 2004)

Dejian และคณะ (2005) จำแนกวิธีทดสอบออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1.) Assays based on hydrogen atom transfer (HAT) เป็นปฏิกิริยาการจับอนุมูลอิสระ ($\text{ROO}^{\bullet}$) ที่เกิดขึ้นของสารต้านอนุมูลอิสระ (AH) โดยให้ hydrogen atom กับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น ทำให้อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมีความเสถียร ยับยั้งปฏิกิริยาในขั้น propagation วิธีนี้มักใช้ทดสอบการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ low-density lipoprotein ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ Oxygen radical absorption capacity (ORAC) method และ total radical trapping antioxidant parameter (TRAP)

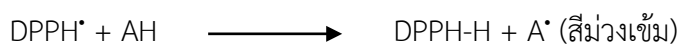
การเกิดปฏิกิริยา



2.) Assays based on single electron transfer (ET) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย วิธีนี้จะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการขนส่งอิเล็กตรอน เมื่ออนุมูลอิสระได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านอนุมูลอิสระ ($\text{M}(\text{n})$) กลายเป็นอนุมูลที่มีความคงตัว ($\text{M}(\text{n}-1)$) จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีจางลง โดยสีที่เปลี่ยนไปแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระ การเปลี่ยนสีจะดำเนินไปจนถึงจุดยุติเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลง ซึ่งสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงสีได้โดยใช้เครื่องมือวัด spectrophotometer ได้แก่

(1) วิธีวิเคราะห์ end-point free radical scavenging method คือ DPPH assay

วิธี DPPH radical scavenging เป็นวิธีวิเคราะห์ antioxidant activity โดยการเติมสารที่เสถียรหรือสารที่เป็น stable free radical นั่นคือ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl ($\text{DPPH}^{\bullet}$) ลงไปในสารตัวอย่าง โดยกลไกหลักของการต้านอนุมูลอิสระในอาหาร คือการจับกับอนุมูลอิสระ สามารถวัดความสามารถในการจับอนุมูลอิสระ โดยติดตามการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสม ซึ่ง $\text{DPPH}^{\bullet}$ จะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 nm (Brand-Williams, 1994) แต่อาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยารีดักชันของสารต้านอนุมูลอิสระ (AH) หรือกลุ่มอนุมูลอิสระ ($\text{R}^{\bullet}$) กลไกการต้านอนุมูลอิสระเป็นดังสมการ



ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะแสดงด้วยค่า EC_{50} ซึ่งเป็นปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (AO) ที่ใช้เพื่อลดความเข้มข้นของ $\text{DPPH}^{\bullet}$ เริ่มต้นลง 50% (Efficient concentration = EC_{50})

((mol/L)AO/ (mol/L) DPPH*) หรือแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์การยับยั้งของ DPPH* (% inhibition) (Brand-Williams, 1994)

(2) วิธี reducing power assay คือ Ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay

(3) Folin-Ciocalteu method

การเกิดปฏิกิริยา



หลักการวิเคราะห์ปริมาณ Total polyphenolic compounds โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu ซึ่งเป็นการเติม Folin-Ciocalteu reagent ลงในสารสกัดที่มีสารประกอบฟีนอล จะทำให้เกิดปฏิกิริยaredox reaction ซึ่งจะทำให้สารประกอบฟีนอลในสารสกัดถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ ionized polyphenol เกิดเป็น สารประกอบที่มีสี นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ซึ่งความเข้มของสีที่วัดได้จะผันแปรตามปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่มีอยู่ในสารสกัด และนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบ เทียบกับ standard phenolic compound ซึ่งที่นิยมใช้กัน คือ gallic acid

นอกจากนี้ยังมีรายงานการวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยเครื่อง High Performance Liquid Chromatograph ที่มีอุปกรณ์ตรวจวัดสารชนิดเรืองแสง (Fluorescence Detector) โดยรายงานเป็นค่า total antioxidative potential (TAP) ซึ่งอาศัยหลักการวัดผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยา Fenton-like คือ hydroxyterephthalic acid (HTPA) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง hydroxyl radicals กับ terephthalic acid (TPA) (Glod และคณะ, 2011)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR) ในการตรวจวัดมังคุด ดังนี้ Thanapase และคณะ (2010) ได้ใช้เทคนิค NIR ในการคัดแยกเนื้อแก้วและยางไหลในมังคุด ด้วยวิธีแบบทะลุผ่าน ในช่วงความยาวคลื่น 700-955 นาโนเมตร โดยใช้หลอดไฟกำลัง 100 วัตต์ วัดรอบตัวอย่าง 8 จุด (360°) ใช้ตัวอย่างผลมังคุดทั้งหมด 5,841 ลูก จากนั้นสร้างสมการคัดแยก ด้วยวิธี Partial Least Square (PLS) พบว่าสามารถแยกเนื้อแก้วถูกต้อง 88% และ เนื้อดีได้ถูกต้อง 92% และสามารถคัดแยก ระหว่างที่เป็นยางไหลถูกต้อง 76% และเนื้อดีได้ถูกต้อง 86% ซึ่งจะเห็นได้ว่าเทคนิคการใช้ช่วงความยาวคลื่นสั้นย่านใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่านมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการทำนายมังคุดเนื้อดี เนื้อแก้ว และยางไหลแบบไม่ทำลายได้อย่างแม่นยำ Teerachaichayut และคณะ (2010) ศึกษาเกี่ยวกับการนำเทคนิคการดูดกลืนแสงช่วงใกล้อินฟราเรด (NIR) ในช่วงความยาวคลื่น 1,100 - 2,500 นาโนเมตรมาใช้ในการทำนายอาการเนื้อแก้ว พบว่าสามารถใช้ในการคัดแยกได้แม่นยำ 82.5% กล่าวได้ว่าการใช้เทคนิค NIRS มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการทำนายและคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วได้ และ Noypitak และคณะ (2010) ศึกษาหาเทคนิคการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วออกจากมังคุดปกติด้วยวิธี Discriminant analysis จากข้อมูลการดูดกลืนแสงของเปลือกมังคุดทั้งช่วง ความยาวคลื่นสามารถคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วจากมังคุดปกติได้ดี 83.9% ส่วนการจำแนกกลุ่มโดยความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการทำ PLS-DA สามารถให้ผลการจำแนกที่ดี 83.9% ในทุกด้าน และเมื่อใช้จำแนกกลุ่มด้วยความยาวคลื่นที่เลือกมาจากการ ทำ PLS-DA ร่วมกับค่าความถ่วงจำเพาะ พบว่าให้ผลการจำแนกที่ดีที่สุด 84.8% ดังนั้นการใช้เทคนิค NIRS ร่วมกับการวัดค่า ความถ่วงจำเพาะของผลจะให้ค่าการจำแนกมังคุดเนื้อแก้วจากมังคุดปกติได้ดีขึ้น

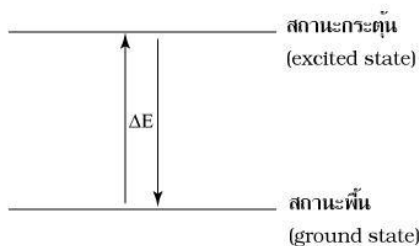
อย่างไรก็ตามวิธีการวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่กล่าวมาข้างต้นใช้เวลานาน และค่าใช้จ่ายสูง ทำให้มีข้อจำกัดเมื่อนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการควบคุมคุณภาพในอุตสาหกรรมการผลิต น้ำผลไม้ หรือเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ ปัจจุบันจึงมีการศึกษาการนำเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR) มาประยุกต์ใช้ในการตรวจประเมินความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระผลิตผลทางเกษตร อาทิเช่น ชาเขียว (Zhang และคณะ, 2004; Chen และคณะ, 2012) หัวหอม (Lu และคณะ, 2011) และเชอร์รี่ (Zude และคณะ, 2011) ซึ่งการใช้วิธีนี้มีข้อดีที่สามารถตรวจวัดได้โดยไม่ทำลายตัวอย่างและใช้เวลาสั้น จึงเหมาะสมในการนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพผลิตผลทางการเกษตรที่เน้นสมบัติเชิงคุณค่าด้านสุขภาพ เช่น น้ำมั่งคุด เปลือกมั่งคุดสกัด ซึ่งเป็นที่ยอมรับว่ามีคุณประโยชน์ที่อุดมด้วยสารต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวมาแล้ว

2.4 ทฤษฎีของสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

สเปกโทรสโกปีเป็นวิชาว่าด้วยการวัดและวิเคราะห์รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ซึ่งสสารดูดกลืนเข้าไปหรือเปล่งออกมา รังสีแม่เหล็กไฟฟ้ามีคุณสมบัติ 2 แบบ ได้แก่ คลื่น (wave) และอนุภาค (particle) เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของแม่เหล็กไฟฟ้าแบบคลื่น จะมีลักษณะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดคลื่นไซน์ (sine wave) ที่ประกอบด้วย 2 ส่วนตั้งฉากกัน คือ ส่วนที่มีสมบัติไฟฟ้า (electric field) และส่วนที่มีสมบัติแม่เหล็ก (magnetic field) ระยะห่างระหว่างยอดคลื่นที่อยู่ติดกันเรียกว่าความยาวคลื่น (λ) ด้วยคุณสมบัติที่เป็นคลื่นจึงสามารถเกิดปรากฏการณ์เกี่ยวกับการสะท้อน (reflection) การหักเห (refraction) การเลี้ยวเบน (diffraction) หรือการกระเจิง (scattering) ได้

เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลเกิดอันตรกิริยากับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในรูปแบบต่างๆ ซึ่งรังสีอินฟราเรดย่านใกล้จะเกิดการสั่นของโมเลกุล โมเลกุลที่ประกอบด้วย X-H, X = C, N, O,... จะสามารถเกิดอันตรกิริยากับรังสี NIR (ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 800-2,500 nm และจำนวนคลื่นอยู่ระหว่าง $12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$) ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นและเปลี่ยนระดับพลังงานการสั่นจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นแบบข้ามขั้น $V_0 \rightarrow V_n$, $n = 2, 3, \dots$ สามารถใช้สเปกตรัมการดูดกลืนแสง NIR ไปใช้เพื่อการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณ (Burns และ Ciurczak, 2008)

หลักการของสเปกโทรสโกปีการสั่น (Vibrational Spectroscopy) โมเลกุลของสสารประกอบขึ้นด้วยอะตอมที่เชื่อมต่อกันด้วยการสร้างพันธะเคมี (chemical bonding) พันธะในโมเลกุลจะเกิดการสั่น (vibration) อยู่ตลอด เรียกการสั่นชนิดนี้ว่า การสั่นในสถานะพื้น (vibration ground state) ด้วยความถี่ซึ่งมีค่าเฉพาะ (quantized frequency) ถ้าโมเลกุลเกิดอันตรกิริยากับรังสี NIR จะดูดกลืนรังสีที่มีความถี่ตรงกับค่าเฉพาะ จะทำให้เกิดการสั่นในสถานะกระตุ้น (vibration excited state) ระดับโอเวอร์โทน โมเลกุลไม่สามารถอยู่ในสถานะกระตุ้นได้ จึงต้องคายพลังงานออกมาในรูปความร้อนเพื่อให้อัตอมกลับคืนสู่การสั่นในสถานะพื้นตามเดิม (Burns และ Ciurczak 2008)



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานการสั่น

ที่มา: <http://www.mfu.ac.th/center/stic/images/articles/AAS/AAS%20pic1.jpg> (15 มิ.ย. 58)

กระบวนการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดย่านใกล้

โมเลกุลที่สามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรด จะต้องมีลักษณะสำคัญดังนี้

1. ประกอบด้วยพันธะ X-H; X ได้แก่ O, N, S เป็นต้น

2. เกิดการสั่นแบบโอเวอร์โทน (overtone vibration) การสั่นแบบโอเวอร์โทนเป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลดูดกลืนรังสีอินฟราเรดย่านใกล้เข้าไปทำให้เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานการสั่นจากระดับพื้น ($v = 0$) ไปยังระดับกระตุ้นที่ 2, 3 ... ขึ้นไป จะได้พีคที่เรียกว่าแถบโอเวอร์โทน มีลักษณะความเข้มต่ำฐานกว้าง

3. เกิดการสั่นแบบคอมบิเนชัน (combination vibration) การสั่นแบบคอมบิเนชันหรือแบบรวมเกิดขึ้นเนื่องจากโมเลกุลหนึ่งๆ มีการสั่นได้หลายชนิดและเกิดขึ้นในเวลาพร้อมกัน บางครั้งการสั่นที่ต่างชนิดกันเกิดการรวมกันได้ จึงเกิดเป็นแถบคอมบิเนชัน

พีค (peak) หรือแถบ (band) การดูดกลืนระดับโอเวอร์โทนที่พบในช่วงอินฟราเรดย่านใกล้ เกิดการดูดกลืนแสงเข้าไปทำให้เกิดการทรนซิชันจากระดับพลังงานการสั่นที่สถานะพื้น ไปยังสถานะกระตุ้นมากกว่าเท่าตัว โดยทั่วไปแถบโอเวอร์โทนจะมีความเข้มหรือค่าการดูดกลืนต่ำ เมื่อเทียบกับพีคที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานพื้นฐาน ($v = 0 \rightarrow v = 1$) ถึง 10 และ 100 เท่าตัว โดยแถบโอเวอร์โทนอันดับหนึ่งมีความเข้มสูงสุด รองลงมาคืออันดับสอง และสาม ตามลำดับ ดังนั้นเราจะไม่สามารถสังเกตเห็นแถบโอเวอร์โทนอันดับที่สามขึ้นไป เนื่องจากมีความเข้มต่ำมาก (Burns และ Ciurczak 2008)

การแบ่งช่วงรังสีสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ รังสีอินฟราเรดย่านใกล้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ตามระดับพลังงานแบ่งได้เป็น 2 ช่วง และตามชนิดแถบอินฟราเรดย่านใกล้ของโมเลกุลแบ่งได้เป็น 3 ช่วง ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (Burns และ Ciurczak, 2008)

ตารางที่ 1 การแบ่งช่วงรังสีสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ตามระดับพลังงาน

ความยาวคลื่น (nm)	ช่วง	พลังงาน (kJ/mol)
800 - 1100	คลื่นสั้น (short wavelength NIR, SWNIR, Herschel region)	~150-109
1100 - 2500	คลื่นยาว (long wavelength NIR, LWNIR)	~109-480

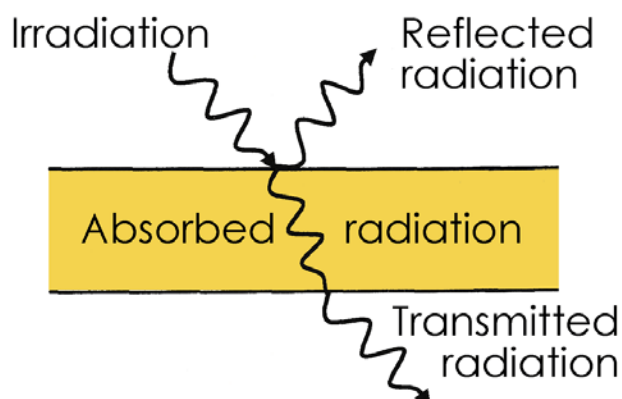
ที่มา: Burns และ Ciurczak (2008)

ตารางที่ 2 การแบ่งช่วงรังสีสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ตามชนิดแถบอินฟราเรดย่านใกล้

ความยาวคลื่น (nm)	ชนิดแถบ
800 -1300	โอเวอร์โทนอันดับสองและสาม, คอมบิเนชัน
1300 - 2800	โอเวอร์โทนอันดับหนึ่ง, คอมบิเนชัน
1800 - 2500	คอมบิเนชัน

ที่มา: Burns และ Ciurczak (2008)

การเกิดอันตรกิริยาของรังสีอินฟราเรดย่านใกล้กับสสาร เมื่อรังสีอินฟราเรดย่านใกล้เดินทางผ่านเข้าไปยังสสาร จะเกิดอันตรกิริยา (interaction) กับอะตอมและโมเลกุลของสสารนั้น รังสีบางส่วนจะถูกดูดกลืน (absorption) เอาไว้ บางส่วนจะผ่านออกมา (transmission) และบางส่วนเกิดการสะท้อน (reflection) ปรากฏการณ์เหล่านี้จะเกิดเพียงอันใดอันหนึ่งหรือเกิดพร้อมๆ กันได้ (ภาพที่ 2)



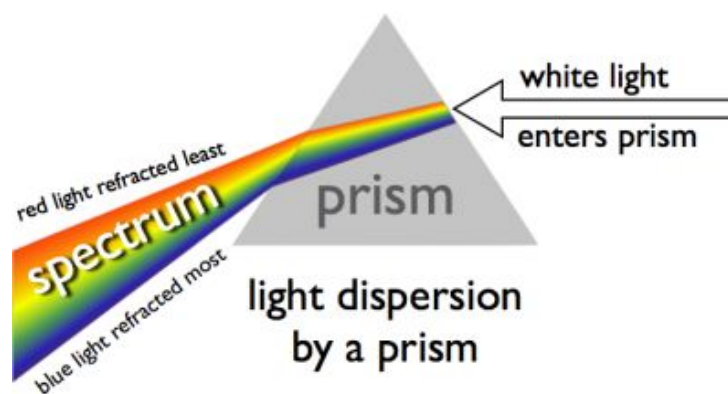
ภาพที่ 2 รูปแบบการเกิดอันตรกิริยาของรังสีอินฟราเรดย่านใกล้กับสสาร

ที่มา: <http://www.ceramicx.com/images/infrared-heat/infrared-heat-4.gif> (15 มิ.ย. 58)

เมื่อสสารเกิดอันตรกิริยากับรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ ความเข้มของแถบการดูดกลืนใน NIR สเปกตรัมจะนิยมแสดงในรูปค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) (แกนตั้ง) และความยาวคลื่น (wavelength) (แกนนอน) ตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต ค่าดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสาร (Burns และ Ciurczak, 2008)

การทำงานของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ NIR อาศัยการดูดกลืนแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่นของสารแต่ละชนิดมีไม่เท่ากัน ดังนั้น เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ NIR ส่วนใหญ่จำเป็นที่จะต้องมีความสามารถในการแยกลำแสงออกเป็นทีละความยาวคลื่นได้ เพื่อที่จะใช้แสงความยาวนั้นส่องไปยังตัวอย่าง และวัดค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนออกมา เปรียบเทียบกับความเข้มของแสงที่ส่องเข้าไป (reflectance type) หรือวัดความเข้มของแสงที่ทะลุผ่านตัวอย่างเปรียบเทียบกับความเข้มของแสงที่ส่องเข้าไป (transmittance type) กระทำแบบนี้ทีละความยาวคลื่นและนำค่าความเข้มแสงที่ได้ในแต่ละความยาวคลื่นมาเขียนกราฟโดยให้แกนนอนเป็นค่าความยาวคลื่น แกนตั้งเป็นค่าการดูดกลืนแสง จะได้กราฟการดูดกลืนแสงของตัวอย่างนั้นๆ หลังจากนั้นข้อมูลจะถูกนำไปวิเคราะห์ต่อไป การแยกลำแสงออกเป็นทีละความยาวคลื่นนี้ เรียกว่า โมโนโครเมเตอร์ (monochromator)

วิธีที่ง่ายที่สุดเพื่อที่จะแยกลำแสงออกเป็นทีละความยาวคลื่น คือ การใช้แท่งปริซึมแยกลำแสงสีขาวออกเป็นแถบสีหรือความยาวคลื่นต่างๆ ได้ ความยาวคลื่นช่วงอินฟราเรดย่านใกล้ (near infrared) จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 700-2500 nm ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (ภาพที่ 3)



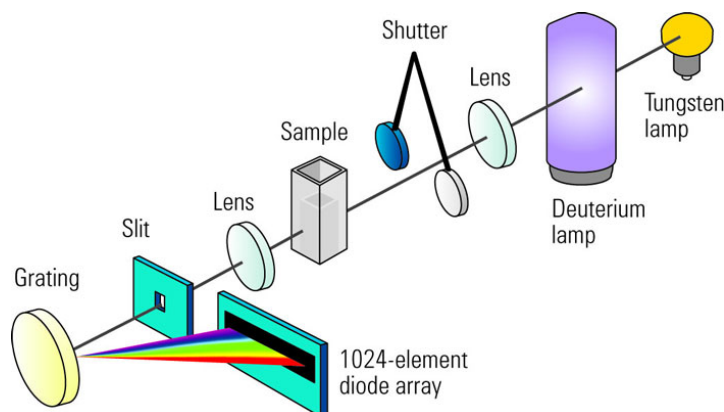
ภาพที่ 3 การแยกลำแสงออกเป็นแถบโดยใช้แท่งปริซึม

ที่มา: <http://www.rkm.com.au/ANIMATIONS/prism-dispersing-light.jpg> (15 มิ.ย. 58)

องค์ประกอบของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ NIR ประกอบด้วย ต้นกำเนิดแสง (light source) อุปกรณ์แยกแสงออกเป็นทีละความยาวคลื่นหรือโมโนโครเมเตอร์ (monochromator) ช่องใส่ตัวอย่าง (sample cell) ตัวรับแสง (detector or sensor) และคอมพิวเตอร์

หลักการสร้างเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ NIR มีหลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ การใช้หลักการของเทคนิคฟูเรียร์ (Fourier transform technique) หลักการของเกรตติงเคลื่อนที่ (moving gratings) หลักการ

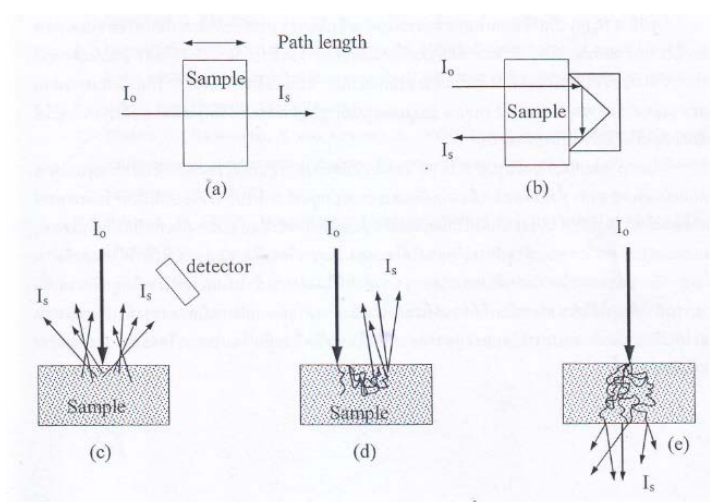
ฟิลเตอร์เชิงแสง (optical filter) หลักการของแถวลำดับไดโอด (diode arrays) และหลักการของอคูสติกออปติกทูนเอเบิลฟิลเตอร์ (acousto-optic tunable filters; AOTF) โดยในภาพที่ 4 จะแสดงถึงหลักการของแถวลำดับไดโอด ซึ่งมีลักษณะเป็นแผงยาว ตัวตรวจจับสัญญาณเรียงกันเป็นแถว เมื่อแสงสีขาวถูกแยกเป็นแต่ละช่วงความยาวคลื่นตกลงบนแผง ตัวตรวจจับสัญญาณก็จะรับสัญญาณและแปลงพลังงานเป็นพลังงานไฟฟ้า (Williams, 2006)



ภาพที่ 4 หลักการทำงานของสเปกโตรมิเตอร์แบบแถวลำดับไดโอด

ที่มา: http://www.chem.agilent.com/en-US/products/photodiode_array.png (15 มิ.ย. 58)

แบบวิธีการวัด (measurement modes) เทคนิคการวัดด้วยสเปกโทรเมทรีแบบ NIR (NIR spectrometry) สามารถทำได้ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลของปริมาณแสงที่สะท้อนแบบแพร่ (diffuse reflectance) จากตัวอย่างของแข็งแทนที่จะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากแสงที่ส่องผ่านซึ่งสัญญาณจะอ่อน ในปัจจุบันการวัดแสง NIR ที่สะท้อนแบบแพร่มักมีการประยุกต์ใช้ที่หลากหลาย การวัดแสงในรูปแบบต่างๆ จะพยายามหลีกเลี่ยงแสงสเปกคูลาร์ ในปัจจุบันแบบวิธีการวัดแสงแบบ NIR สเปกโทรสโกปีที่มีการประยุกต์ใช้มากที่สุดดังแสดงในภาพที่ 5



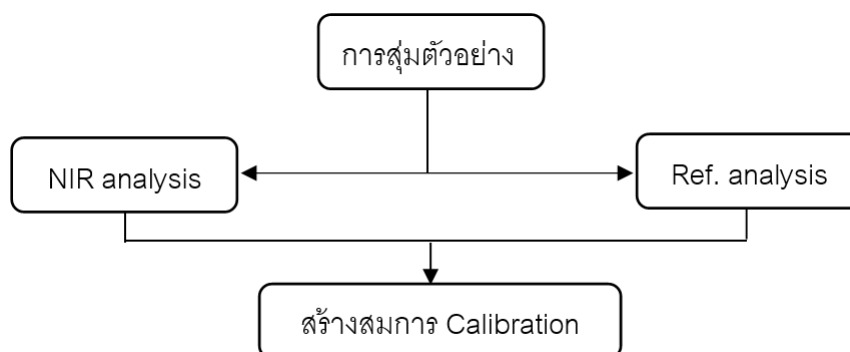
ภาพที่ 5 แบบวิธีการวัดด้วย NIR สเปกโทรสโกปี

ที่มา: Birth และ Hecht (2011)

โดยการวัดแบบ (a) คือ การส่องผ่าน (transmittance) (b) คือ การส่องผ่านสะท้อน (transflectance) (c) คือ การสะท้อนแบบแพร่ (diffuse transreflectance) (d) คือ อินเทอร์แอคแทนซ์ (interactance) (e) การส่องผ่านตัวอย่างที่มีการกระเจิงแสง (transmittance through scattering medium) (I_0 = incident light, I_s = light comes from the sample) (Birth และ Hecht, 2011) ในการศึกษาวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลมังคุด ใช้วิธีการวัดแบบส่องผ่านสะท้อน เมื่อแสงผ่านตัวอย่าง โมเลกุลภายในตัวอย่างจะดูดกลืนแสงไว้บางส่วน ตัววัดแสงจะบันทึกค่าแสงที่ผ่านออกมาเป็นค่า absorbance

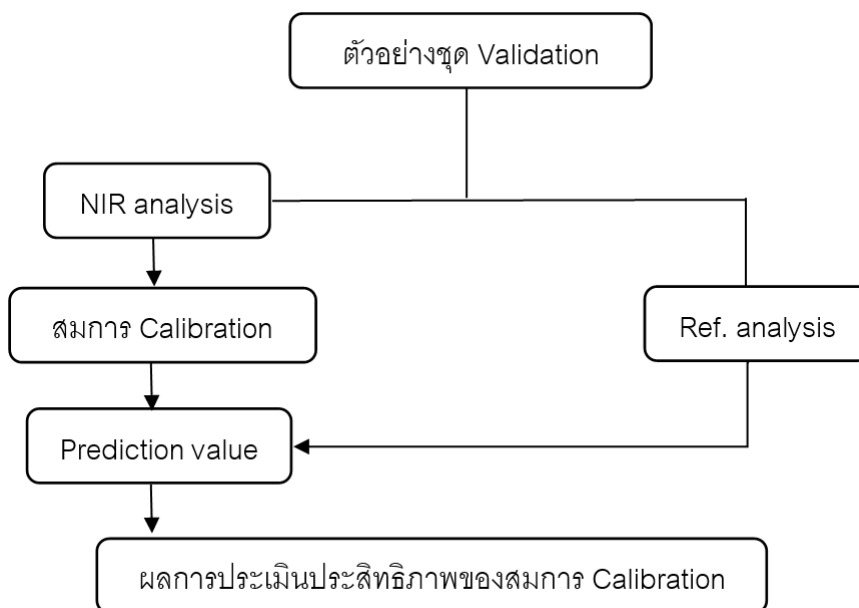
2.5 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้เทคนิค NIR

2.5.1 ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ทำนายหรือการสร้างสมการมาตรฐาน (calibration model) โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสเปกตรัม NIR ของตัวอย่างชุดมาตรฐานและค่าอ้างอิงมาตรฐานขององค์ประกอบที่ต้องการวิเคราะห์ปริมาณในตัวอย่างชุดเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 6 ตัวอย่างมาตรฐานต้องผ่านการคัดเลือกกลุ่มเพื่อเป็นตัวแทนการเลือกวิธีวิเคราะห์อ้างอิงมาตรฐานต้องเลือกวิธีที่ได้รับการยอมรับระดับสากล เช่น AOAC เป็นต้น



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการสร้างสมการมาตรฐาน
ที่มา: รณฤทธิ์ (2552)

2.5.2 ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นมาหรือการทดสอบสมการมาตรฐาน (validation) ที่สร้างขึ้นจากข้อ 2.5.1 ต้องได้ผลการวิเคราะห์ที่ยอมรับได้ คือผลการวิเคราะห์จากสมการไม่แตกต่างหรือแตกต่างกันน้อยมากกับผลวิเคราะห์วิธีมาตรฐานจึงจะนำไปใช้งานต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการทดสอบสมการมาตรฐาน
ที่มา: รณฤทธิ์ (2552)

ในปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้มาใช้ในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในผลไม้อยู่เป็นจำนวนมาก เช่น

Szuvandzsiev และคณะ (2014) ศึกษาการใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศ พบว่า องค์ประกอบของมะเขือเทศในแต่ละส่วนจะมีปริมาณของไลโคปีน (lycopene) ที่แตกต่างกัน โดยไลโคปีนจะพบที่เปลือกของมะเขือเทศมากที่สุด และน้อยที่สุดในเมล็ด อีกทั้งผลจากการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าที่ทำนายได้ยังมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง ($R^2 = 0.91$) และมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพต่ำ ($RMSECV = 1.27$) ดังนั้นจึงสามารถนำเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้นี้ไปใช้ในการทำนายได้เนื่องจากสมการมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ

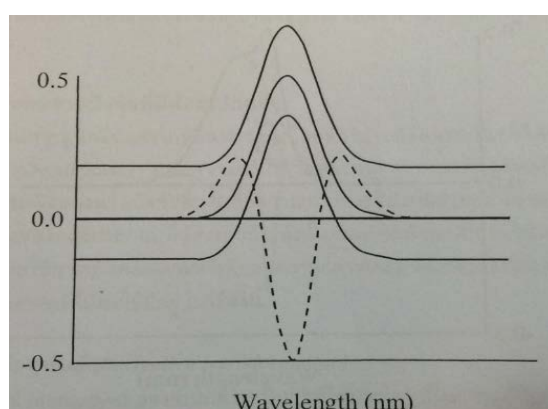
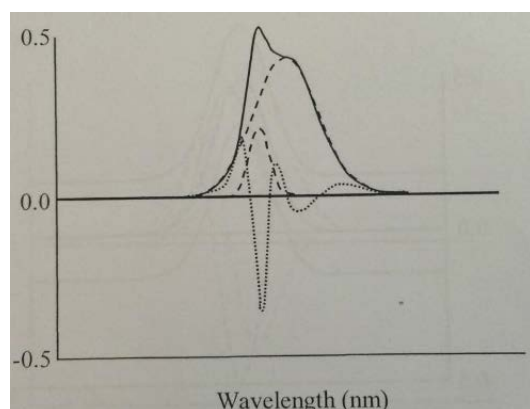
Terdwongworakul และคณะ (2012) ศึกษาการหาปริมาณเนื้อแก้วในผลมังคุดโดยใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ พบว่า บริเวณที่เกิดอาการเนื้อแก้วในผลมังคุดจะมีค่าการดูดกลืนแสงแตกต่างจากบริเวณอื่นๆ และผลจากการทำนายระหว่างค่าจริงและค่าที่ทำนายได้มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง ($R^2 = 0.86$) และมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายต่ำ ($RMSEP = 8.33\%$) ดังนั้นจึงสามารถนำเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้นี้ไปใช้ในการหาปริมาณเนื้อแก้วได้

Blanco-Diaz และคณะ (2014) ศึกษาการใช้รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ในการวัดปริมาณวิตามินซี ปริมาณฟีนอลิก และปริมาณคลอโรฟิลล์ในผลสควอช พบว่า ผลสควอชมีสารที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระเป็นจำนวนมากทั้งในเปลือกและเนื้อของผลสควอช สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีพบว่า เปลือกในมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงและมีค่าการยอมรับสูงกว่าเปลือกนอก (R^2 เปลือกในและเปลือกนอก = 0.88, 0.64 ตามลำดับ, ค่า %RPD เปลือกในและเปลือกนอก = 2.80, 1.70 ตามลำดับ) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกที่เปลือกในมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงและมีค่าการยอมรับ

สูงกว่าเปลือกนอก (R^2 เปลือกในและเปลือกนอก = 0.76, 0.61 ตามลำดับ, ค่า %RPD เปลือกในและเปลือกนอก = 2.04, 1.60 ตามลำดับ) ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์พบว่า เปลือกนอกทั้งคลอโรฟิลล์เอและบีมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงและมีค่าการยอมรับสูงกว่าเปลือกใน (R^2 คลอโรฟิลล์เอและบีทั้งเปลือกนอกและเปลือกใน = 0.85, 0.90, 0.76, 0.71 ตามลำดับ, ค่า %RPD ของคลอโรฟิลล์เอและบีทั้งเปลือกนอกและเปลือกใน = 2.45, 3.04, 2.03, 1.83)

2.6 เทคนิคการลดผลกระทบจากปัจจัยที่มีผลต่อสเปกตรัม

การแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ (derivative) ใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาการซ้อนทับกันของจุดยอดในสเปกตรัมและการเลื่อนขึ้นของสเปกตรัม การคำนวณค่าอนุพันธ์อันดับสองจะทำให้เกิดการแยกของจุดยอดที่เหลื่อมซ้อนกันออกมา จะเห็นเส้นสเปกตรัมเริ่มต้น (เส้นประ) มีจุดยอดเหลื่อมซ้อนกันเป็นผลทำให้บางส่วนของสเปกตรัมด้านขวาบวกเพิ่มกับค่าจุดยอดของสเปกตรัมทางซ้าย ทำให้สเปกตรัมรวมมีจุดยอดด้านซ้ายสูงกว่าจุดยอดด้านขวา เมื่อแปลงค่าเป็นอนุพันธ์อันดับสอง (เส้นไขว้ปลา) จะทำให้จุดยอดทั้งสองแยกตัวออกจากกันอย่างชัดเจนเพียงแต่จุดยอดกลับหัวเท่านั้นเอง นอกจากนั้นแล้วอนุพันธ์อันดับหนึ่งยังช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น หรือเพิ่มขึ้นเสมือนถูกบวกเพิ่มด้วยเส้นตรงที่มีความชันเป็นบวก

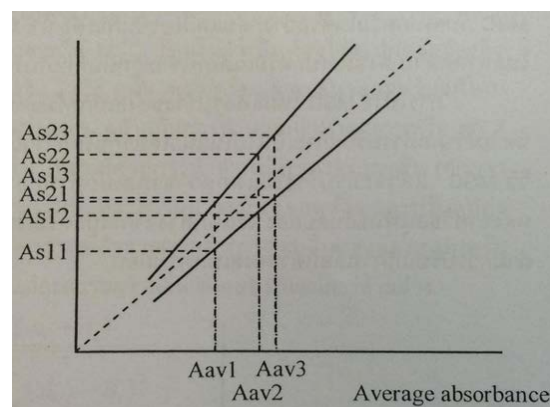
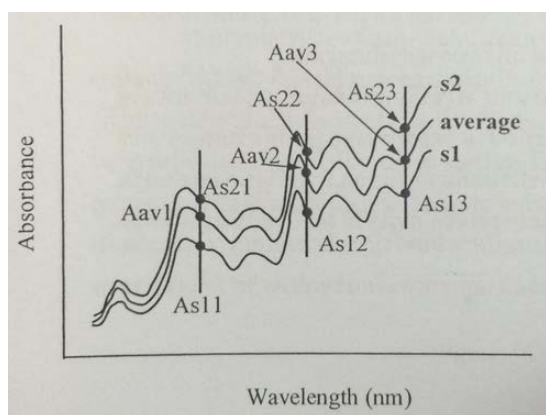


ภาพที่ 8 การแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์

ที่มา: Birth และ Hecht (2011)

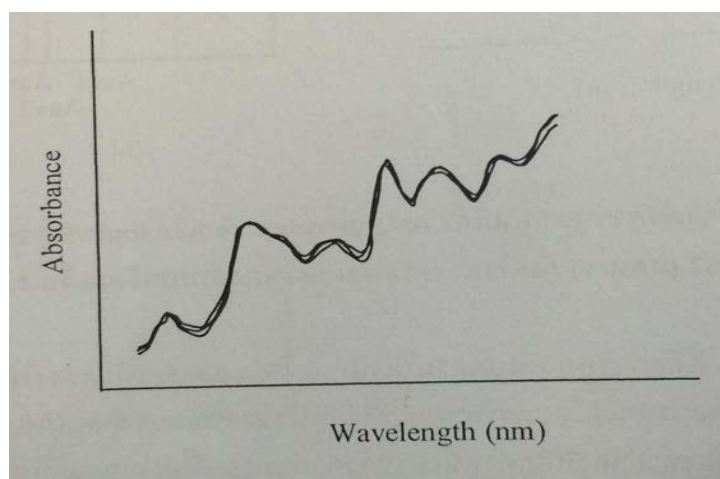
การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (Multiplicative scatter correction: MSC) เป็นเทคนิคที่ใช้ลดการกระเจิงแสง โดยทั่วไปการกระเจิงแสงจะทำให้ความชันโดยรวมของสเปกตรัมเปลี่ยนไปซึ่งเปรียบเสมือนว่าสเปกตรัมถูกทำให้หมุนรอบจุดที่ความยาวคลื่นต่ำสุดของสเปกตรัมถ้าสมมติให้สเปกตรัมเป็นเส้นตรงสเปกตรัมจะถูกทำให้มีความชันต่างไปจากเดิม ขั้นแรกนำสเปกตรัมของตัวอย่างทั้งหมดมาเฉลี่ยเพื่อให้ได้สเปกตรัมเฉลี่ยก่อนจากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่แต่ละความยาวคลื่นของตัวอย่างมาพลอตกับค่าสเปกตรัมเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งหมด วิธีการของ MSC คือการหมุนสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างมาให้ตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ย ทำได้โดยหาค่าคงที่ค่าหนึ่งมาลบออกจากสเปกตรัมเพื่อลดผลจากการเลื่อนตัวของสเปกตรัมและต้องหาค่าคงที่อีกค่าหนึ่งมาหารค่าดูดกลืนแสงของทุกๆจุดของตัวอย่าง เพื่อปรับ

ความชันของสเปกตรัมที่เปลี่ยนไป หรือก็คือการปรับค่าการดูดกลืนแสงให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นสัดส่วน เพื่อให้มีค่าตรงกับสเปกตรัมเฉลี่ย



ภาพที่ 9 การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ
ที่มา: Birth และ Hecht (2011)

วิธีปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานและการปรับแนวโน้ม ตัวอย่างที่ถูกวัดด้วยวิธีสะท้อนแบบแพร่ โดยทั่วไปจะทำให้เกิดสเปกตรัมที่แตกต่างกันเนื่องจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของอนุภาค ซึ่งจะทำให้เกิดการกระเจิงแสงสูง อิทธิพลของการกระเจิงแสงจะเกิดมากในช่วงความยาวคลื่นที่สูงส่วนปลายสเปกตรัม วิธี SNV ทำโดยการปรับแก้ให้ค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมมีค่าเป็นศูนย์ด้วยการนำค่าเฉลี่ยของสเปกตรัมของตัวอย่างนั้นๆ มาลบออกจากค่าสเปกตรัมที่แต่ละความยาวคลื่นตลอดช่วง และปรับแก้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานให้เท่ากับหนึ่ง ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะคำนวณมาจากการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมแต่ละเส้นที่ต้องการปรับแก้เมื่อปรับแก้แล้วจะได้สเปกตรัมดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 วิธีปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานและการปรับแนวโน้ม
ที่มา: Birth และ Hecht (2011)

2.7 ตรวจสอบความแม่นยำและทดสอบสมการมาตรฐาน

สมการมาตรฐานขององค์ประกอบทางเคมีที่สร้างจากการวิเคราะห์ถดถอยด้วยการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีและเงื่อนไขต่าง ๆ กัน ช่วงความยาวคลื่นต่างกัน ในแต่ละสมการสามารถเปรียบเทียบค่าทางเคมีจริงและค่าที่ทำนายได้จากสมการ เพื่อมาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (**Coefficient of determination**) หรือ R^2 และค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการแคลิเบรชัน (Standard error of calibration; SEC) หรือ Root mean square of error calibration and validation; RMSECV) ดังแสดงในสมการที่ 1 โดยดูจากผลรวมค่ากำลังสองที่น้อยที่สุดของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (minimizing the sum of square error) หรือ SSE ดังแสดงในสมการที่ 2 จากนั้นทดสอบความแม่นยำของการทำนายด้วยกลุ่มตัวอย่างแวลิดชัน ก่อนนำสมการแคลิเบรชันไปใช้ประจำวัน

$$SEC = \sqrt{\frac{\sum(Y_i - a - bX_i)^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{SSE}{n-2}} \quad \dots (1)$$

$$SSE = \sum(Y_i - a - bX_i)^2 \quad \dots (2)$$

ในการเลือกสมการแคลิเบรชัน มีหลักการโดยทั่วไปคือ เลือกสมการที่ให้ค่าสูง และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในการทำนายต่ำ (Bias) ดังแสดงในสมการที่ 3 เมื่อเลือกสมการแคลิเบรชันที่ดีที่สุดแล้ว การประเมินผลความสามารถของสมการแคลิเบรชันสามารถอธิบายได้จากค่าทางสถิติ RPD (Relative percent different) แสดงในสมการที่ 4 ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าทางเคมี (Standard deviation) หรือ SD และค่า SEP (Standard error of prediction) แสดงในสมการที่ 5 ของตัวอย่างในกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบความแม่นยำ ซึ่งเกณฑ์การพิจารณาค่า R^2 และ %RPD แสดงไว้ในตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

$$Bias = \frac{\sum(X-Y)}{n} \quad \dots (3)$$

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum(X-Y)^2 - \frac{(\sum(X-Y))^2}{n}}{n-1}} \quad \dots (4)$$

$$RPD = \frac{SD}{SEP} \quad \dots (5)$$

ตารางที่ 3 เกณฑ์การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination; R^2)

Value of R^2	Interpretation
Up to 0.25	Not usable in NIRS calibration
0.26 – 0.49	Poor correlation, research the reasons
0.50 – 0.64	Rough screening
0.66 – 0.81	Screening and approximate calibration
0.83 – 0.90	Usable with caution for most applications, including research
0.92 – 0.96	Usable in most applications, including quality assurance
>0.98	Usable in any application

ที่มา: รณฤทธิ์ (2552)

ตารางที่ 4 เกณฑ์การพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของข้อมูล (Relative percent different; %RPD)

RPD	Classification	Application
0.0 - 2.3	Very poor	Not recommended
2.4 - 3.0	Poor	Rough screening
3.1 - 4.9	Fair	Screening
5.0 - 6.4	Good	Quality control
6.5 - 8.0	Very good	Process control
>8.1	Excellent	Any application

ที่มา: รณฤทธิ์ (2552)

2.8 ข้อดีและข้อเสียของการวิเคราะห์ด้วย NIRs

ข้อดี

เทคโนโลยี NIR สามารถทำนายค่าทางเคมีได้อย่างรวดเร็ว (10-20 วินาทีต่อตัวอย่าง) ให้ผลเที่ยงตรงและแม่นยำวิเคราะห์ได้หลายค่าในการวัดเพียงครั้งเดียว (multiple components per measurement) ประหยัดเวลา ใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์น้อย ลดต้นทุนในการใช้สารเคมี ลดต้นทุนการผลิตในระยะยาว ลดมลพิษต่อสุขภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อเสีย

ใช้ระยะเวลาและงบประมาณมากในตอนต้น เป็นการดำเนินงานเพียงการตรวจสอบกลับกรองเบื้องต้น (screening test) เครื่องมือวิเคราะห์มีราคาแพงและต้องใช้เจ้าหน้าที่ที่มีความรู้ในการวิเคราะห์ (Ozaki และคณะ, 2006)

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ สารเคมี และอุปกรณ์ในการวิจัย

3.1.1 วัตถุดิบ

มังคุดจากตลาดสด จังหวัดนครปฐม

3.1.2 สารเคมี

- Ethanol (99.9%, analytical grade, Merk, Germany)
- Methanol (99.9%, analytical grade, Merk, Germany)
- Distilled water (Ligand Scientific, Thailand)
- Folin-Ciocateu's reagent (Ligand Scientific, Thailand)
- Gallic acid (Ligand Scientific, Thailand)
- 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl; DPPH (Better Syndicate, Thailand)
- Sodium carbonate (Ligand Scientific, Thailand)
- Standard alpha-mangosteen (Ligand Scientific, Thailand)

3.1.3 อุปกรณ์ในการวิจัย

- อุปกรณ์เครื่องครัว ได้แก่ มีด เขียง เครื่องบดของแห้ง ช้อน
- ชุดเครื่องแก้ว ได้แก่ ปีกเกอร์ แท่งแก้ว ขวดปรับปริมาตร กรวย ปิเปต
- ขวดแก้วสีชา
- ถุงพลาสติก ถุงอลูมิเนียมฟอยล์
- กระดาษฟอยล์
- ตะแกรงร่อนขนาด 500 μm
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (รุ่น SI-234, BEC, Thailand)
- กระดาษกรองเบอร์ 1 (WhatmanTM, Buckinghamshire, UK)
- Vortex mixer (รุ่น G560E, BEC, Thailand)
- ไมโครปิเปต (Gilson, France)
- ตู้อบลมร้อน (Tray dryer) (บริษัท กลั่นน้ำไทเทรตติ้ง กรุ๊ป จำกัด)
- เครื่องอัลตราโซนิก (PowersonicTM, Malaysia)
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectronic Uvicam, UK)
- Centrifuge sorvall (รุ่น RC6, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (รุ่น MPA S/N 2197, Bruker, Germany)
- High-performance liquid chromatography (รุ่น SIL-20AHT gradient pump, Shimadzu Coporation, Tokyo, Japan)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 วิธีการเตรียมตัวอย่าง

3.2.1.1 การเตรียมตัวอย่าง (ส่วนที่ 1)

(1) นำผลมังคุดมาจัดกลุ่มคุณภาพตามความแก่ - อ่อน โดยสังเกตจากสีเปลือก (Palapol และคณะ, 2009) โดยแบ่งออกเป็น 3 สี คือ เปลือกสีเหลือง เปลือกสีม่วงแดง และเปลือกสีม่วง

ดำ ตามลำดับ ซึ่งเปลือกมังคุดสีม่วงดำจะมีลักษณะแก่ที่สุด เสร็จแล้วจดบันทึกน้ำหนักของแต่ละสีเปลือก ดังแสดงในภาคผนวก ก1

(2) นำผลมังคุดไปล้าง แล้วผึ่งให้แห้ง เด็ดขั้วทิ้งออก แล้วทำการจดบันทึกน้ำหนัก จากนั้นจึงทำการแยกเปลือกชั้นใน และเปลือกชั้นนอก และส่วนเนื้อออกจากกัน จดบันทึกน้ำหนัก บรรจุ ส่วนเนื้อ ไว้ในถุงพลาสติก แล้วนำไปแช่เยือกแข็ง

(3) หั่นเปลือกทั้งเปลือกในและเปลือกนอกให้มีขนาดเล็กเท่าๆกัน จากนั้นจึงนำเปลือกมา อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วทำการจดบันทึกน้ำหนักทุกๆ 1 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง เสร็จแล้วนำเปลือกที่ได้มาบดหยาบและบดละเอียด แล้ว จึงร่อนผ่านตะแกรงขนาด 500 μm เสร็จแล้วบรรจุลงในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

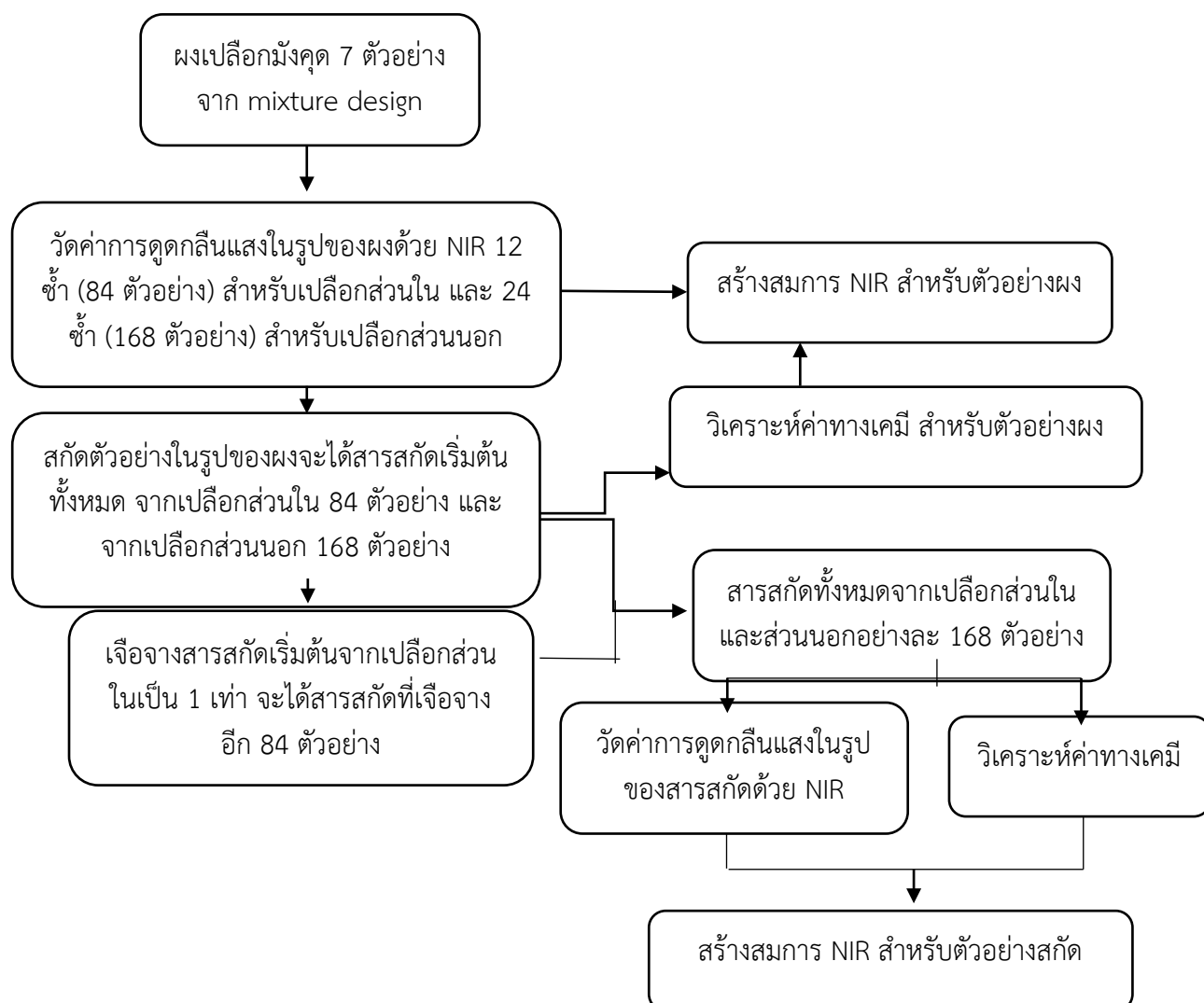
(4) หาอัตราส่วนผงเปลือกมังคุดทั้งเปลือกในและเปลือกนอกที่ทำการแยกออกเป็น 3 สี แตกต่างกันเป็นตัวแปรในการทดลอง ใช้การทดลองแบบ Mixture design แบบ Simplex lattice หุ่นจำลองแบบเส้นตรง (Linear design model) กำหนดช่วงตัวแปรแต่ละตัวเป็น 0-1 โดยใช้โปรแกรม Desig-Expert 6.0.5 (Stat-Ease, Inc., USA) ได้ส่วนผสมทั้งหมด 7 ส่วนผสม ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อัตราส่วนในการผสมผงเปลือกมังคุด

Sample	เปลือก สีเหลือง	เปลือก สีม่วงแดง	เปลือก สีม่วงดำ
1	0.33	0.33	0.33
2	0.67	0.17	0.17
3	0.17	0.67	0.17
4	0.17	0.17	0.67
5	1.00	0.00	0.00
6	0.00	1.00	0.00
7	0.00	0.00	1.00

(5) ชั่งเปลือกมังคุดตามอัตราส่วนที่ต้องการศึกษาในตารางที่ 5 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในรูปของผงด้วยเครื่องสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 800 – 2,500 นาโนเมตร โดยทำซ้ำจำนวน 24 ซ้ำ ได้จำนวนข้อมูลจากตัวอย่างทั้งสิ้น 168 ตัวอย่าง ปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมที่ได้ หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการวัดด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้แล้วมาผสมกับเอทานอลที่อัตราส่วน 1:10 ในขวดสีชาแล้วนำไปสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ปรับปริมาตรสารสกัดที่ได้ให้เป็น 10 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล เก็บตัวอย่างสารสกัดในขวดสีชา

(6) สำหรับตัวอย่างผงจากเปลือกส่วนในของมังคุดที่จะนำไปวิเคราะห์ Antioxidant ด้วยวิธี DPPH นั้น ทำการเจือจางตัวอย่างที่เป็นสารสกัดจากสารสกัดเริ่มต้นเป็น 1 เท่า ทำให้ตัวอย่างสารสกัดมีจำนวนเท่ากับตัวอย่างสารสกัดของผงเปลือกนอก (168 ตัวอย่าง) ที่ต้องเจือจางตัวอย่างสารสกัด ก็เพื่อเพิ่มพิสัยของข้อมูล เนื่องจากค่า EC_{50} ที่คำนวณได้จากสารสกัดตัวอย่างผงเปลือกในมีพิสัยของข้อมูลค่อนข้างต่ำหากไม่ได้เจือจางลงเป็น 1 เท่า ขั้นตอนการทดลองดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลองเพื่อสร้างสมการจากผงเปลือกมังคุดในการวิเคราะห์ค่าทางเคมีด้วยวิธี DPPH

3.2.1.2 การเตรียมตัวอย่าง (ส่วนที่ 2)

(1) เตรียมตัวอย่างผงเปลือกมังคุดโดยไม่แยกเปลือกในและเปลือกนอก แต่แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 สี คือ เปลือกสีเหลือง เปลือกสีม่วงแดง และเปลือกสีม่วงดำ

(2) สกัดเปลือกมังคุดแต่ละสีโดยชั่งเปลือกมังคุด 2.5 กรัม ผสมกับเอทานอลที่อัตราส่วน 1:10 ในขวดสีชาแล้วนำไปสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ปรับปริมาตรสารสกัดที่ได้ให้เป็น 25 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล เก็บตัวอย่างสารสกัดในขวดสีชา โดยตัวอย่างมังคุดแต่ละกลุ่มสีเปลือกจะถูกสกัด 3 ครั้ง

(3) เจือจางตัวอย่างสารสกัดเปลือกมังคุดด้วยเอทานอลโดยดูดสารสกัดเปลือกมังคุดแต่ละสีมา 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 และ 2.0 แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 4 มิลลิลิตร ซึ่งแต่ละสีเปลือกมังคุดจะได้ตัวอย่างที่เจือจาง 10 ตัวอย่างต่อการสกัด 1 ครั้ง แต่ละสีเปลือกจะถูกสกัด 3 ครั้ง ดังนั้น จะได้ตัวอย่างทั้งหมด 30 ตัวอย่างต่อสีเปลือกมังคุด 1 สี ดังนั้น จำนวนตัวอย่างทั้งหมดจากมังคุด 3 สีเปลือก รวมเป็น 90 ตัวอย่าง

(4) นำตัวอย่างทั้งหมดที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ปริมาณแซนโทนส์ด้วย HPLC โดยใช้สารมาตรฐานเป็นแอลฟาแมงโกสติน หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในรูปของผงด้วยเครื่องสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 800 – 2,500 นาโนเมตร

3.2.2 การวิเคราะห์ทางเคมี

(1) ศึกษาปริมาณและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด

- Antioxidant capacity ด้วยวิธี DPPH (Brand-Williams, 1994) เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว ง่ายต่อการวิเคราะห์ ให้ความถูกต้องและแม่นยำสูง โดยเติมสารละลาย DPPH ลงในตัวอย่างสารสกัดผงเปลือกมังคุดผสมกับสารละลาย DPPH ที่ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก3

- Total Phenolics ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu (Blanco-Diaz และคณะ, 2014) โดยเติมสารละลาย Folin และโซเดียมคาร์บอเนตลงในตัวอย่างสารสกัดผงเปลือกมังคุด ที่ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก4

- Xanthone ด้วยวิธี HPLC (Suvarnakuta และคณะ, 2011) โดยกำหนดให้ mobile phase A เป็น 0.1% Formic acid และ B เป็น 95% Methanol ใช้เวลา 50 นาทีต่อตัวอย่าง ในอัตรา 1 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ซึ่งมีแอลฟาแมงโกสติน (α -mangostin) เป็นสารมาตรฐานของการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาคผนวก ก5 สำหรับการวิเคราะห์ HPLC ในตัวอย่างผงเปลือกมังคุดส่วนที่ 1 นั้น จะเป็นการวิเคราะห์ขั้นแรกเพื่อดูแนวโน้มของปริมาณแซนโทน โดยวิเคราะห์ผงเปลือกแต่ละสีที่ยังไม่ได้ผสมกันกับผงเปลือกสีอื่นๆ (ตัวอย่างที่ 6-7 ของการทดลองแบบ mixture design)

(2) วัดค่าการดูดกลืนแสงในรูปของสารสกัดอีกรอบด้วยเครื่องสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ที่ความยาวคลื่น 800 – 2,500 นาโนเมตร ปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมที่ได้

3.2.3 วิธีการสร้างสมการทำนาย

(1) เมื่อได้ค่าจากการวิเคราะห์ทางเคมีและข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งแล้วมาเข้าโปรแกรม OPUS (Bruker ประเทศเยอรมนี) เพื่อทดสอบความแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้น ดังแสดงในภาคผนวก ก2

(2) สมการที่สร้างขึ้นนั้นจะได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางเคมี (แกน x) และค่าที่ทำนายได้ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (แกน y) ดังแสดงในภาคผนวก ก6

(3) วิเคราะห์ข้อมูลจากค่าต่างๆซึ่งคำนวณได้จากโปรแกรม OPUS (Bruker ประเทศเยอรมนี) ดังนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination; R^2) โดยมีเกณฑ์พิจารณาในการตัดสินใจเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ดังแสดงในภาคผนวก ก7 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (Root mean square of error calibration and validation; RMSECV) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของข้อมูล (Relative percent different; %RPD) และค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการทดลอง (Bias) โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณาคุณภาพของข้อมูลและการนำไปประยุกต์ใช้งานตามตารางที่ 3 และ 4

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์

จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างเปลือกมังคุดที่มีระดับความเข้มข้นของสีแตกต่างกัน ดังในตารางที่ 6 ซึ่งแสดงช่วงของค่าทางเคมีที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (EC₅₀) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและปริมาณแซนโทน ซึ่งการผสมตัวอย่างที่มีระดับความเข้มข้นสีต่างกันในส่วนต่างๆนั้น จะทำให้ได้ค่าทางเคมีที่มีพิสัยของข้อมูลมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสีของเปลือกมังคุดแตกต่างกันเนื่องจากมีระดับความสุกที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมองประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันด้วย (Palapol และคณะ, 2009) ซึ่งช่วยให้เห็นแนวโน้มของข้อมูลได้ชัดเจนมากขึ้นและครอบคลุมข้อมูลกว้างขึ้นในการสร้างสมการทำนาย โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณแซนโทนเฉพาะตัวอย่างมังคุดแต่ละกลุ่มสีเท่านั้น (sample 5, 6 และ 7) พบว่าปริมาณแซนโทนในบริเวณเปลือกด้านในของมังคุดเปลือกสีม่วงแดง (sample 6; 0:1:0) มีปริมาณแซนโทนมากที่สุด เช่นเดียวกับปริมาณฟีนอลิกที่พบว่าที่บริเวณเปลือกด้านในของมังคุดเปลือกสีม่วงแดงมีปริมาณฟีนอลิกมากที่สุด แต่สำหรับการวิเคราะห์แซนโทนที่บริเวณเปลือกด้านนอกของมังคุดเปลือกสีเหลือง (sample 5; 1:0:0) มีปริมาณแซนโทนมากที่สุด ซึ่งแตกต่างจากปริมาณฟีนอลิกบริเวณเปลือกด้านนอกพบว่าเปลือกมังคุดสีม่วงดำ (sample 7; 0:0:1) มีปริมาณฟีนอลิกมากที่สุด ทั้งนี้อธิบายได้ว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่พบมากไม่ได้บ่งชี้ว่าในตัวอย่างนั้นจะพบแซนโทนมากด้วย ส่วนการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (EC₅₀) พบว่าตัวอย่างเปลือกมังคุดสีม่วงแดง (sample 6; 0:1:0) มีค่าค่อนข้างต่ำกว่าอีก 2 กลุ่มตัวอย่าง ซึ่งแสดงถึงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า จึงมีแนวโน้มสอดคล้องกับปริมาณแซนโทนที่พบ เมื่อพิจารณาตัวอย่างผสมที่อัตราส่วนอื่นๆ (sample 1, 2, 3 และ 4) พบว่าที่บริเวณเปลือกด้านนอกมีปริมาณฟีนอลิกมากกว่าเปลือกด้านใน

ตารางที่ 6 ช่วงของค่าทางเคมีที่ได้จากการวิเคราะห์

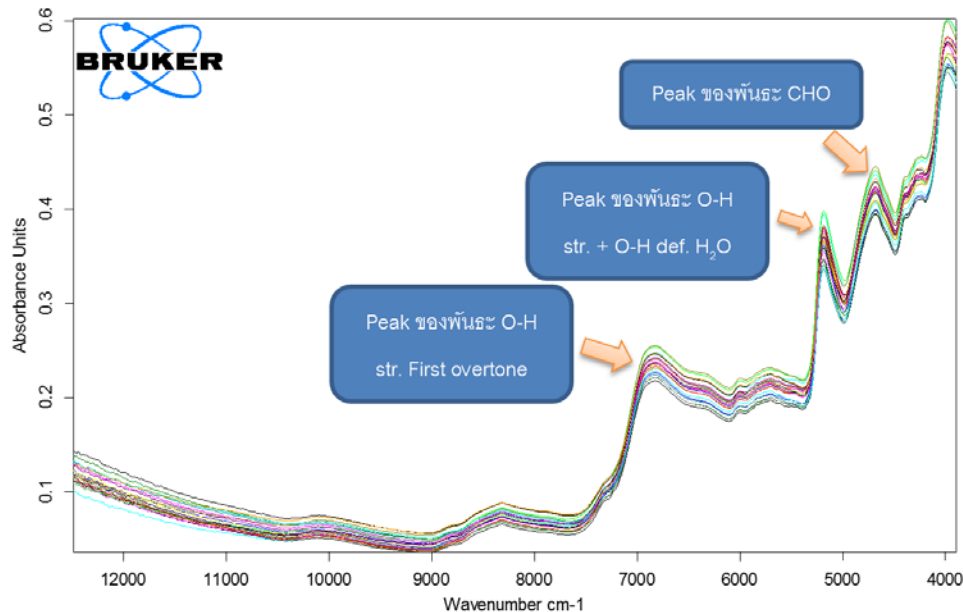
Sample	เปลือกสี เหลือง	เปลือกสี ม่วงแดง	เปลือกสี ม่วงดำ	Antioxidant; EC ₅₀ (mg/mol DPPH)			Total Phenolics (mg/g)		Xanthone (mg/g)	
				Mesocarp		Exocarp	Mesocarp	Exocarp	Mesocarp	Exocarp
				สารสกัดเจือจาง 1 เท่า	สารสกัดเริ่มต้น					
1	0.33	0.33	0.33	83.66-101.79	93.22-108.23	64.87-101.43	11.34-11.60	14.99-16.42	-	-
2	0.67	0.17	0.17	78.29-99.17	54.94-100.93	85.93-103.28	9.78-13.02	11.46-11.91	-	-
3	0.17	0.67	0.17	83.56-109.89	88.33-103.45	81.18-111.63	8.32-9.22	9.96-11.16	-	-
4	0.17	0.17	0.67	88.52-97.82	67.98-98.63	84.09-102.13	7.16-8.63	7.39-10.96	-	-
5	1.00	0	0	84.74-96.33	69.77-101.51	82.85-103.28	10.28-11.58	9.07-13.20	0.0524-0.0566	0.0220-0.0292
6	0	1.00	0	73.78-98.03	79.66-111.48	75.85-102.75	10.72-12.67	8.11-8.66	0.0629-0.0717	0.0206-0.0223
7	0	0	1.00	82.28-105.71	80.79-95.87	85.17-105.43	7.04-8.97	10.88-11.47	0.0522-0.0683	0.0194-0.0263

หมายเหตุ: *การวิเคราะห์ EC₅₀ ทำการทดลอง 12 ซ้ำ การวิเคราะห์ปริมาณ Total phenolics ทำการทดลอง 4 ซ้ำ และ การวิเคราะห์ปริมาณแซนโทนทำการทดลอง 3 ซ้ำ

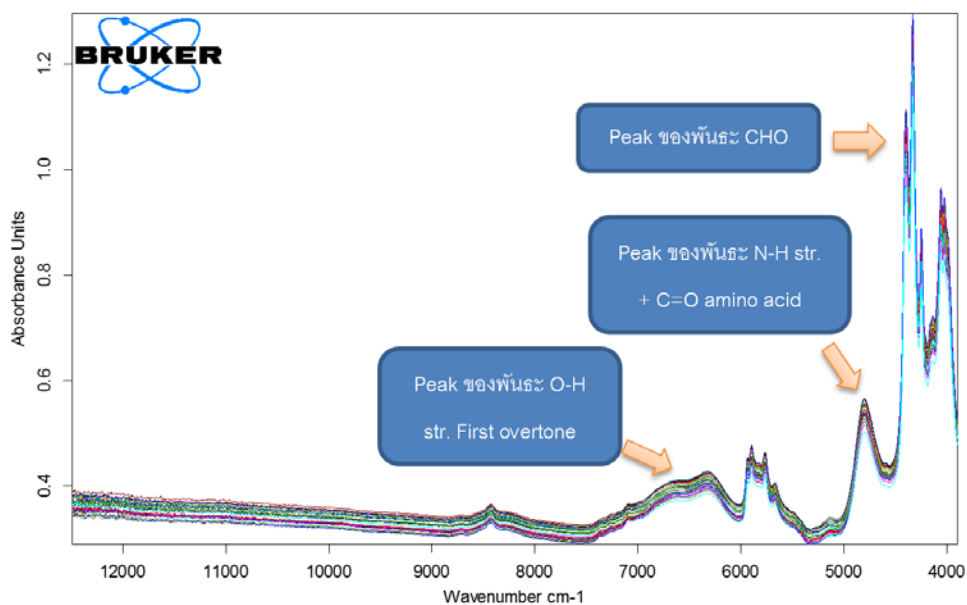
4.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

จากภาพที่ 12 และ 13 แสดงเส้นสเปกตรัมในรูปของผงและสารสกัดเปลือกมังคุด ตามลำดับ พิกัดที่เกิดขึ้นในช่วงเลขคลื่น 6500-7000 cm⁻¹ คือพิกัดของพันธะ O-H และพิกัดที่เกิดขึ้นในช่วงเลขคลื่น 4200-4500 cm⁻¹ คือพิกัดของพันธะ CHO ซึ่งสามารถพบได้ในสารประกอบจำพวกฟีนอลิก ดังนั้นเทคนิค NIR สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการติดตามปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในมังคุดได้ สำหรับสเปกตรัมใน

รูปของผงจะมีความแม่นยำมากกว่าสเปกตรัมในรูปของสารสกัด ทั้งนี้เนื่องจากสารสกัดอาจเกิดพีคที่ถูกรบกวนอันเนื่องมาจากตัวทำละลาย ทำให้พีคที่ได้มีความซับซ้อน ดังแสดงในภาพที่ 13



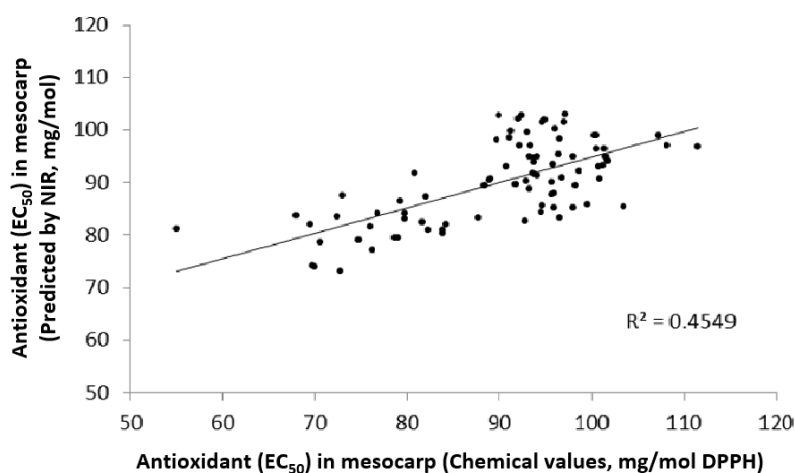
ภาพที่ 12 แสดงข้อมูลสเปกตรัมในรูปของผงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIR



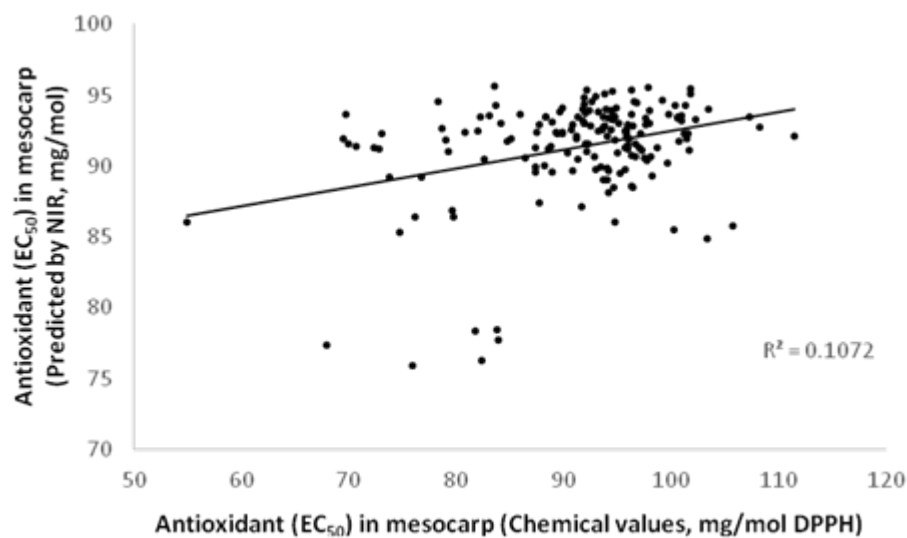
ภาพที่ 13 แสดงข้อมูลสเปกตรัมในรูปของสารสกัดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIR

การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระบริเวณเปลือกในพบว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้ด้วยเทคนิคเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ จากผงเปลือกใน มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงอยู่ในเกณฑ์ที่ยังพอรับได้ ($R^2 = 0.4549$) ดังแสดงในภาพที่ 14 แต่สำหรับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้ด้วยเทคนิคเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ จากสารสกัดเปลือกในของมังคุด มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงน้อยมาก ($R^2 = 0.1072$) ดังแสดงในภาพที่ 15 ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากผงเปลือกในมีความสัมพันธ์

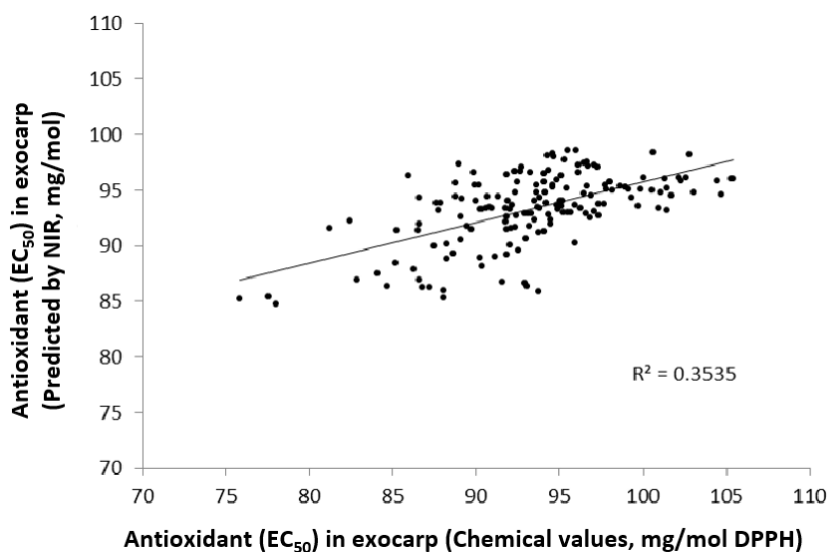
ในเชิงเส้นตรงมากกว่าจากสารสกัดเปลือกในของมังคุด ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระบริเวณเปลือกนอกพบว่า เป็นเช่นเดียวกันกับเปลือกในคือ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากผงเปลือกนอก ($R^2 = 0.3535$) ดังแสดงในภาพที่ 16 มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงมากกว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวของข้อมูลจากสารสกัดเปลือกนอก ($R^2 = 0.2812$) ดังแสดงในภาพที่ 17 และเมื่อทำการรวมข้อมูลจากตัวอย่างเปลือกในและเปลือกนอก (mesocarp + exocarp) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าที่ทำนายได้จากผงเปลือกในและเปลือกนอก $R^2 = 0.3183$ ดังแสดงในภาพที่ 18 มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงมากกว่าจากสารสกัดเปลือกในและเปลือกนอก $R^2 = 0.1196$ ดังแสดงในภาพที่ 19 จึงสรุปได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าที่ทำนายได้ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ในรูปของผงมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงมากกว่าในรูปของสารสกัด เนื่องจากในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ อาจเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชนิดของตัวอย่างที่ทำการวัดแตกต่างกันทำให้ช่วงความยาว (path length) ของการดูดกลืนพลังงานของตัวอย่างแตกต่างกัน ซึ่งตัวอย่างที่เป็นผงจะมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไปในตัวอย่างมากกว่าสารสกัด (Maesschalck และ คณะ, 1999)



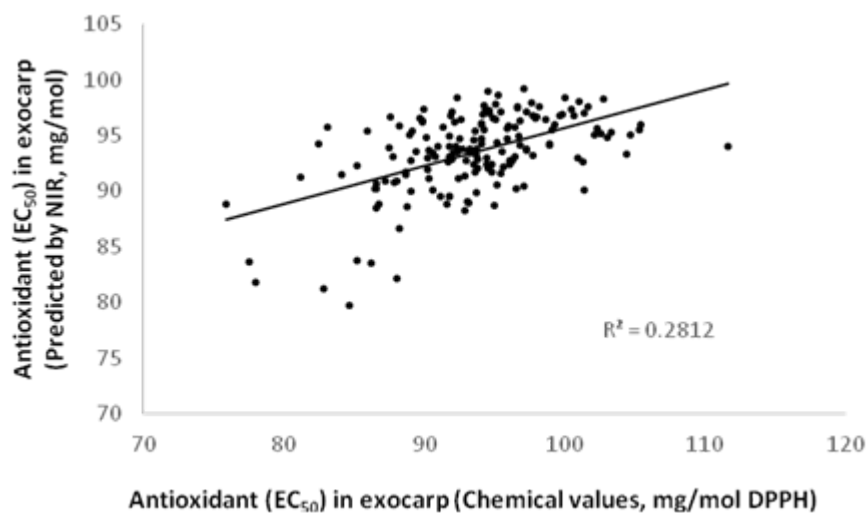
ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากผงเปลือกมังคุดด้านใน (mesocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



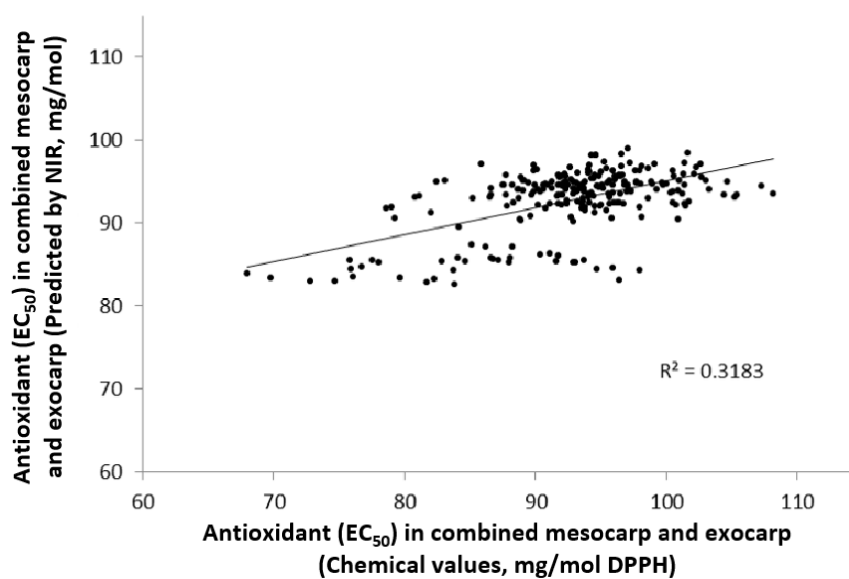
ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากสารสกัดเปลือกมังคุดด้านใน (mesocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



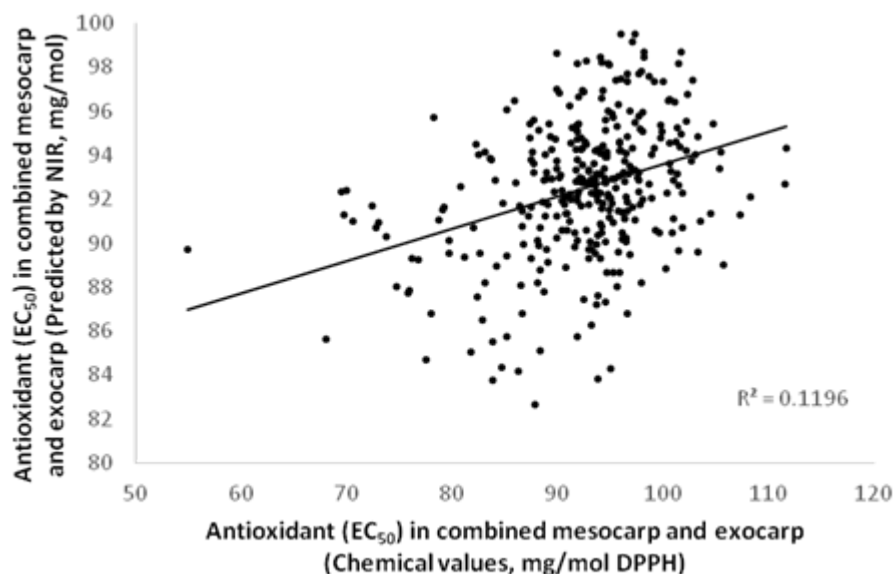
ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากผงเปลือกมังคุดด้านนอก (exocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากสารสกัดเปลือกมังคุดด้านนอก (exocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากผงเปลือกมังคุดรวมข้อมูลเปลือกด้านนอกและด้านใน (mesocarp + exocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากการสแกนสเปกโตรสโกปีของเปลือกมังคุด (mesocarp + exocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

การวิเคราะห์สมการทำนายความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (EC₅₀) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ผลดังแสดงในตารางที่ 7 ใช้วิธีการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี MSC เนื่องจากสเปกตรัมที่ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดจากเปลือกมังคุดทั้งเปลือกในและเปลือกนอก ข้อมูลสเปกตรัมมีการกระเจิงของแสง ในส่วนของข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากการรวมข้อมูลของเปลือกนอกและเปลือกในเข้าด้วยกันนั้น ในรูปของผสมสเปกตรัมมีการซ้อนทับกันในจุดยอดจึงใช้วิธีแก้ก่อนเพื่อแก้การซ้อนทับ ในรูปของสารสกัดนั้นตัวอย่างอาจมีอนุภาคที่ไม่สม่ำเสมอจึงต้องปรับแก้ด้วยวิธี SNV ค่าการทดสอบการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ นอกจากจะดูความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงของค่าจริงและค่าที่ทำนายได้แล้วจะต้องดูค่าอื่นๆเพื่อประเมินความแม่นยำของสมการด้วย เช่น ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (Root mean square of error calibration and validation; RMSECV) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของข้อมูล (Relative percent different;%RPD) และค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการทดลอง (Bias) จากการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ของเปลือกมังคุด เมื่อจำนวนตัวอย่างมากขึ้นพบว่าค่า RMSECV จะมีค่าลดลงซึ่งเป็นผลดีเพราะถ้าเกิดความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบน้อยแสดงว่าสมการมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ส่วน %RPD เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 4 ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้และไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ เนื่องจากมีค่าน้อยมาก และ Bias มีค่าน้อยแสดงว่าสมการที่ถูกทำนายขึ้นมานี้เกิดความผิดพลาดเนื่องจากการทดลองน้อย (Barabassy และ Kaffka, 1993) จึงสรุปได้ว่าสมการทำนายความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเปลือกมังคุดนี้ยังไม่มี ความน่าเชื่อถือเพียงพอในการนำไปใช้งาน จึงต้องมีการพัฒนาต่อเพื่อให้ได้ค่าการทดสอบที่ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์สมการทำนายความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (EC_{50}) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

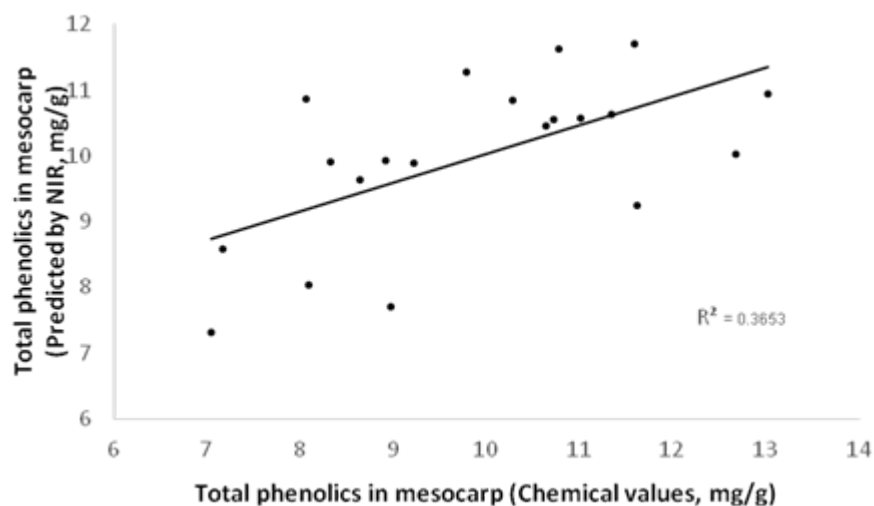
Tissue	Type	n	EC_{50} Range	Mathematic treatment	R^2	RMSECV	RPD	Bias
Mesocarp	Powder	84	54.94-111.48	Original	0.46	7.84	1.35	0.021
	Extract	168	54.94-111.49	First Derivative + MSC	0.11	8.16	1.05	0.010
Exocarp	Powder	168	64.87-111.63	Original	0.35	4.22	1.24	0.076
	Extract	168		MSC	0.28	4.49	1.18	-0.004
Mesocarp+Exocarp	Powder	252	54.94-111.63	Second Derivative	0.32	5.47	1.21	-0.003
	Extract	336		SNV	0.12	6.89	1.06	-0.043

หมายเหตุ : RMSECV ย่อมาจาก Root mean square of error calibration and validation

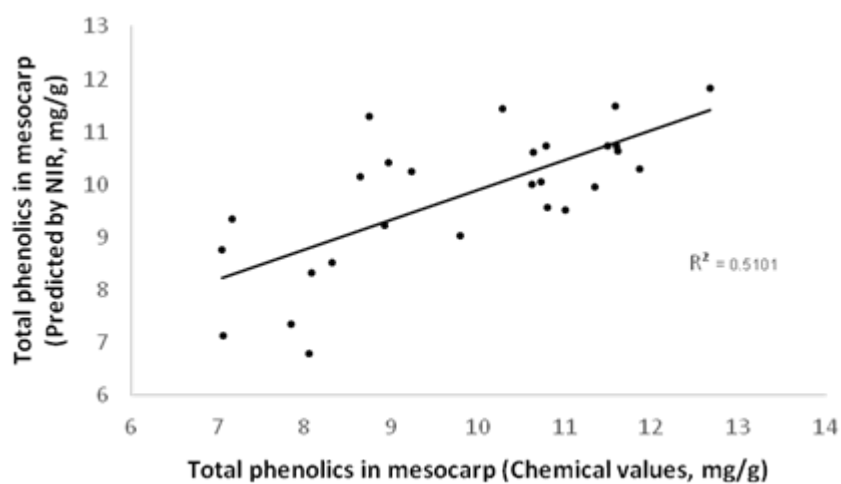
%RPD ย่อมาจาก Relative percent different

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

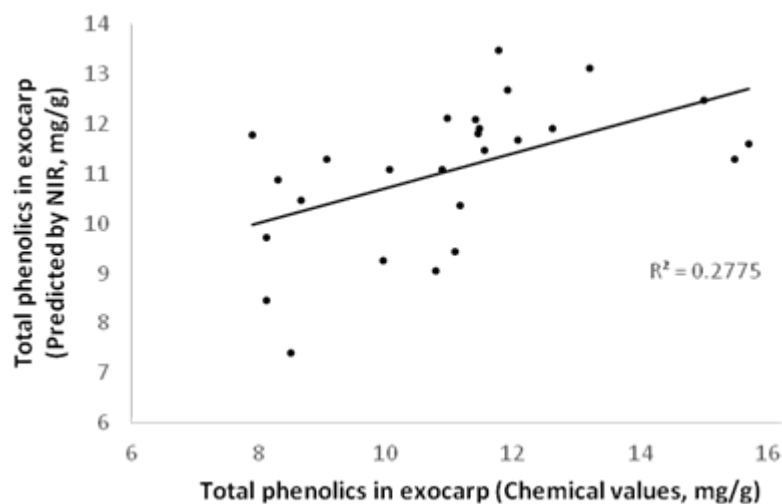
การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกบริเวณเปลือกในพบว่าค่าจริงและค่าที่ทำนายได้ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ จากผงเปลือกใน มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงอยู่ในระดับต่ำ ($R^2 = 0.3653$) ดังแสดงในภาพที่ 20 สำหรับค่าได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ จากสารสกัดเปลือกใน มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าคือ ($R^2 = 0.5101$) ดังแสดงในภาพที่ 21 ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าที่ทำนายได้จากผงเปลือกในมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงน้อยกว่าจากสารสกัดเปลือกในของมังคุด ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกบริเวณเปลือกนอกพบว่าให้ผลในการทำนองเดียวกันกับเปลือกในคือความสัมพันธ์ระหว่างค่าได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากผงเปลือกนอก ($R^2 = 0.2775$) ดังแสดงในภาพที่ 22 ซึ่งมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงน้อยกว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวของข้อมูลที่ได้จากสารสกัดเปลือกนอก $R^2 = 0.326$ ดังแสดงในภาพที่ 23 และเมื่อทำการรวมข้อมูลทั้งบริเวณเปลือกในและเปลือกนอก พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้ในรูปผง ($R^2 = 0.4519$) ดังแสดงในภาพที่ 24 มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงมากกว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวสำหรับข้อมูลที่ได้จากสารสกัด ($R^2 = 0.3306$) ดังแสดงในภาพที่ 25



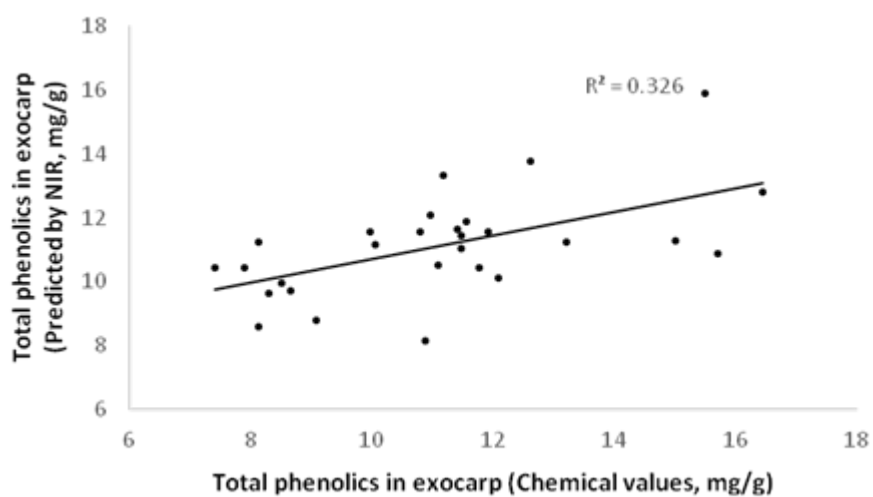
ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณฟีนอลิกที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากผงบดเปลือกมังคุดด้านใน (mesocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



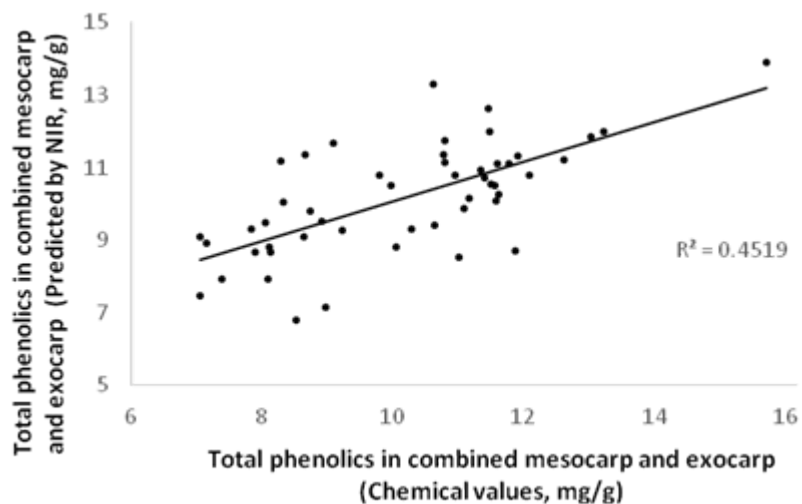
ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าปริมาณฟีนอลิกที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากสารสกัดเปลือกมังคุดด้านใน (mesocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



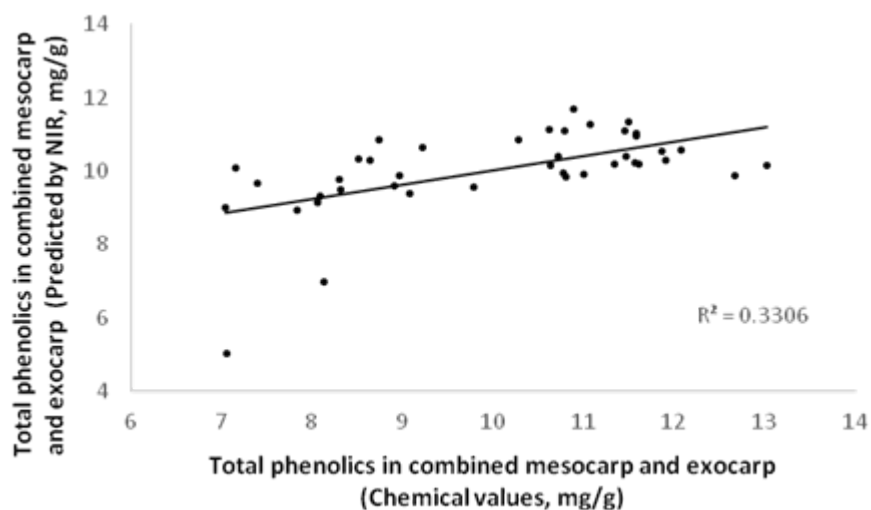
ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณฟีนอลิกที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากผงบดเปลือกมังคุดด้านนอก (exocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณฟีนอลิกที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากสารสกัดเปลือกมังคุดด้านนอก (exocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณฟีนอลิกที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากผงบดเปลือกมังคุดรวมด้านในและด้านนอก (mesocarp + exocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณฟีนอลิกที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากสารสกัดเปลือกมังคุดรวมด้านในและด้านนอก (mesocarp + exocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

Tissue	Type	n	Total phenolic Range	Mathematic treatment	R ²	RMSECV	RPD	Bias
Mesocarp	Powder	28	7.04-12.67	MSC	0.37	1.43	1.19	-0.00147
	Extract	28		Second Derivative	0.51	1.15	1.42	0.0213
Exocarp	Powder	28	7.39-16.42	Original	0.28	1.85	1.16	-0.029
	Extract	28		Second Derivative	0.33	1.99	1.21	-0.00326
Mesocarp+Exocarp	Powder	56	7.04-16.42	Second Derivative	0.45	1.4	1.33	0.00517
	Extract	56		First Derivative	0.33	1.5	1.13	-0.00941

หมายเหตุ : RMSECV ย่อมาจาก Root mean square of error calibration and validation

%RPD ย่อมาจาก Relative percent different

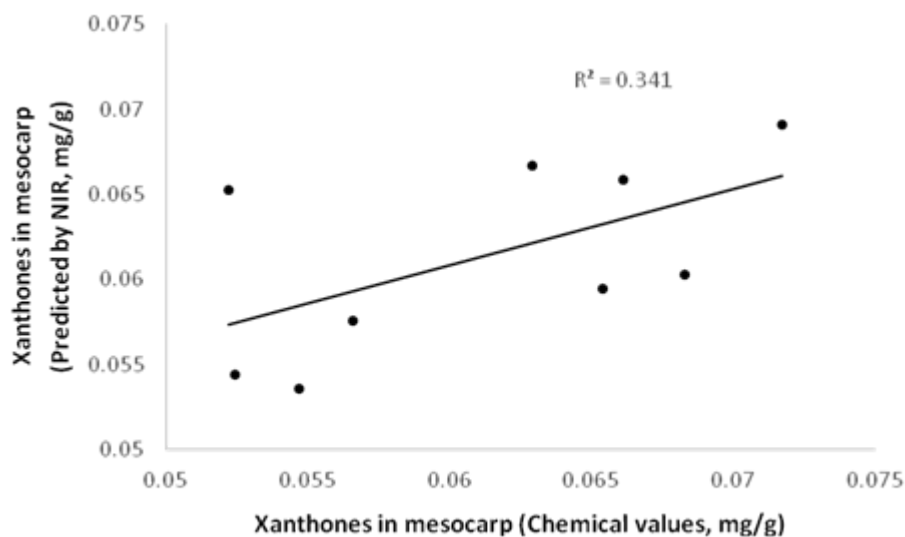
จากตารางที่ 8 ซึ่งเป็นตารางสรุปผลค่าการทดสอบการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ เนื่องจากสเปกตรัมในรูปของผงเปลือกในมีการกระเจิงแสงจึงต้องปรับแก้ด้วยวิธี MSC และข้อมูลสเปกตรัมในส่วนของการสกัดทั้งเปลือกนอกและเปลือกในและสเปกตรัมที่เกิดจากการรวมข้อมูลพบว่าการซ้อนทับกันที่จุดยอดของเส้นสเปกตรัมจึงต้องปรับแก้ด้วยวิธีอนุพันธ์ จากตารางที่ 8 พบว่าการทดสอบที่ได้มีค่า RMSECV และ Bias ต่ำมากแสดงว่าสมการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีความคลาดเคลื่อนทางประสิทธิภาพและความคลาดเคลื่อนจากการทดลองน้อยมากซึ่งทำให้สมการมีความน่าเชื่อถือมากอย่างไรก็ตาม %RPD ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดีและไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ Blanco-Diaz และคณะ (2014) ที่ได้ทำการศึกษาปริมาณฟีนอลิกในผลสควอช ซึ่งได้ค่า %RPD ที่มีความใกล้เคียงกับการทดลองนี้

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณแซนโทนส์ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

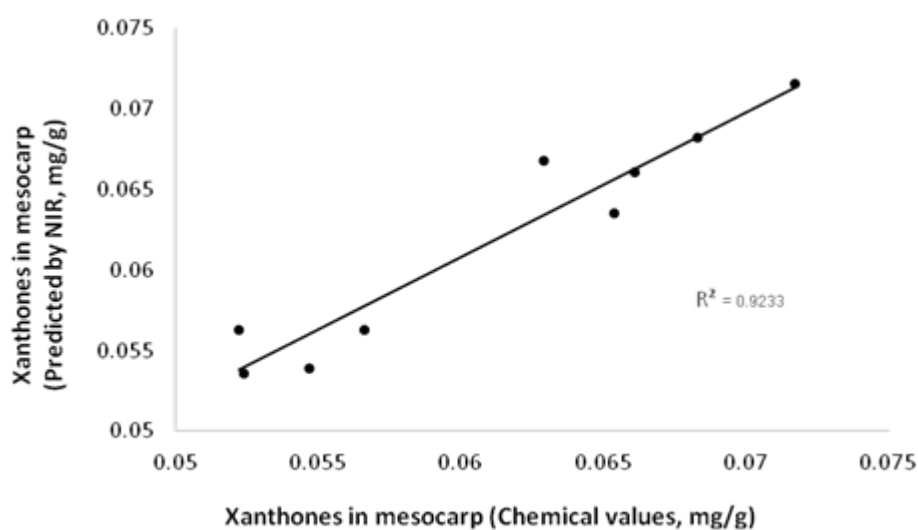
4.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณแซนโทนส์ (ส่วนที่ 1: จัดกลุ่มตัวอย่างตามชั้นของเปลือกและรูปแบบของตัวอย่าง)

การวิเคราะห์ปริมาณแซนโทนส์บริเวณเปลือกในพบว่าค่าที่วิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ จากผงเปลือกใน มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ($R^2 = 0.341$) ดังแสดงในภาพที่ 26 แต่สำหรับค่าที่วิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ จากสารสกัดเปลือกใน มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงสูง ($R^2 = 0.9233$) ดังแสดงในภาพที่ 27 ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าที่ทำนายได้จากผงเปลือกในมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงน้อยกว่าที่ได้จากสารสกัดเปลือกในของมังคุด ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณแซนโทนส์บริเวณเปลือกนอกพบว่าให้ผลแตกต่างจากเปลือกในคือ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากผงเปลือกนอกมีค่า $R^2 = 0.4139$ ดังแสดงในภาพที่ 28 ซึ่งมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงมากกว่าจากสารสกัดเปลือกนอก ($R^2 = 0.257$) ดังแสดงในภาพที่ 29 และเมื่อทำการรวมข้อมูลทั้งบริเวณเปลือกในและเปลือกนอก พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงสูงระหว่างค่าที่วิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ จากข้อมูลรวมผงเปลือกในและเปลือกนอก ($R^2 = 0.9489$) ดังแสดงในภาพที่ 30 ซึ่งสูงกว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวสำหรับข้อมูลที่ได้จากสารสกัดเปลือกในและเปลือกนอกรวมกัน ($R^2 = 0.8688$) ดังแสดงในภาพที่ 31 ดังนั้นเมื่อรวมข้อมูลการวิเคราะห์

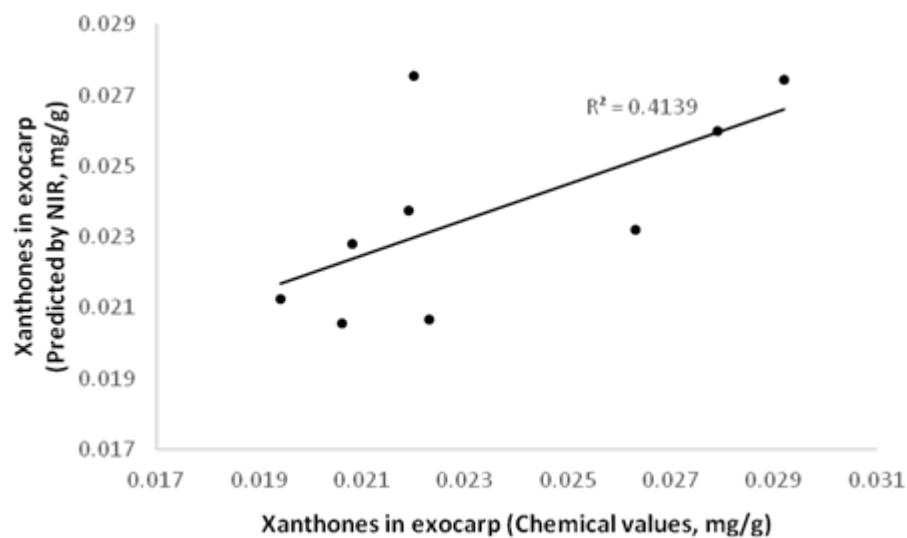
ปริมาณแซนโทนส์ทั้งบริเวณเปลือกในและเปลือกนอกพบว่าทำให้ค่าที่วิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงสูงขึ้น



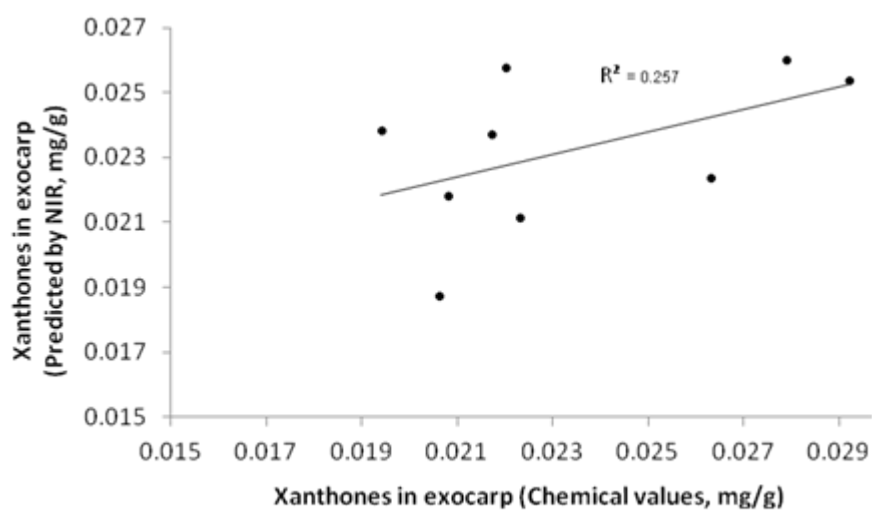
ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณแซนโทนส์ที่วิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากผงเปลือกมังคุดด้านใน (mesocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



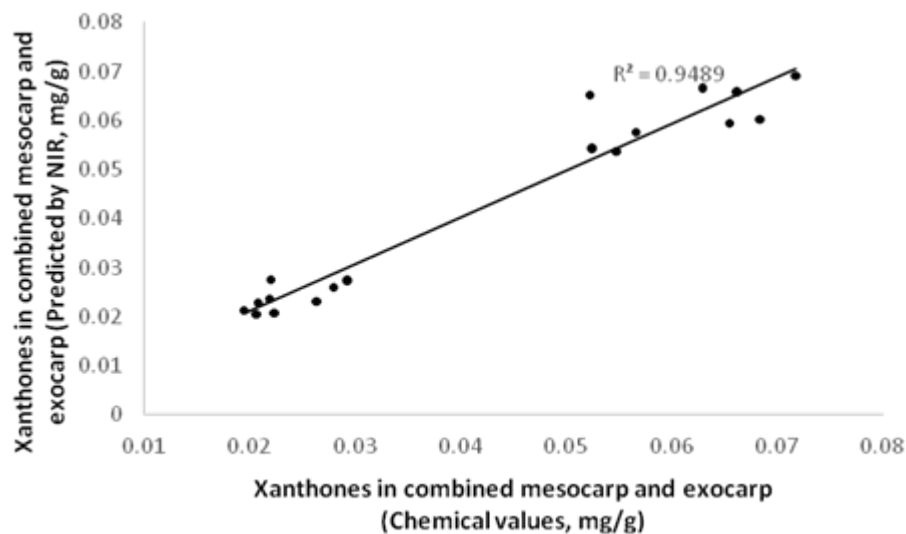
ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณแซนโทนส์ที่วิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากสารสกัดเปลือกมังคุดด้านใน (mesocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



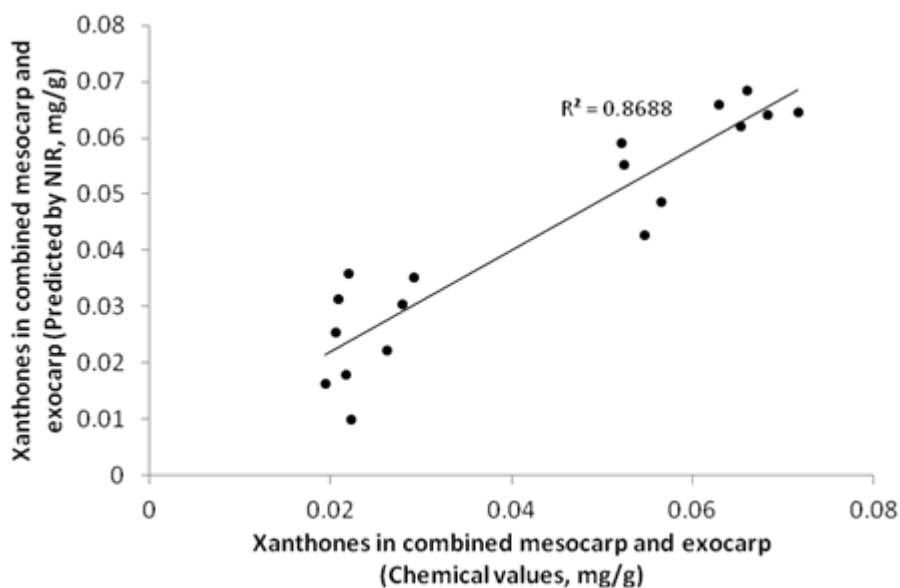
ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณแซนโธนส์ที่วิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากผงเปลือกมังคุดด้านนอก (exocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณแซนโธนส์ที่วิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากสารสกัดเปลือกมังคุดด้านนอก (exocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณแซนโธนส์ที่วิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากผลแปลือกมั่งคุดรวมด้านในและด้านนอก (mesocarp + exocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณแซนโธนส์ที่วิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากสารสกัดเปลือกมั่งคุดรวมด้านในและด้านนอก (mesocarp + exocarp) ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

จากตารางที่ 9 เป็นการสรุปผลค่าการทดสอบสมการทำนายการวิเคราะห์ปริมาณแซนโธนส์ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ เนื่องจากข้อมูลสเปกตรัมมีการซ้อนทับกันที่จุดยอดจึงต้องมีการปรับแก้สเปกตรัมด้วยวิธีอนุพันธ์ ซึ่งพบว่าการทดสอบที่ได้มีค่า Bias ต่ำมากแสดงว่าสมการทำนายการ

วิเคราะห์ปริมาณแซนโทนส์มีคลาดเคลื่อนจากการทดลองน้อยมาก เมื่อวิเคราะห์ค่า RMSECV ในการทำนายปริมาณแซนโทนส์จะเห็นได้ว่ามีค่าต่ำกว่าผลการศึกษาของ Szubandzsiev และคณะ (2014) ที่ได้ศึกษาการทำนายปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ซึ่งมีค่า RMSECV เท่ากับ 1.27 ดังนั้น สมการทำนายปริมาณแซนโทนส์ในเปลือกมังคุดจากการศึกษานี้ถือว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก แต่ %RPD ยังมีค่าต่ำอยู่กว่าสมการทำนายได้จากการรวมข้อมูลเปลือกในและเปลือกนอกในรูปของผง ถึงแม้ว่าในรูปของสารสกัดจะมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงมากแต่อย่างไรก็ตาม %RPD ก็ยังมีค่าต่ำอยู่ ตามเกณฑ์การพิจารณาตารางที่ 4 ดังนั้นสมการทำนายได้จากการรวมข้อมูลเปลือกในและเปลือกนอกในรูปของผงมีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้ในงานควบคุมคุณภาพได้ เนื่องจากค่าของการทดสอบและความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงมีค่าที่ดี (Kachigan, 1986)

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบสมการทำนายสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแซนโทนส์ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ของเปลือกมังคุดจำแนกตัวอย่างตามชั้นของเปลือกและรูปแบบ

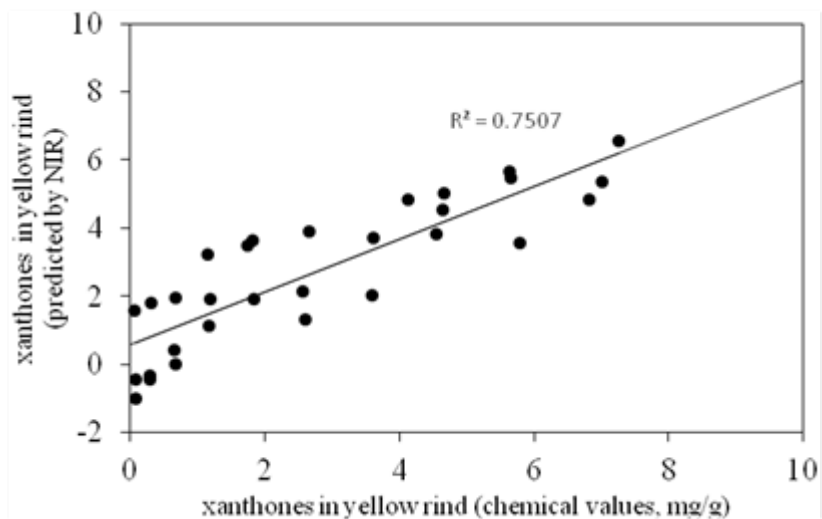
Tissue	Type	n	Antioxidant Range	Mathematic treatment	R ²	RMSECV	RPD	Bias
Mesocarp	Powder	9	0.0522-0.0717	SNV	0.34	0.00574	1.2	-0.000213
	Extract	9		First Derivative	0.92	0.00203	3.59	-0.000663
Exocarp	Powder	9	0.0194-0.0292	Second Derivative	0.41	0.00259	1.28	-0.000312
	Extract	9		Original	0.26	0.00292	1.14	0.000151
Mesocarp+Exocarp	Powder	18	0.0194-0.0717	First Derivative + SNV	0.95	0.00348	5.69	-0.000438
	Extract	18		First Derivative	0.87	0.00715	2.75	0.000294

หมายเหตุ : RMSECV ย่อมาจาก Root mean square of error calibration and validation

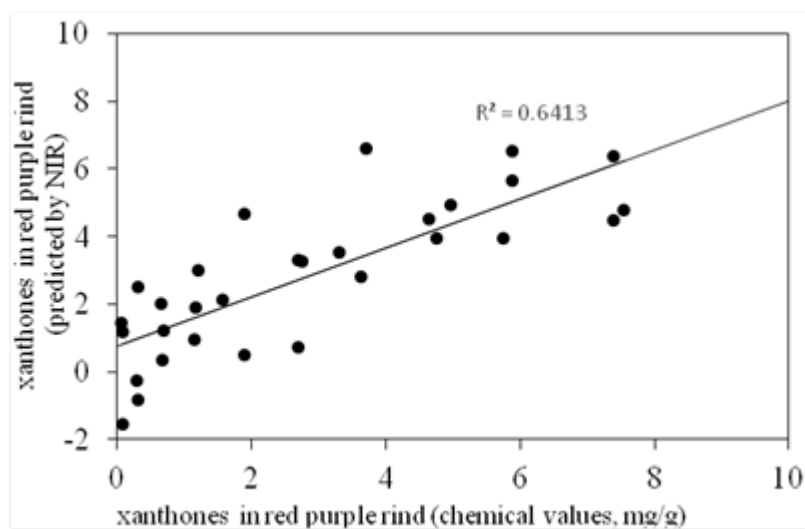
%RPD ย่อมาจาก Relative percent different

4.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณแซนโทนส์ (ส่วนที่ 2: จัดกลุ่มตัวอย่างตามสีของเปลือกมังคุด)

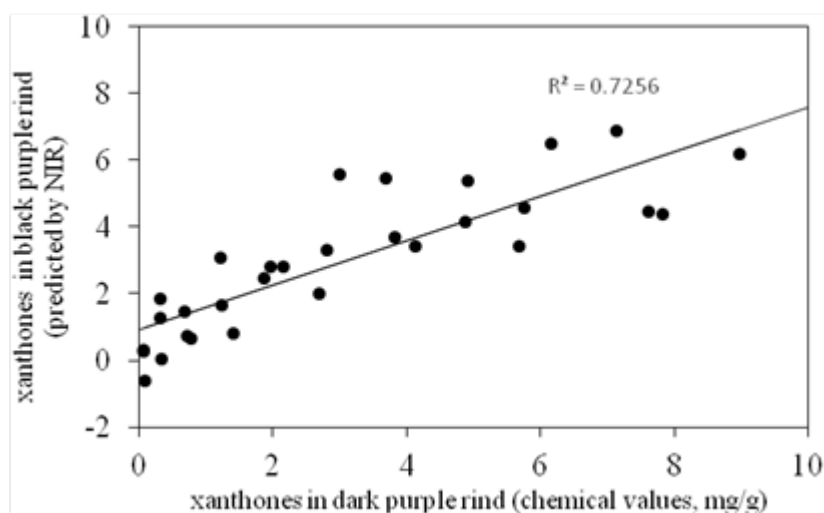
สำหรับการศึกษาต่อในส่วนของการวิเคราะห์ปริมาณแซนโทนส์พบว่าค่าจริงและค่าที่ทำนายได้ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ จากเปลือกมังคุดสีเหลืองมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงมากที่สุดคือ $R^2 = 0.75$ ดังแสดงในภาพที่ 32 เมื่อเทียบกับเปลือกมังคุดสีม่วงแดงและม่วงดำ ส่วนค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี และค่าที่ทำนายได้ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ จากสารสกัดเปลือกมังคุดสีม่วงแดงและม่วงดำ มีความสัมพันธ์ดังกล่าวในเชิงเส้นตรงมากเช่นกันคือ $R^2 = 0.63$ และ 0.72 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 33 และ 34 ตามลำดับแต่ยังต่ำกว่ากรณีของเปลือกมังคุดสีเหลือง แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อรวมข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณแซนโทนส์ทั้ง 3 สีเปลือกของมังคุด ทำให้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้มีแนวโน้มความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงมากขึ้นคือ $R^2 = 0.78$ ดังแสดงในภาพที่ 35



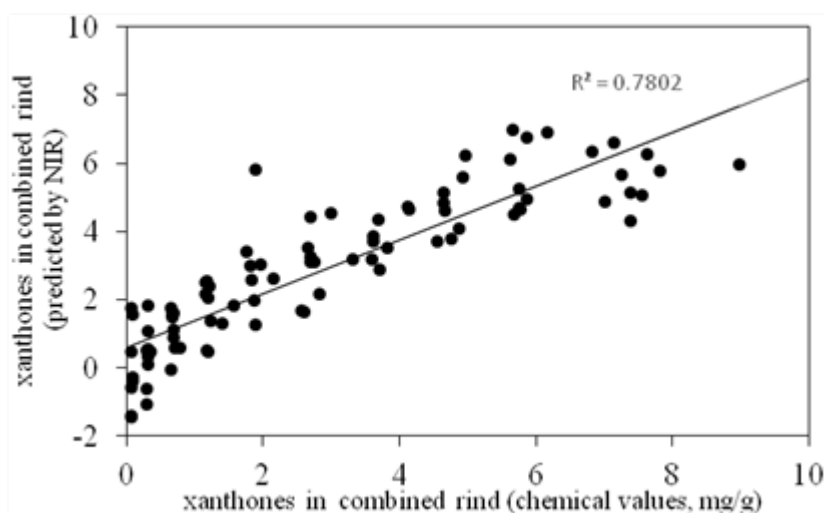
ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากเปลือกมังคุดสีเหลืองด้วยเทคนิค สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากเปลือกมังคุดสีม่วงแดงด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



ภาพที่ 34 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากเปลือกมังคุดสีม่วงดำด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้



ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้จากเปลือกมังคุดทั้ง 3 สีรวมกันด้วยเทคนิค สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบสมการทำนายสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแซนโทนีนด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ของเปลือกมังคุดจำแนกตัวอย่างตามสีเปลือก

Rind of Mangosteen	n	Mathematic treatment	Xanthone range	R ²	RMSECV	RPD (%)	Bias
yellow	30	SNV	0.0689-7.2614	0.75	1.15	2.00	0.0050
red purple	30	First Derivative	0.0746-7.5451	0.64	1.45	1.64	0.0074
black purple	30	First Derivative	0.0818-8.9703	0.72	1.39	1.89	0.0015
Total	90	SNV + First Derivative	0.0689-8.9703	0.78	1.14	2.13	0.0032

หมายเหตุ : RMSECV ย่อมาจาก Root mean square of error calibration and validation

%RPD ย่อมาจาก Relative percent different

จากตารางที่ 10 ซึ่งเป็นตารางสรุปผลค่าการทดสอบการวิเคราะห์ปริมาณแซนโทนีนด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ พบว่าสมการที่ถูกสร้างด้วยข้อมูลของตัวอย่างทั้งเปลือกมังคุดทั้ง 3 สีเปลือกเป็นสมการที่มีความน่าเชื่อถือมากที่สุดเนื่องจากมีตัวอย่างมากมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงสูง ($R^2 = 0.78$) ตามเกณฑ์การพิจารณาในตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่มีแค่ข้อมูลเพียงเปลือกมังคุดสีเดียว นอกจากนี้ยังให้ค่าความคลาดเคลื่อนของการสร้างสมการต่ำที่สุดด้วย (RMSECV = 1.14) แต่พบว่า %RPD ยังมีค่าต่ำสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้สำหรับการคัดเลือกตัวอย่างเท่านั้น ตามเกณฑ์การพิจารณาในตารางที่ 4

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การทดสอบนำเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิก พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีกับค่าที่ทำนายด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในรูปผงมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงมากกว่าในรูปสารสกัด ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีกับค่าที่ทำนายด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกในรูปสารสกัดมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงมากกว่าในรูปผง สมการที่ได้จากการรวมข้อมูลการวิเคราะห์แซนโทนส์ในเปลือกมังคุด 2 ส่วน คือ Mesocarp และ Exocarp มีค่าความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงมากที่สุด แต่สมการที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือสมการทำนายปริมาณแซนโทนส์ที่สร้างได้จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในรูปของผง เนื่องจากมีค่า RMSECV ต่ำมาก และมีค่า %RPD สูงที่สุด ทำให้ทราบว่าสมการที่ได้จากการวิเคราะห์แซนโทนส์มีแนวโน้มที่ดี เมื่อทำการศึกษาต่อจึงพบว่าสมการที่ได้มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ซึ่งสมการที่ได้จากการรวมข้อมูลของตัวอย่างเปลือกมังคุดทั้ง 3 สี่ มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงสูง มีค่า RMSECV และ Bias

จากการศึกษานี้ ทำให้ทราบว่า การนำเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกยังมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงน้อยเนื่องจากมีค่า R^2 ต่ำและนอกจากนี้ค่าการทดสอบความแม่นยำของการวิเคราะห์ยังไม่เป็นไปตามเกณฑ์เพียงพอต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานได้ จึงต้องมีการพัฒนาเพื่อปรับปรุงหรือหาวิธีการและเทคนิคอื่นๆต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กวิศร์ โกสียะจินดา และ สุรพงษ์ โกสียะจินดา. 2522. การเจริญเติบโตของผลมังคุด. วิทยาศาสตร์ 13 (1-2), 71.
- คณะกลุ่มเกษตรสัจจร. 2530. มังคุด ราชนิแห่งผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สหมิตรออฟเซต, 69 หน้า.
- รณฤทธิ์ ฤทธิธ. 2552. การสร้างระบบ NIRs สำหรับการวิเคราะห์ประจำวัน. เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้ในอุตสาหกรรมเกษตร. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 11 หน้า.
- Barabassy, S. and Kaffka, K. 1993. The application possibilities of the near infrared technique in the non-destructive investigation of mixed milk powder products. *Journal of Food Physics*. 57:39-43.
- Blanco-Diaz, M. T., Rio-Celestino, M. D., Martinez-Valdivieso, D. and Font, R. 2014. Use of visible and near- infrared spectroscopy for predicting antioxidant compounds in summer squash (*Cucurbita pepo* ssp *pepo*). *Food Chemistry*. 164; 301-308.
- Birth, G.S. and Hecht, H.G. 2011. The physics of near-infrared reflectance. In Williams, P. and Norris, K. (eds), *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industrial*, 2nd Edn; American Association of Cereal Chemists; St Paul, MN; 1-15.
- Birth, G.S. and Olsen, K.L. 1964. Nondestructive detection of water core in delicious apples. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 85, 74-84.
- Burns, D.A. and Ciurczak, E.W. 2008. *Handbook of Near-Infrared Analysis*, third edition, CRC Press, Florida, USA.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C. 1994. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- Chen, Q., Guo, Z., Zhao, J. and Ouyang, Q. 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.
- Cuvelier, M.E., Richard, H. and Berset, C. 1996. Antioxidative activity and phenolic composition of pilot-plant and commercial extracts of sage and rosemary. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73 645-652.
- De Maesschalck, R., Estienne, F., Verdu-Andres, J., Candolfi, A., Center, V., Despagne, F., Jouan-Rimbaud, D., Walczak, B., Massart, D.L., De Jong, S., De Noord, O.E., Puel, C. and Vandeginste, B.M.G. 1999. The development of calibration models for spectroscopic data using principal component regression. *Internet Journal of Chemistry* 2(1999) 19, Available Source: <http://www.ijc.com/articles/1999v2/19/>

- Dejian, H., Boxin, O. and Prior, R. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1841-1856.
- Glod, B.K., Piszcz, P., Czajka, K. and Zarzycki, P.K. 2011. A new total antioxidative potential measurements using RP-HPLC assay with Fluorescence detection. *Journal of Chromatographic Science*, 49, 401-404.
- Hagerman, A.E., Riedl, K.M., Jones, G.A., Sovik, K.N., and Richard, N.T., Hartzfeld, P.W. and Riechel, T.L. 1998. High molecular weight plant polyphenolic (tannins) as biological antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 1887-1892.
- Hruschka, W. 1990. Data Analysis: Wavelength Selection Methods. Pp 35-56. In *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries* Phil Walliam and Karl Norris (eds). American Association of Cereal Chemists, Inc.
- Ignat, I., Volf, I. and Popa, V.I. 2011. A critical review of method for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 126(4), 1821-1835.
- Kachigan, S.K. 1996. *Statistical analysis: An Interdisciplinary Introduction to Univariate & Multivariate Methods*. Radius Press, New York. 589p.
- Lu, X, Wang, J., Al-Qadiri, H. M., Ross, C. F., Powers, J.R. Tang, J. and Rasco, B.A. 2011. Determination of total phenolic content and antioxidant capacity of onion (*Allium cepa*) and shallot (*Allium oschaninii*) using infared spectroscopy. *Food Chemistry*, 129(2), 637-644.
- Maesschalck, R.D., Candolfi, A., Massart, D.L., Hailey, P.A. and Harrington, A.C.E. 1999. Identification of pharmaceutical excipients using NIR spectroscopy and SIMCA. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 19(6); 923-935.
- Moure, A., Cruz, J.M., Franco, D., Dominguez, J.M., Sineiro, J., Dominguez, H., Nunez, M.J. and Parajo, J.C. 2001. Natural antioxidants from residual soures. *Food Chemistry*, 72, 145-171.
- Naczk, M., Townsend, M., Zadernowski, R. and Shahidi, F. 2011. Protein-binding and antioxidant potential of phenolics of mangosteen fruit (*Garcinia mangostana*). *Food Chemisty*, 128(2), 292-298.
- Noypitak, S., Terdwongworakul, A. and Pathaveerat, S. 2010. Discriminant Analysis for Nondestructive Separation of Translucent Flesh Mangosteen by Near Infrared Spectroscopy. *Agricultural Sci. J.* 41(1), 393-396.
- Ozaki, Y., McClure, W.F. and Christy, A.A. 2006. *Near-infrared spectroscopy in food science and technology*. WILEY-INTERSCIENCE. 408p.

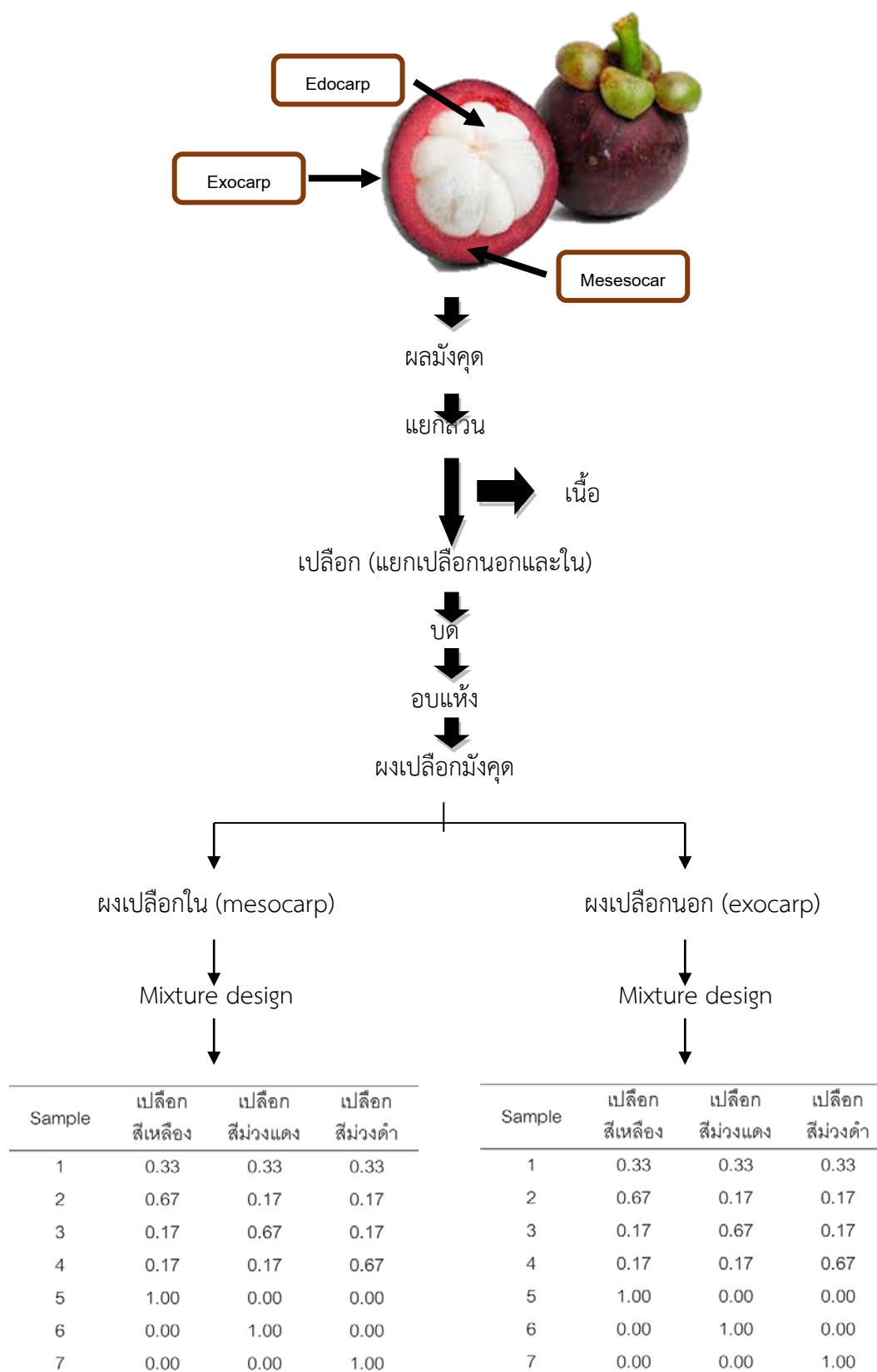
- Palapol, Y., Ketsa, S., Stevenson, D., Cooney, J.M., Allan, A.C. and Ferguson, I.B. 2009. Colour development and quality of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) fruit during ripening and after harvest. *Postharvest Biology and Technology*. 51: 349-353.
- Pissard, A., Pierna, J. A. F., Baeten, V., Sinnaeve, G., Lognay, G., Mouteau, A., Dupont, P., Rondia, A., and Lateura, M. Non-destructive measurement of vitamin C, total polyphenol and sugar content in apples using near-infrared spectroscopy. 2012. Society of Chemical Industry.
- Sinelli, N., Spinardi, A., Di Egidio, V., Mignani, I. and Casiraghi, E. Evaluation of quality and nutraceutical content of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) by near and mid-infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 50(1), 31-36.
- Suvarnakuta, P., Chaweerungrat, C. and Devahastin, S. 2011. Effects of drying methods on assay and antioxidant activity of xanthenes in mangosteen rind. *Food Chemistry*. 125; 240–247.
- Szuvandzsiev, P., Helyes, L., Lugasi, A., Szántó, C., Baranowski, P. and Pék, Z. 2014. Estimation of antioxidant components of tomato using VIS-NIR reflectance data by handheld portable spectrometer. *International Agrophysics*. 28; 521-527.
- Teerachaichayut, S., Terdwongworakul, A., Phonudom, J. and Uamsatianporn, W. 2010. Prediction of Translucent Disorder from Mangosteen Juice Using Near Infrared Spectroscopy. *Agricultural Sci. J.* 41(1), 385-388.
- Teerachaichayut, S., Terdwongworakul, A., Thanapase, W. and Kiji, K. 2011. Nondestructive Prediction of hardening pericarp disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy. *Journal of Food Engineering*. 106; 206–201.
- Terdwongworakul, A., Nakawajana, N., Teerachaichayut, S. and Janhira, A. 2012. Determination of translucent content in mangosteen by means of near infrared transmittance. *Journal of Food Engineering*, 109, 114–119.
- Thanapase, W., Teerachaichayut, S., Terdwongworakul, A., Kasemsumran, S., Janhira, A., Saranwong, S., Kawano, S., Shigefuji, K., Kiji, K. and Nitta, Y. 2010. Non-Destructive Classification Technique for Translucent and Gamboge Mangosteen by Near Infrared Spectroscopy. *Agricultural Sci. J.* 41(1), 369-372.
- Tsao, R. and Deng, Z. 2004. Separation procedures for naturally occurring antioxidant phytochemicals. *Journal of Chromatography B*. 812, 85-99.
- Villaño, D., Fernández-Pachón, M.S., Troncoso, A.M. and Garcia-Parrilla, A.C., 2004. The antioxidant activity of wine determined by the ABTS⁺ method: influence of sample dilution and time. *Journal of Free Radical Biology and Medicine*. 64(2), 501-509.

- Williams, P. 2006. Applications to agricultural and marine products. Near-infrared spectroscopy in food science and technology. Wiley-interscience. 167p.
- Yu, J., Ahmedna, M. and Goktepe, I. 2005. Effect of processing methods and extraction solvents on concentration and antioxidant activity of peanut skin phenolics. Food chemistry, 90, 199-206.
- Zadernowski, R., Czaplicki, S. and Naczek, M. 2009. Phenolic acid profiles of mangosteen fruits (*Garcinia mangostana*). Food Chemistry, 112(3), 685-689.
- Zhang, M.H., Luypaert, J., Fernández Pierna, J.A., Xu, Q.S. and Massart, D.L. 2004. determination of total antioxidant capacity in green tea by near-infrared spectroscopy and multivariate calibration. Talanta, 62(1), 25-35.
- Zude, M., Pflanz, M., Spinelli, L., Dosche, C. and Torricelli, A. 2011. Non-destructive analysis of anthocyanins in cherries by means of Lambert–Beer and multivariate regression based on spectroscopy and scatter correction using time-resolved analysis. Journal of Food Engineering, 103, 68–75.

ภาคผนวก ก

วิธีการทดลอง

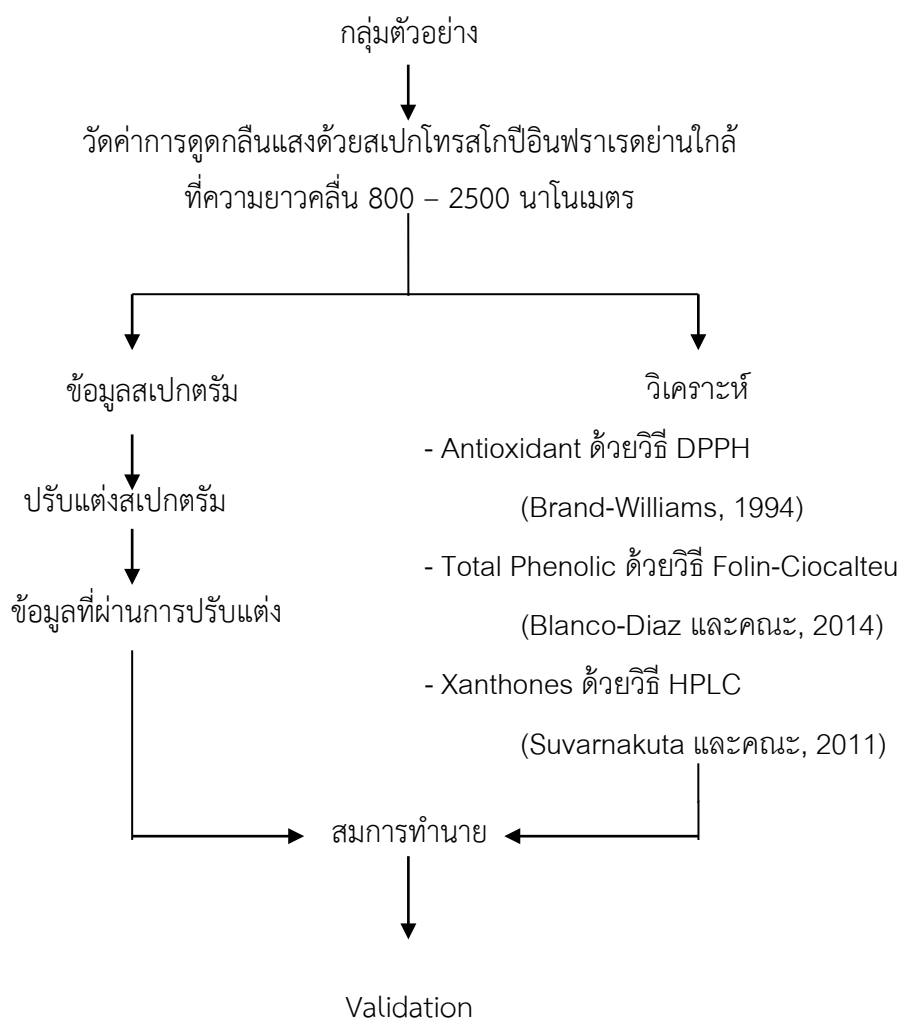
ก1 วิธีการเตรียมตัวอย่าง





ภาพที่ 1ก การคัดแยกกลุ่มมังคุดตามสีเปลือก (a) สีเหลือง (b) สีม่วงแดง (c) สีม่วงดำ

ก2 วิธีสร้างสมการทำนาย

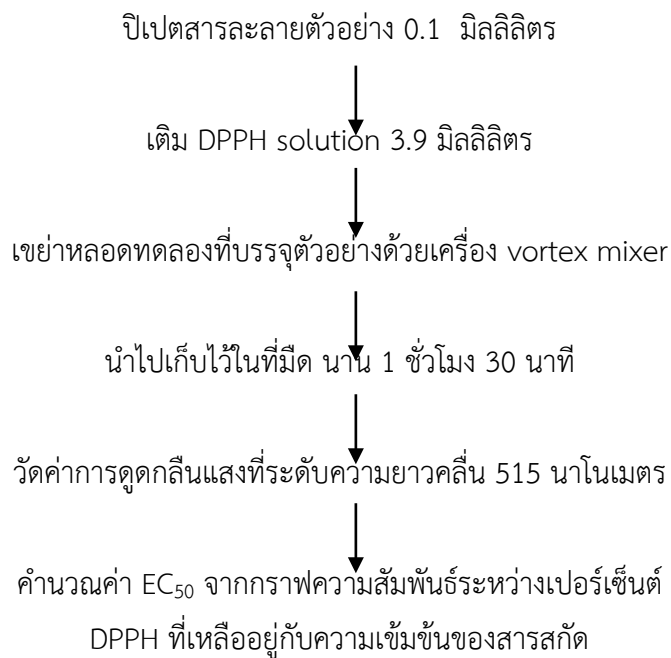


ก3 วิธีวิเคราะห์ DPPH (ดัดแปลงจากวิธีของ Brand-Williams, 1994)

1. เตรียม DPPH solution

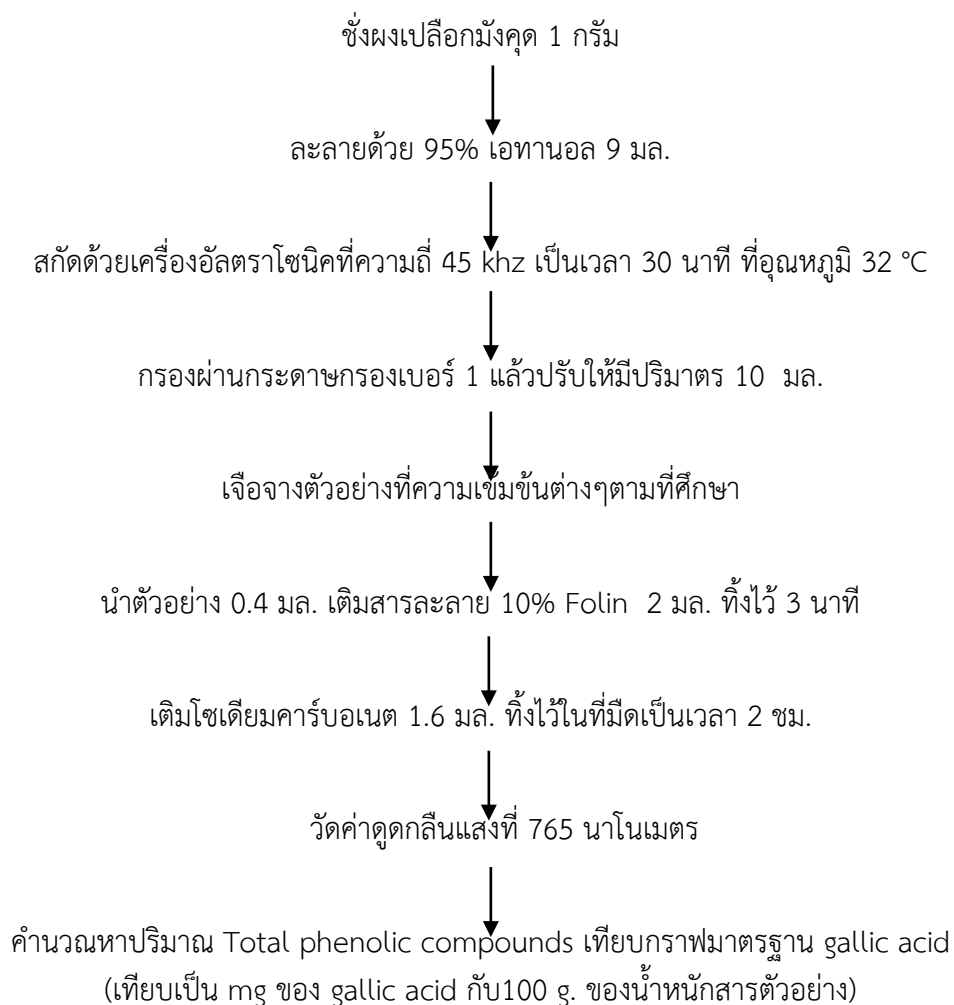


2. วิธีการทดลอง



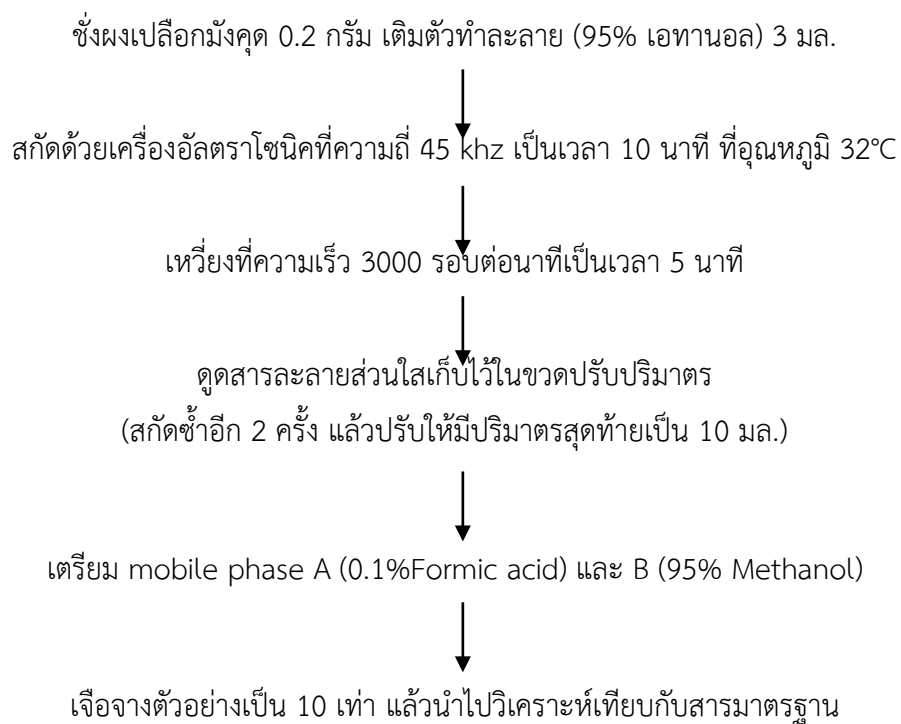
ก4 วิธีวิเคราะห์ Total Phenolics (ดัดแปลงจากวิธีของ Blanco-Diaz และคณะ, 2014)

วิธีทดสอบ

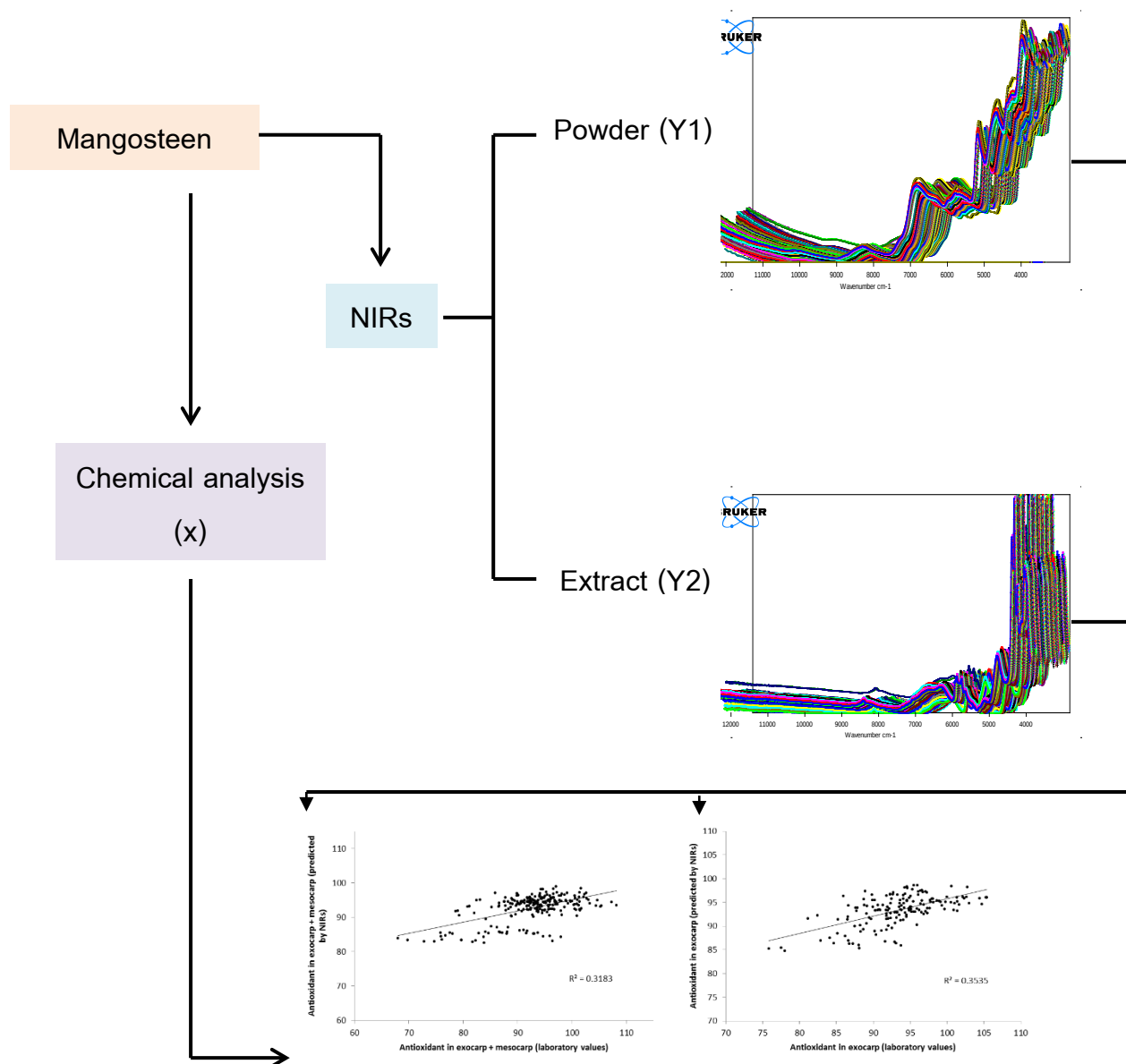


ก5 วิธีวิเคราะห์ปริมาณ xanthones (ดัดแปลงจากวิธีของ Suvarnakuta และคณะ, 2011)

วิธีทดสอบ



ก6 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีและค่าที่ทำนายได้



ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1ข ผลการวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity ในส่วนของเปลือกในครั้งที่ 1

Abs 515 nm		0.33:0.33:0.33		0.67:0.17:0.17		0.17:0.67:0.17		0.17:0.17:0.67		1:0:0		0:1:0		0:0:1	
น้ำหนักตัวอย่าง(g)		1.0011		1.0025		1.001		1.0022		1.0007		1.0025		1.0027	
DPPH		0.630		0.630		0.727		0.727		0.645		0.727		0.645	
ความเข้มข้น		50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%
1/8	rep1	0.314	0.149	0.284	0.056	0.380	0.151	0.390	0.141	0.268	0.048	0.383	0.179	0.305	0.138
	rep2	0.332	0.136	0.289	0.053	0.397	0.182	0.395	0.162	0.261	0.059	0.367	0.134	0.303	0.135
	rep3	0.332	0.134	0.276	0.058	0.415	0.164	0.389	0.132	0.276	0.087	0.373	0.113	0.289	0.125
1/10	rep1	0.371	0.214	0.315	0.119	0.454	0.241	0.439	0.216	0.315	0.129	0.421	0.236	0.340	0.190
	rep2	0.362	0.182	0.318	0.117	0.449	0.262	0.437	0.235	0.328	0.145	0.429	0.257	0.334	0.202
	rep3	0.358	0.192	0.329	0.135	0.443	0.255	0.421	0.224	0.322	0.119	0.417	0.237	0.349	0.204
1/15	rep1	0.445	0.309	0.404	0.250	0.545	0.396	0.525	0.380	0.407	0.251	0.472	0.378	0.431	0.321
	rep2	0.427	0.309	0.389	0.262	0.531	0.371	0.517	0.386	0.395	0.250	0.499	0.383	0.414	0.317
	rep3	0.435	0.315	0.409	0.266	0.524	0.416	0.516	0.368	0.417	0.269	0.494	0.363	0.426	0.315
1/20	rep1	0.427	0.361	0.439	0.344	0.582	0.452	0.556	0.469	0.440	0.339	0.535	0.444	0.427	0.371
	rep2	0.473	0.371	0.447	0.346	0.572	0.454	0.553	0.433	0.426	0.328	0.527	0.452	0.462	0.384
	rep3	0.459	0.372	0.449	0.359	0.573	0.470	0.555	0.436	0.449	0.351	0.528	0.454	0.442	0.371
1/25	rep1	0.484	0.414	0.464	0.371	0.591	0.507	0.574	0.501	0.466	0.400	0.546	0.496	0.447	0.404
	rep2	0.480	0.410	0.478	0.431	0.623	0.509	0.577	0.490	0.475	0.383	0.550	0.509	0.458	0.419
	rep3	0.492	0.407	0.471	0.381	0.588	0.487	0.580	0.482	0.476	0.375	0.554	0.501	0.505	0.412
1/30	rep1	0.502	0.437	0.489	0.405	0.605	0.528	0.608	0.528	0.490	0.430	0.563	0.506	0.487	0.452
	rep2	0.516	0.439	0.486	0.386	0.610	0.536	0.602	0.548	0.494	0.424	0.558	0.500	0.454	0.442
	rep3	0.502	0.430	0.496	0.418	0.611	0.536	0.605	0.526	0.504	0.418	0.573	0.495	0.487	0.450
1/35	rep1	0.509	0.472	0.497	0.435	0.611	0.553	0.612	0.547	0.500	0.443	0.572	0.540	0.503	0.449
	rep2	0.515	0.456	0.486	0.440	0.612	0.548	0.611	0.546	0.492	0.429	0.564	0.514	0.491	0.452
	rep3	0.514	0.463	0.499	0.430	0.632	0.544	0.609	0.549	0.496	0.444	0.588	0.515	0.507	0.470

ตารางที่ 2ข ผลการวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity ในส่วนของเปลือกในครั้งที่ 2

Abs 515 nm		0.33:0.33:0.33		0.67:0.17:0.17		0.17:0.67:0.17		0.17:0.17:0.67		1:0:0		0:1:0		0:0:1	
น้ำหนักตัวอย่าง(g)		1.0027		1.0034		1.0026		1.0005		1.003		1.0014		1.0038	
DPPH		0.665		0.655		0.665		0.710		0.710		0.710		0.655	
ความเข้มข้น		50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%
1/8	rep1	0.377	0.148	0.311	0.053	0.372	0.202	0.290	0.092	0.294	0.090	0.343	0.187	0.405	0.204
	rep2	0.346	0.123	0.287	0.051	0.385	0.205	0.297	0.082	0.272	0.103	0.341	0.188	0.391	0.202
	rep3	0.357	0.122	0.285	0.068	0.367	0.185	0.287	0.091	0.286	0.073	0.364	0.180	0.382	0.200
1/10	rep1	0.419	0.237	0.382	0.109	0.380	0.219	0.369	0.177	0.372	0.170	0.397	0.287	0.445	0.360
	rep2	0.420	0.234	0.373	0.121	0.417	0.237	0.392	0.190	0.382	0.193	0.423	0.270	0.417	0.364
	rep3	0.410	0.229	0.363	0.115	0.424	0.258	0.396	0.171	0.382	0.164	0.412	0.274	0.428	0.353
1/15	rep1	0.485	0.344	0.458	0.263	0.485	0.352	0.478	0.349	0.436	0.310	0.487	0.377	0.508	0.419
	rep2	0.480	0.322	0.449	0.231	0.472	0.354	0.476	0.313	0.435	0.328	0.497	0.360	0.502	0.421
	rep3	0.470	0.327	0.447	0.235	0.500	0.346	0.488	0.328	0.425	0.328	0.480	0.364	0.484	0.437
1/20	rep1	0.508	0.391	0.490	0.365	0.504	0.414	0.539	0.429	0.464	0.398	0.544	0.428	0.558	0.502
	rep2	0.510	0.397	0.479	0.325	0.523	0.414	0.526	0.399	0.457	0.409	0.536	0.429	0.532	0.487
	rep3	0.503	0.382	0.485	0.335	0.535	0.417	0.523	0.404	0.460	0.385	0.537	0.423	0.549	0.492
1/25	rep1	0.541	0.459	0.509	0.405	0.543	0.453	0.572	0.449	0.512	0.429	0.562	0.458	0.567	0.519
	rep2	0.539	0.428	0.518	0.402	0.502	0.458	0.549	0.440	0.513	0.431	0.558	0.448	0.567	0.517
	rep3	0.529	0.452	0.526	0.396	0.521	0.452	0.545	0.428	0.495	0.436	0.558	0.458	0.575	0.504
1/30	rep1	0.555	0.478	0.553	0.444	0.552	0.487	0.579	0.498	0.505	0.472	0.566	0.486	0.580	0.521
	rep2	0.542	0.480	0.539	0.374	0.563	0.463	0.579	0.476	0.539	0.472	0.566	0.468	0.561	0.521
	rep3	0.544	0.484	0.532	0.418	0.547	0.478	0.570	0.482	0.529	0.476	0.575	0.485	0.581	0.523
1/35	rep1	0.570	0.506	0.557	0.475	0.554	0.512	0.588	0.504	0.553	0.490	0.591	0.475	0.590	0.529
	rep2	0.563	0.502	0.556	0.423	0.561	0.518	0.596	0.519	0.537	0.486	0.582	0.481	0.597	0.531
	rep3	0.568	0.500	0.548	0.464	0.571	0.520	0.589	0.513	0.548	0.483	0.591	0.476	0.596	0.530

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity ในส่วนของเปลือกในครั้งที่ 3

Abs 515 nm		0.33:0.33:0.33		0.67:0.17:0.17		0.17:0.67:0.17		0.17:0.17:0.67		1:0:0		0:1:0		0:0:1	
น้ำหนักตัวอย่าง(g)		1.0008		1.0042		1.008		1.0106		1.0015		1.0032		1.0124	
DPPH		0.692		0.692		0.665		0.665		0.664		0.664		0.665	
ความเข้มข้น		50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%
1/8	rep1	0.338	0.11	0.324	0.097	0.365	0.14	0.37	0.163	0.34	0.1	0.3	0.044	0.243	0.435
	rep2	0.332	0.113	0.336	0.118	0.358	0.199	0.373	0.155	0.303	0.065	0.3	0.054	0.231	0.426
	rep3	0.324	0.135	0.329	0.088	0.37	0.143	0.368	0.163	0.332	0.063	0.272	0.031	0.235	0.425
1/10	rep1	0.396	0.212	0.389	0.182	0.417	0.231	0.42	0.221	0.387	0.134	0.337	0.137	0.324	0.454
	rep2	0.393	0.219	0.402	0.2	0.416	0.246	0.422	0.22	0.377	0.259	0.346	0.141	0.251	0.462
	rep3	0.395	0.208	0.393	0.167	0.408	0.214	0.412	0.231	0.38	0.244	0.348	0.139	0.288	0.456
1/15	rep1	0.468	0.308	0.465	0.317	0.488	0.352	0.483	0.342	0.444	0.297	0.428	0.275	0.392	0.514
	rep2	0.465	0.307	0.461	0.314	0.474	0.346	0.467	0.345	0.448	0.295	0.431	0.262	0.404	0.515
	rep3	0.477	0.329	0.451	0.325	0.485	0.36	0.462	0.341	0.447	0.304	0.423	0.21	0.393	0.516
1/20	rep1	0.505	0.399	0.511	0.393	0.52	0.421	0.512	0.398	0.492	0.374	0.473	0.354	0.464	0.544
	rep2	0.505	0.39	0.507	0.375	0.515	0.414	0.51	0.416	0.489	0.378	0.465	0.35	0.47	0.542
	rep3	0.519	0.381	0.505	0.379	0.517	0.406	0.5	0.41	0.487	0.369	0.47	0.352	0.472	0.538
1/25	rep1	0.536	0.435	0.528	0.438	0.544	0.462	0.532	0.44	0.515	0.428	0.498	0.404	0.484	0.535
	rep2	0.533	0.398	0.529	0.433	0.548	0.452	0.534	0.434	0.516	0.411	0.489	0.398	0.48	0.535
	rep3	0.533	0.432	0.519	0.447	0.541	0.457	0.531	0.442	0.515	0.412	0.502	0.404	0.493	0.557
1/30	rep1	0.558	0.469	0.548	0.474	0.561	0.481	0.544	0.477	0.541	0.446	0.522	0.422	0.536	0.571
	rep2	0.554	0.477	0.56	0.473	0.559	0.49	0.55	0.478	0.544	0.446	0.523	0.421	0.52	0.571
	rep3	0.528	0.477	0.552	0.476	0.549	0.49	0.552	0.475	0.539	0.456	0.516	0.426	0.525	0.563
1/35	rep1	0.57	0.482	0.567	0.487	0.576	0.5	0.563	0.485	0.547	0.467	0.528	0.457	0.551	0.574
	rep2	0.58	0.496	0.553	0.49	0.573	0.508	0.541	0.491	0.548	0.326	0.521	0.464	0.537	0.561
	rep3	0.551	0.486	0.556	0.494	0.578	0.509	0.561	0.49	0.54	0.471	0.534	0.455	0.538	0.562

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity ในส่วนของเปลือกในครั้งที่ 4

Abs 515 nm		0.33:0.33:0.33		0.67:0.17:0.17		0.17:0.67:0.17		0.17:0.17:0.67		1:0:0		0:1:0		0:0:1	
น้ำหนักตัวอย่าง(g)		1.0001		1.0013		1.0029		1.0017		1.0014		1.0038		1.0004	
DPPH		0.702		0.702		0.702		0.688		0.636		0.636		0.636	
ความเข้มข้น		50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%
1/8	rep1	0.427	0.2	0.367	0.157	0.351	0.193	0.385	0.178	0.185	0.038	0.302	0.057	0.345	0.164
	rep2	0.409	0.222	0.226	0.096	0.377	0.171	0.36	0.141	0.139	0.036	0.297	0.05	0.339	0.15
	rep3	0.385	0.211	0.374	0.121	0.35	0.15	0.373	0.186	0.198	0.037	0.283	0.065	0.349	0.184
1/10	rep1	0.44	0.22	0.414	0.206	0.442	0.26	0.432	0.275	0.286	0.057	0.362	0.161	0.412	0.235
	rep2	0.442	0.236	0.419	0.228	0.44	0.232	0.434	0.242	0.269	0.057	0.346	0.131	0.395	0.236
	rep3	0.459	0.216	0.378	0.215	0.43	0.251	0.431	0.215	0.291	0.055	0.32	0.178	0.407	0.234
1/15	rep1	0.528	0.383	0.508	0.356	0.488	0.376	0.503	0.333	0.371	0.2	0.425	0.283	0.466	0.357
	rep2	0.507	0.377	0.525	0.371	0.491	0.355	0.479	0.349	0.366	0.195	0.433	0.275	0.459	0.343
	rep3	0.506	0.397	0.51	0.34	0.498	0.331	0.492	0.383	0.381	0.19	0.403	0.263	0.464	0.348
1/20	rep1	0.557	0.435	0.549	0.434	0.544	0.424	0.519	0.416	0.43	0.287	0.454	0.341	0.486	0.41
	rep2	0.551	0.417	0.557	0.442	0.534	0.421	0.516	0.416	0.429	0.287	0.464	0.335	0.49	0.396
	rep3	0.56	0.462	0.546	0.426	0.536	0.426	0.534	0.405	0.363	0.278	0.446	0.34	0.484	0.391
1/25	rep1	0.575	0.479	0.58	0.474	0.552	0.468	0.514	0.469	0.467	0.336	0.491	0.399	0.508	0.436
	rep2	0.558	0.502	0.561	0.482	0.46	0.459	0.551	0.466	0.469	0.309	0.496	0.382	0.507	0.425
	rep3	0.517	0.479	0.578	0.496	0.56	0.457	0.55	0.461	0.456	0.347	0.486	0.392	0.502	0.441
1/30	rep1	0.605	0.498	0.599	0.518	0.565	0.501	0.564	0.492	0.481	0.377	0.503	0.427	0.516	0.41
	rep2	0.601	0.532	0.588	0.509	0.569	0.488	0.572	0.498	0.486	0.379	0.501	0.429	0.518	0.461
	rep3	0.605	0.528	0.548	0.513	0.604	0.497	0.582	0.496	0.477	0.392	0.493	0.42	0.507	0.462
1/35	rep1	0.617	0.522	0.604	0.525	0.571	0.506	0.584	0.505	0.49	0.386	0.514	0.446	0.504	0.466
	rep2	0.606	0.546	0.526	0.53	0.562	0.507	0.58	0.513	0.487	0.394	0.52	0.472	0.518	0.468
	rep3	0.607	0.54	0.562	0.53	0.558	0.512	0.578	0.525	0.472	0.398	0.518	0.446	0.518	0.481

ตารางที่ 5x ผลการวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity ในส่วนของเปลือกนอกครั้งที่ 1

Abs 515 nm		0.33:0.33:0.33	0.67:0.17:0.17	0.17:0.67:0.17	0.17:0.17:0.67	1:0:0	0:1:0	0:0:1
น้ำหนักตัวอย่าง (g)		1.0007	1.0019	1.0009	1.0225	1.0104	1.0025	1.0003
DPPH		0.737	0.737	0.737	0.739	0.739	0.739	0.739
1/5	rep1	0.041	0.042	0.046	0.039	0.039	0.26	0.153
	rep2	0.046	0.045	0.041	0.035	0.038	0.269	0.167
	rep3	0.034	0.047	0.042	0.052	0.039	0.267	0.165
1/10	rep1	0.255	0.209	0.174	0.278	0.251	0.345	0.399
	rep2	0.255	0.193	0.196	0.283	0.239	0.37	0.398
	rep3	0.255	0.177	0.193	0.282	0.216	0.361	0.362
1/15	rep1	0.372	0.344	0.349	0.386	0.33	0.425	0.462
	rep2	0.385	0.342	0.35	0.399	0.344	0.407	0.473
	rep3	0.38	0.341	0.331	0.393	0.332	0.438	0.474
1/20	rep1	0.456	0.412	0.418	0.449	0.436	0.461	0.512
	rep2	0.462	0.391	0.426	0.437	0.424	0.459	0.505
	rep3	0.433	0.418	0.399	0.469	0.441	0.472	0.517
1/30	rep1	0.516	0.51	0.489	0.514	0.489	0.485	0.557
	rep2	0.517	0.495	0.494	0.516	0.476	0.49	0.558
	rep3	0.52	0.502	0.493	0.511	0.487	0.487	0.551
1/40	rep1	0.555	0.535	0.546	0.529	0.518	0.507	0.576
	rep2	0.563	0.531	0.528	0.537	0.505	0.513	0.575
	rep3	0.548	0.551	0.537	0.545	0.512	0.508	0.574
1/50	rep1	0.582	0.574	0.567	0.57	0.532	0.522	0.588
	rep2	0.581	0.572	0.560	0.562	0.533	0.515	0.577
	rep3	0.575	0.57	0.569	0.556	0.533	0.52	0.588

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity ในส่วนของเปลือกนอกครั้งที่ 2

Abs 515 nm		0.33:0.33:0.33	0.67:0.17:0.17	0.17:0.67:0.17	0.17:0.17:0.67	1:0:0	0:1:0	0:0:1
น้ำหนักตัวอย่าง (g)		1.0022	1.0074	1.0043	1.0041	1.0027	1.0008	1.0089
DPPH		0.732	0.732	0.732	0.732	0.721	0.721	0.721
1/5	rep1	0.039	0.039	0.045	0.106	0.041	0.084	0.297
	rep2	0.039	0.041	0.033	0.082	0.045	0.092	0.315
	rep3	0.044	0.033	0.039	0.079	0.043	0.096	0.299
1/10	rep1	0.224	0.167	0.272	0.327	0.203	0.239	0.397
	rep2	0.211	0.195	0.245	0.349	0.19	0.238	0.406
	rep3	0.242	0.187	0.236	0.328	0.217	0.257	0.402
1/15	rep1	0.365	0.321	0.355	0.448	0.299	0.336	0.415
	rep2	0.365	0.363	0.365	0.445	0.288	0.344	0.402
	rep3	0.374	0.342	0.372	0.45	0.313	0.357	0.488
1/20	rep1	0.442	0.438	0.45	0.516	0.425	0.426	0.523
	rep2	0.437	0.429	0.443	0.530	0.403	0.444	0.522
	rep3	0.437	0.409	0.451	0.512	0.405	0.426	0.525
1/30	rep1	0.527	0.521	0.538	0.568	0.468	0.493	0.57
	rep2	0.479	0.511	0.517	0.567	0.459	0.491	0.571
	rep3	0.523	0.51	0.521	0.573	0.452	0.515	0.555
1/40	rep1	0.568	0.559	0.578	0.558	0.513	0.538	0.595
	rep2	0.568	0.558	0.567	0.615	0.508	0.521	0.591
	rep3	0.57	0.576	0.555	0.553	0.5	0.544	0.589
1/50	rep1	0.596	0.581	0.594	0.636	0.52	0.547	0.605
	rep2	0.591	0.588	0.595	0.624	0.529	0.542	0.611
	rep3	0.587	0.588	0.597	0.617	0.536	0.546	0.608

ตารางที่ 7ข ผลการวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity ในส่วนของเปลือกนอกครั้งที่ 3

Abs 515 nm		0.33:0.33:0.33	0.67:0.17:0.17	0.17:0.67:0.17	0.17:0.17:0.67	1:0:0	0:1:0	0:0:1
น้ำหนักตัวอย่าง (g)		1.0006	1.0143	1.0003	1.001	1.012	1.0026	1.0023
DPPH		0.752	0.752	0.752	0.752	0.702	0.702	0.702
1/5	rep1	0.039	0.028	0.038	0.128	0.081	0.223	0.267
	rep2	0.031	0.04	0.037	0.12	0.109	0.19	0.26
	rep3	0.039	0.032	0.031	0.093	0.119	0.191	0.255
1/10	rep1	0.216	0.043	0.131	0.329	0.264	0.336	0.312
	rep2	0.223	0.052	0.112	0.361	0.253	0.338	0.288
	rep3	0.297	0.056	0.121	0.367	0.257	0.333	0.307
1/15	rep1	0.365	0.215	0.294	0.468	0.343	0.436	0.522
	rep2	0.342	0.199	0.272	0.467	0.353	0.418	0.503
	rep3	0.332	0.195	0.282	0.478	0.383	0.418	0.522
1/20	rep1	0.443	0.312	0.383	0.508	0.479	0.507	0.541
	rep2	0.448	0.313	0.372	0.512	0.46	0.491	0.548
	rep3	0.441	0.335	0.377	0.521	0.469	0.499	0.551
1/30	rep1	0.518	0.438	0.464	0.574	0.503	0.522	0.58
	rep2	0.513	0.443	0.469	0.575	0.513	0.531	0.579
	rep3	0.527	0.437	0.474	0.577	0.527	0.544	0.591
1/40	rep1	0.562	0.491	0.512	0.575	0.546	0.57	0.609
	rep2	0.563	0.495	0.502	0.6	0.545	0.56	0.603
	rep3	0.563	0.494	0.506	0.602	0.543	0.562	0.604
1/50	rep1	0.574	0.533	0.541	0.614	0.563	0.577	0.621
	rep2	0.581	0.521	0.53	0.601	0.545	0.576	0.613
	rep3	0.593	0.556	0.544	0.622	0.567	0.58	0.626

ตารางที่ 8ข ผลการวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity ในส่วนของเปลือกนอกครั้งที่ 4

Abs 515 nm		0.33:0.33:0.33	0.67:0.17:0.17	0.17:0.67:0.17	0.17:0.17:0.67	1:0:0	0:1:0	0:0:1
น้ำหนักตัวอย่าง (g)		1.0002	1.0019	1.0005	1.0056	1.0072	1.0008	1.0005
DPPH		0.722	0.722	0.681	0.681	0.681	0.681	0.681
1/5	rep1	0.067	0.04	0.044	0.033	0.126	0.174	0.202
	rep2	0.052	0.05	0.032	0.034	0.132	0.219	0.2
	rep3	0.032	0.045	0.035	0.044	0.111	0.161	0.183
1/10	rep1	0.085	0.165	0.248	0.35	0.262	0.325	0.383
	rep2	0.221	0.16	0.264	0.353	0.288	0.338	0.389
	rep3	0.218	0.166	0.292	0.265	0.293	0.322	0.39
1/15	rep1	0.356	0.341	0.389	0.414	0.388	0.397	0.46
	rep2	0.364	0.301	0.424	0.412	0.352	0.398	0.448
	rep3	0.346	0.321	0.401	0.416	0.377	0.367	0.45
1/20	rep1	0.431	0.386	0.455	0.457	0.464	0.481	0.511
	rep2	0.421	0.39	0.447	0.473	0.44	0.496	0.508
	rep3	0.427	0.394	0.452	0.471	0.433	0.468	0.498
1/30	rep1	0.389	0.474	0.53	0.525	0.519	0.522	0.538
	rep2	0.493	0.464	0.537	0.537	0.519	0.503	0.539
	rep3	0.499	0.479	0.527	0.535	0.495	0.501	0.546
1/40	rep1	0.552	0.535	0.57	0.561	0.521	0.535	0.56
	rep2	0.524	0.529	0.554	0.573	0.547	0.532	0.571
	rep3	0.544	0.521	0.558	0.557	0.536	0.54	0.57
1/50	rep1	0.569	0.535	0.583	0.584	0.535	0.548	0.573
	rep2	0.568	0.564	0.553	0.586	0.557	0.544	0.521
	rep3	0.536	0.577	0.575	0.576	0.569	0.573	0.565

ตารางที่ 9x ผลการวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity ในส่วนของเปลือกนอกครั้งที่ 5

Abs 515 nm		0.33:0.33:0.33	0.67:0.17:0.17	0.17:0.67:0.17	0.17:0.17:0.67	1:0:0	0:1:0	0:0:1
น้ำหนักตัวอย่าง (g)		1.0005	1.0042	1.0001	1.0017	1.0056	1.0004	1.0012
DPPH		0.657	0.657	0.657	0.657	0.657	0.698	0.698
1/5	rep1	0.03	0.039	0.042	0.043	0.05	0.185	0.192
	rep2	0.037	0.037	0.05	0.049	0.061	0.182	0.206
	rep3	0.038	0.04	0.048	0.043	0.056	0.248	0.213
1/10	rep1	0.172	0.105	0.193	0.233	0.227	0.303	0.36
	rep2	0.188	0.093	0.225	0.227	0.207	0.333	0.407
	rep3	0.211	0.112	0.218	0.251	0.202	0.338	0.402
1/15	rep1	0.32	0.255	0.294	0.366	0.318	0.408	0.473
	rep2	0.336	0.27	0.381	0.365	0.301	0.419	0.476
	rep3	0.31	0.275	0.422	0.37	0.292	0.407	0.477
1/20	rep1	0.388	0.334	0.448	0.439	0.404	0.469	0.524
	rep2	0.41	0.351	0.466	0.42	0.397	0.492	0.527
	rep3	0.394	0.337	0.491	0.412	0.397	0.478	0.521
1/30	rep1	0.466	0.446	0.511	0.492	0.463	0.512	0.557
	rep2	0.469	0.429	0.519	0.485	0.453	0.514	0.54
	rep3	0.466	0.439	0.533	0.469	0.465	0.521	0.545
1/40	rep1	0.501	0.485	0.567	0.534	0.483	0.552	0.586
	rep2	0.497	0.473	0.542	0.514	0.47	0.543	0.59
	rep3	0.506	0.491	0.574	0.521	0.49	0.556	0.576
1/50	rep1	0.52	0.498	0.583	0.538	0.51	0.561	0.603
	rep2	0.513	0.504	0.575	0.519	0.497	0.561	0.591
	rep3	0.475	0.517	0.579	0.515	0.51	0.551	0.598

ตารางที่ 10ข ผลการวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity ในส่วนของเปลี่ยนนอกครั้งที่ 6

Abs 515 nm		0.33:0.33:0.33	0.67:0.17:0.17	0.17:0.67:0.17	0.17:0.17:0.67	1:0:0	0:1:0	0:0:1
น้ำหนักตัวอย่าง (g)		1.0003	1.0036	1.0004	1.0014	1.0041	1.0131	1.0008
DPPH		0.694	0.694	0.694	0.694	0.694	0.664	0.664
1/5	rep1	0.164	0.041	0.04	0.059	0.16	0.228	0.266
	rep2	0.164	0.037	0.055	0.078	0.129	0.202	0.282
	rep3	0.157	0.033	0.032	0.104	0.129	0.19	0.206
1/10	rep1	0.38	0.301	0.296	0.322	0.266	0.343	0.397
	rep2	0.362	0.299	0.273	0.318	0.285	0.298	0.4
	rep3	0.382	0.288	0.308	0.343	0.307	0.316	0.416
1/15	rep1	0.464	0.422	0.386	0.44	0.383	0.404	0.474
	rep2	0.419	0.414	0.405	0.418	0.368	0.381	0.433
	rep3	0.411	0.415	0.414	0.424	0.362	0.379	0.475
1/20	rep1	0.515	0.479	0.464	0.479	0.451	0.471	0.503
	rep2	0.505	0.466	0.458	0.475	0.466	0.471	0.424
	rep3	0.513	0.466	0.46	0.463	0.46	0.452	0.51
1/30	rep1	0.573	0.518	0.524	0.543	0.508	0.479	0.532
	rep2	0.558	0.52	0.517	0.524	0.516	0.492	0.526
	rep3	0.559	0.517	0.524	0.531	0.507	0.505	0.544
1/40	rep1	0.587	0.555	0.563	0.561	0.55	0.521	0.555
	rep2	0.581	0.551	0.568	0.567	0.534	0.508	0.562
	rep3	0.579	0.546	0.558	0.529	0.544	0.502	0.55
1/50	rep1	0.599	0.575	0.573	0.588	0.558	0.53	0.573
	rep2	0.603	0.566	0.577	0.583	0.578	0.532	0.57
	rep3	0.586	0.575	0.579	0.585	0.548	0.537	0.563

ตารางที่ 11ข ผลการวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity ในส่วนของเปลี่ยนออกครั้งที่ 7

Abs 515 nm		0.33:0.33:0.33	0.67:0.17:0.17	0.17:0.67:0.17	0.17:0.17:0.67	1:0:0	0:1:0	0:0:1
น้ำหนักตัวอย่าง (g)		1.0011	1.0002	1.0021	1.001	1.0032	1.0012	1.0055
DPPH		0.664	0.664	0.664	0.664	0.664	0.697	0.697
1/5	rep1	0.031	0.031	0.038	0.194	0.144	0.162	0.2
	rep2	0.039	0.037	0.036	0.18	0.137	0.191	0.196
	rep3	0.035	0.039	0.04	0.184	0.157	0.185	0.186
1/10	rep1	0.197	0.249	0.286	0.4	0.305	0.34	0.393
	rep2	0.185	0.26	0.256	0.411	0.319	0.334	0.41
	rep3	0.198	0.243	0.272	0.402	0.309	0.311	0.397
1/15	rep1	0.336	0.378	0.389	0.511	0.361	0.362	0.464
	rep2	0.312	0.369	0.373	0.491	0.386	0.384	0.489
	rep3	0.326	0.37	0.376	0.503	0.391	0.371	0.476
1/20	rep1	0.393	0.428	0.456	0.539	0.45	0.47	0.514
	rep2	0.405	0.432	0.439	0.542	0.456	0.503	0.538
	rep3	0.396	0.42	0.436	0.508	0.458	0.497	0.545
1/30	rep1	0.477	0.495	0.514	0.595	0.489	0.539	0.599
	rep2	0.453	0.499	0.525	0.603	0.498	0.548	0.577
	rep3	0.471	0.497	0.502	0.582	0.49	0.503	0.518
1/40	rep1	0.505	0.554	0.545	0.566	0.532	0.525	0.603
	rep2	0.505	0.556	0.55	0.566	0.529	0.571	0.613
	rep3	0.507	0.558	0.567	0.568	0.517	0.586	0.623
1/50	rep1	0.548	0.564	0.578	0.589	0.547	0.576	0.648
	rep2	0.534	0.561	0.554	0.583	0.545	0.587	0.616
	rep3	0.534	0.513	0.551	0.586	0.53	0.588	0.683

ตารางที่ 12ข ผลการวิเคราะห์ DPPH radical scavenging activity ในส่วนของเปลี่ยนออกครั้งที่ 8

Abs 515 nm		0.33:0.33:0.33	0.67:0.17:0.17	0.17:0.67:0.17	0.17:0.17:0.67	1:0:0	0:1:0	0:0:1
น้ำหนักตัวอย่าง (g)		1.0008	1	1.0012	1.001	1.0019	1.0001	1.008
DPPH		0.732	0.732	0.732	0.732	0.732	0.729	0.729
1/5	rep1	0.03	0.034	0.056	0.095	0.256	0.199	0.295
	rep2	0.042	0.029	0.051	0.132	0.253	0.224	0.271
	rep3	0.037	0.037	0.028	0.099	0.292	0.231	0.28
1/10	rep1	0.22	0.176	0.294	0.358	0.388	0.372	0.408
	rep2	0.256	0.19	0.327	0.374	0.384	0.351	0.461
	rep3	0.218	0.219	0.279	0.37	0.414	0.35	0.454
1/15	rep1	0.364	0.347	0.41	0.473	0.462	0.447	0.53
	rep2	0.384	0.373	0.44	0.461	0.438	0.431	0.534
	rep3	0.369	0.336	0.375	0.463	0.439	0.429	0.535
1/20	rep1	0.439	0.425	0.486	0.518	0.524	0.526	0.574
	rep2	0.434	0.418	0.484	0.52	0.53	0.515	0.584
	rep3	0.443	0.434	0.509	0.519	0.534	0.54	0.566
1/30	rep1	0.517	0.53	0.556	0.569	0.572	0.572	0.618
	rep2	0.529	0.519	0.564	0.59	0.572	0.571	0.62
	rep3	0.522	0.519	0.551	0.577	0.56	0.563	0.615
1/40	rep1	0.553	0.551	0.604	0.605	0.599	0.589	0.649
	rep2	0.561	0.554	0.612	0.597	0.584	0.595	0.649
	rep3	0.569	0.542	0.603	0.599	0.598	0.578	0.652
1/50	rep1	0.594	0.587	0.608	0.655	0.573	0.613	0.65
	rep2	0.586	0.547	0.628	0.658	0.6	0.609	0.64
	rep3	0.588	0.549	0.63	0.641	0.59	0.616	0.64

แสดงตัวอย่างการคำนวณ EC_{50} (เปลี่ยนนอกครั้งที่ 1 อัตราส่วน 1:0:0)

1. เมื่อทำการทดลองแล้วจะได้ค่าดังตาราง

ความเข้มข้น (g dry solid/100ml) น้ำหนักตัวอย่าง 1.0104 g.	Abs 515 nm			
	DPPH	rep1	rep2	rep3
1/5	0.739	0.039	0.038	0.039
1/10	0.739	0.251	0.239	0.216
1/15	0.739	0.33	0.344	0.332
1/20	0.739	0.436	0.424	0.441
1/30	0.739	0.489	0.476	0.487
1/40	0.739	0.518	0.505	0.512
1/50	0.739	0.532	0.533	0.533

2. คำนวณหา %ความเข้มข้นคงเหลือ DPPH (%Remaining) ดังนี้

$$\%Remaining = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH}}$$

เมื่อทำการคำนวณแล้วจะได้ค่าดังตาราง

ความเข้มข้น (g dry solid/100ml) น้ำหนักตัวอย่าง 1.0104 g.	%Remaining		
	rep1	rep2	rep3
1/5	5.28	5.14	5.28
1/10	33.96	32.34	29.23
1/15	44.65	46.55	44.93
1/20	59.00	57.37	59.68
1/30	66.17	64.41	65.90
1/40	70.09	68.34	69.28
1/50	71.99	72.12	72.12

3. สร้างกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง %Remaining กับความเข้มข้นของตัวอย่าง Rep1 (mg sample/mol DPPH)

การคำนวณหาความเข้มข้นของตัวอย่าง (mg sample/mol DPPH)

ตัวอย่าง 10 ml มีผงเปลือกมังคุด 1.0104×10^3 mg

ถ้าตัวอย่าง 1 ml จะมีผงเปลือกมังคุด $\frac{1010.4}{10} = 101.04$ mg

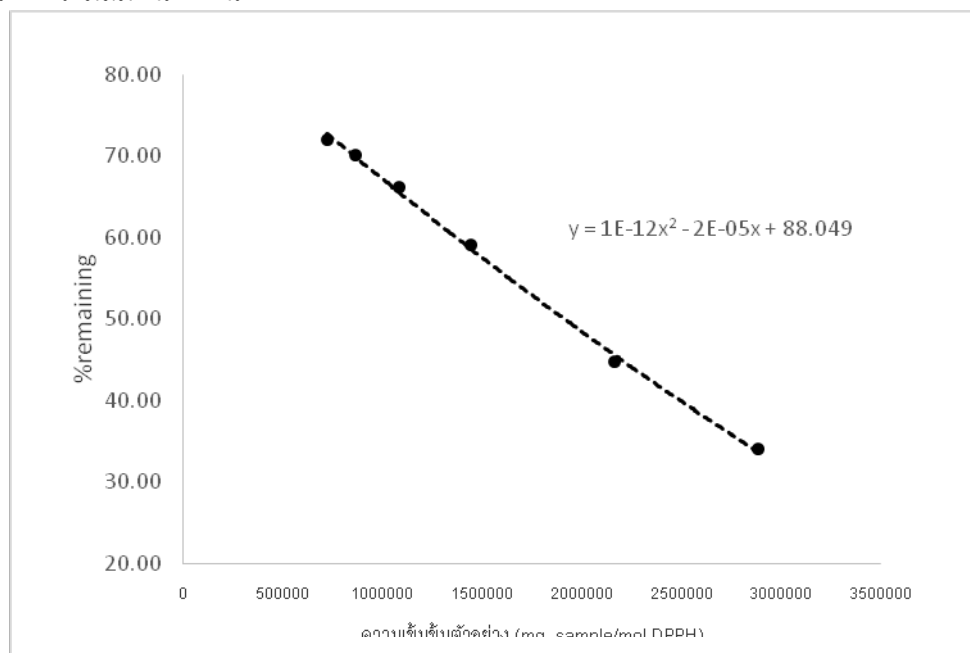
เพราะฉะนั้น ถ้าดูดตัวอย่างมา 0.1 ml จะมีผงเปลือกมังคุดอยู่ $101.04 \times 0.1 = 10.104$ mg

เมื่อตัวอย่างถูกทำให้เจือจาง 10 เท่า แสดงว่ามีตัวอย่างที่ทำปฏิกิริยากับ DPPH $\frac{10.104}{10} = 1.01$ mg/0.1ml

โดยที่ DPPH = 2.334×10^{-7} mol

ดังนั้น ความเข้มข้นของตัวอย่างเท่ากับ $\frac{1.01}{2.334 \times 10^{-7}} = 4.39 \times 10^6$ mg sample/mol DPPH

จะได้กราฟความสัมพันธ์ ดังนี้



4. ทำการคำนวณหาค่า EC_{50} จากสมการ ที่ได้จากกราฟ

$$\begin{aligned}
 EC_{50} &= 1E-12x^2 - 2E-05x + 88.049 \\
 &= 1E-12(50)^2 - 2E-05(50) + 88.049 \\
 &= 88.05 \text{ mg/mol DPPH}
 \end{aligned}$$

ได้ค่า EC_{50} ตามความเข้มข้นต่างๆ ดังตาราง 13๑

ตารางที่ 13 ค่า EC_{50} (mg sample/mol DPPH) ของเปลือกในครั้งที่ 1

อัตราส่วน	ความเข้มข้น(%)	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0.33:0.33:0.33	50	89.38	95.90	94.37	93.22
	100	96.77	95.69	93.22	95.23
0.67:0.17:0.17	50	93.98	94.18	91.65	93.27
	100	73.00	72.37	69.51	71.63
0.17:0.67:0.17	50	88.27	95.05	100.89	94.74
	100	93.79	97.98	88.33	93.37
0.17:0.17:0.67	50	94.71	95.92	97.30	95.98
	100	95.74	98.18	95.66	96.52
1:0:0	50	90.36	92.22	89.85	90.81
	100	78.66	79.04	70.61	76.11
0:1:0	50	90.80	83.12	91.90	88.61
	100	94.56	82.04	84.18	86.93
0:0:1	50	87.42	82.55	88.18	86.05
	100	90.82	88.93	92.92	90.89

ตารางที่ 14 ค่า EC_{50} (mg sample/mol DPPH) ของเปลือกในครั้งที่ 2

อัตราส่วน	ความเข้มข้น(%)	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0.33:0.33:0.33	50	96.61	90.75	95.77	94.38
	100	95.91	94.70	96.47	95.69
0.67:0.17:0.17	50	96.35	95.26	94.18	95.26
	100	76.12	54.94	74.73	68.60
0.17:0.67:0.17	50	97.65	96.35	97.65	97.21
	100	103.45	99.58	98.01	100.35
0.17:0.17:0.67	50	94.67	94.08	88.52	92.42
	100	67.98	82.33	75.90	75.41
1:0:0	50	86.35	84.74	87.41	86.17
	100	72.82	69.77	69.96	70.85
0:1:0	50	93.72	73.78	96.32	87.94
	100	76.76	79.66	79.71	78.71
0:0:1	50	100.18	103.32	105.71	103.07
	100	83.80	83.86	81.71	83.12

ตารางที่ 15 ค่า EC_{50} (mg sample/mol DPPH) ของเปลือกในครั้งที่ 3

อัตราส่วน	ความเข้มข้น(%)	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0.33:0.33:0.33	50	94.37	95.79	83.66	91.27
	100	93.70	100.54	100.54	98.26
0.67:0.17:0.17	50	91.75	91.14	92.17	91.69
	100	91.28	97.10	91.99	93.46
0.17:0.67:0.17	50	96.60	97.72	97.54	97.29
	100	92.41	100.32	97.01	96.58
0.17:0.17:0.67	50	92.65	91.86	97.82	94.11
	100	96.45	93.19	93.41	94.35
1:0:0	50	96.33	93.81	94.51	94.88
	100	100.76	101.51	101.29	101.19
0:1:0	50	94.67	91.86	91.87	92.80
	100	89.91	96.04	107.29	97.75
0:0:1	50	101.66	102.20	101.14	101.67
	100	94.75	94.94	91.13	93.61

ตารางที่ 16 ค่า EC_{50} (mg sample/mol DPPH) ของเปลือกในครั้งที่ 4

อัตราส่วน	ความเข้มข้น(%)	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0.33:0.33:0.33	50	101.79	99.80	93.97	98.52
	100	96.54	108.23	101.75	102.17
0.67:0.17:0.17	50	99.17	78.29	89.85	89.10
	100	94.14	91.71	100.93	95.59
0.17:0.67:0.17	50	85.98	83.56	88.93	86.16
	100	89.68	92.10	92.96	91.58
0.17:0.17:0.67	50	91.98	94.82	94.52	93.77
	100	93.68	93.55	98.63	95.29
1:0:0	50	89.27	87.38	87.30	87.98
	100	79.24	92.79	87.75	86.59
0:1:0	50	91.26	92.49	98.03	93.93
	100	94.03	101.41	111.48	102.31
0:0:1	50	82.28	87.76	85.12	85.05
	100	80.79	88.82	95.87	88.50

ตารางที่ 17 ค่า EC_{50} (mg sample/mol DPPH) ของเปลือกนอกครั้งที่ 1

อัตราส่วน	ความเข้มข้น(%)	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0.33:0.33:0.33	100	91.81	90.37	91.15	91.11
0.67:0.17:0.17	100	92.91	93.07	91.60	92.52
0.17:0.67:0.17	100	88.08	86.76	93.76	89.53
0.17:0.17:0.67	100	87.23	86.61	84.09	85.98
1:0:0	100	88.05	84.65	82.85	85.18
0:1:0	100	78.02	77.55	75.85	77.14
0:0:1	100	86.23	85.17	88.27	86.56

ตารางที่ 18 ค่า EC_{50} (mg sample/mol DPPH) ของเปลือกนอกครั้งที่ 2

อัตราส่วน	ความเข้มข้น(%)	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0.33:0.33:0.33	100	96.55	94.48	95.67	95.57
0.67:0.17:0.17	100	95.21	93.52	99.31	96.01
0.17:0.67:0.17	100	100.94	97.31	94.30	97.52
0.17:0.17:0.67	100	92.32	96.71	88.93	92.65
1:0:0	100	88.73	93.63	92.45	91.61
0:1:0	100	95.03	87.86	93.84	92.24
0:0:1	100	96.10	96.44	92.73	95.09

ตารางที่ 19 ค่า EC_{50} (mg sample/mol DPPH) ของเปลือกนอกครั้งที่ 3

อัตราส่วน	ความเข้มข้น(%)	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0.33:0.33:0.33	100	89.08	92.93	101.43	94.48
0.67:0.17:0.17	100	93.18	86.59	91.79	90.52
0.17:0.67:0.17	100	86.54	81.18	85.21	84.31
0.17:0.17:0.67	100	86.61	88.77	90.65	88.68
1:0:0	100	96.25	91.75	90.26	92.75
0:1:0	100	94.56	93.60	95.42	94.53
0:0:1	100	104.44	105.43	105.30	105.06

ตารางที่ 20 ค่า EC_{50} (mg sample/mol DPPH) ของเปลือกนอกครั้งที่ 4

อัตราส่วน	ความเข้มข้น(%)	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0.33:0.33:0.33	100	82.43	64.87	89.45	78.92
0.67:0.17:0.17	100	87.63	95.95	95.10	92.89
0.17:0.67:0.17	100	98.91	89.16	97.73	95.27
0.17:0.17:0.67	100	101.31	102.13	92.29	98.58
1:0:0	100	83.11	104.73	103.03	96.96
0:1:0	100	92.18	91.32	96.87	93.46
0:0:1	100	92.01	87.76	91.80	90.53

ตารางที่ 21 ค่า EC_{50} (mg sample/mol DPPH) ของเปลือกนอกครั้งที่ 5

อัตราส่วน	ความเข้มข้น(%)	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0.33:0.33:0.33	100	92.54	87.50	88.25	89.43
0.67:0.17:0.17	100	92.38	93.50	103.28	96.39
0.17:0.67:0.17	100	111.63	95.91	92.02	99.85
0.17:0.17:0.67	100	92.96	88.65	90.20	90.60
1:0:0	100	93.29	90.35	97.32	93.65
0:1:0	100	94.48	89.74	94.08	92.77
0:0:1	100	96.83	91.81	92.07	93.57

ตารางที่ 22 ค่า EC_{50} (mg sample/mol DPPH) ของเปลือกนอกครั้งที่ 6

อัตราส่วน	ความเข้มข้น(%)	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0.33:0.33:0.33	100	96.13	91.83	94.86	94.27
0.67:0.17:0.17	100	90.64	90.83	90.95	90.81
0.17:0.67:0.17	100	97.07	94.81	95.14	95.67
0.17:0.17:0.67	100	93.13	95.51	93.84	94.16
1:0:0	100	93.70	98.94	97.77	96.80
0:1:0	100	89.08	93.72	92.36	92.36
0:0:1	100	93.26	94.08	89.90	92.41

ตารางที่ 23 ค่า EC_{50} (mg sample/mol DPPH) ของเปลือกนอกครั้งที่ 7

อัตราส่วน	ความเข้มข้น(%)	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0.33:0.33:0.33	100	96.42	94.56	95.08	95.35
0.67:0.17:0.17	100	99.70	101.03	92.36	97.70
0.17:0.67:0.17	100	99.82	98.06	100.00	99.29
0.17:0.17:0.67	100	96.61	95.98	95.49	96.03
1:0:0	100	94.90	91.90	89.95	92.25
0:1:0	100	94.33	100.63	102.75	99.24
0:0:1	100	102.62	97.28	95.29	98.40

ตารางที่ 24 ค่า EC_{50} (mg sample/mol DPPH) ของเปลือกนอกครั้งที่ 8

อัตราส่วน	ความเข้มข้น(%)	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0.33:0.33:0.33	100	94.62	94.60	94.28	94.50
0.67:0.17:0.17	100	94.12	85.93	89.86	89.97
0.17:0.67:0.17	100	97.63	100.51	102.30	100.15
0.17:0.17:0.67	100	99.10	101.43	98.17	99.57
1:0:0	100	90.18	94.05	92.66	92.30
0:1:0	100	94.18	98.62	97.96	96.92
0:0:1	100	101.66	96.61	97.10	98.46

ตารางที่ 25ข ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเปลือกในครั้งที่ 1

อัตราส่วน	น้ำหนัก(WB)	ซ้ำที่	ความเข้มข้น	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณสารประกอบฟีนอล(mg/l)	ค่าเฉลี่ย	ปริมาณสารประกอบฟีนอลในสารละลายเข้มข้น(mg/ml)	ปริมาณสารประกอบฟีนอล/กรัมตัวอย่าง(WB)(mg/g)
0.33:0.33:0.33	1.0036	1	0.05	0.572	57.7502	57.6486	11.5297	11.4884
		2	0.05	0.565	57.0395			
		3	0.05	0.576	58.1563			
0.67:0.17:0.17	1.0065	1	0.05	0.577	58.2578	54.3320	10.8664	10.7962
		2	0.05	0.524	52.8767			
		3	0.05	0.514	51.8614			
0.17:0.67:0.17	1.0013	1	0.07	0.577	58.2578	58.3593	8.7539	8.7425
		2	0.07	0.569	57.4456			
		3	0.07	0.588	59.3746			
0.17:0.17:0.67	1.0027	1	0.07	0.557	56.2272	52.4029	7.8604	7.8393
		2	0.07	0.564	56.9379			
		3	0.07	0.437	44.0436			
1:0:0	1.0027	1	0.05	0.598	60.3899	53.2152	10.6430	10.6144
		2	0.05	0.517	52.1660			
		3	0.05	0.467	47.0895			
0:1:0	1.001	1	0.05	0.603	60.8976	59.3746	11.8749	11.8631
		2	0.05	0.592	59.7808			
		3	0.05	0.569	57.4456			
0:0:1	1.0104	1	0.07	0.468	47.1910	47.5295	7.1294	7.0560
		2	0.07	0.454	45.7696			
		3	0.07	0.492	49.6278			

ตารางที่ 26ข ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเปลือกในครั้งที่ 2

อัตราส่วน	น้ำหนัก(WB)	ซ้ำที่	ความเข้มข้น	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณสารประกอบฟีนอล(mg/l)	ค่าเฉลี่ย	ปริมาณสารประกอบฟีนอลในสารละลายเข้มข้น(mg/ml)	ปริมาณสารประกอบฟีนอล/กรัมตัวอย่าง(WB)(mg/g)
0.33:0.33:0.33	1.0036	1	0.05	0.596	60.1869	58.1224	11.6245	11.5828
		2	0.05	0.588	59.3746			
		3	0.05	0.543	54.8058			
0.67:0.17:0.17	1.0065	1	0.05	0.53	53.4859	53.5197	10.7039	10.6348
		2	0.05	0.497	50.1354			
		3	0.05	0.564	56.9379			
0.17:0.67:0.17	1.0013	1	0.07	0.563	56.8364	55.5503	8.3326	8.3217
		2	0.07	0.534	53.8920			
		3	0.07	0.554	55.9226			
0.17:0.17:0.67	1.0027	1	0.07	0.575	58.0548	53.8582	8.0787	8.0570
		2	0.07	0.515	51.9630			
		3	0.07	0.511	51.5568			
1:0:0	1.0027	1	0.05	0.595	60.0854	51.5568	10.3114	10.2836
		2	0.05	0.503	50.7446			
		3	0.05	0.435	43.8406			
0:1:0	1.001	1	0.05	0.645	65.1619	63.4358	12.6872	12.6745
		2	0.05	0.565	57.0395			
		3	0.05	0.674	68.1062			
0:0:1	1.0104	1	0.07	0.495	49.9324	47.4618	7.1193	7.0460
		2	0.07	0.428	43.1298			
		3	0.07	0.489	49.3232			

ตารางที่ 27ข ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเปลือกในครั้งที่ 3

อัตราส่วน	น้ำหนัก(WB)	ซ้ำที่	ความเข้มข้น	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณสารประกอบฟีนอล(mg/l)	ค่าเฉลี่ย	ปริมาณสารประกอบฟีนอลในสารละลายเข้มข้น(mg/ml)	ปริมาณสารประกอบฟีนอล/กรัมตัวอย่าง(WB)(mg/g)
0.33:0.33:0.33	1.0036	1	0.05	0.514	51.8614	58.2578	11.6516	11.6098
		2	0.05	0.585	59.0701			
		3	0.05	0.632	63.8420			
0.67:0.17:0.17	1.0065	1	0.05	0.505	50.9477	49.2555	9.8511	9.7875
		2	0.05	0.463	46.6834			
		3	0.05	0.497	50.1354			
0.17:0.67:0.17	1.0013	1	0.07	0.621	62.7251	61.5745	9.2362	9.2242
		2	0.07	0.611	61.7098			
		3	0.07	0.597	60.2884			
0.17:0.17:0.67	1.0027	1	0.07	0.483	48.7140	47.8679	7.1802	7.1609
		2	0.07	0.466	46.9880			
		3	0.07	0.475	47.9018			
1:0:0	1.0027	1	0.05	0.578	58.3593	54.0274	10.8055	10.7764
		2	0.05	0.541	54.6027			
		3	0.05	0.487	49.1201			
0:1:0	1.001	1	0.05	0.565	57.0395	55.0765	11.0153	11.0043
		2	0.05	0.498	50.2369			
		3	0.05	0.574	57.9532			
0:0:1	1.0104	1	0.07	0.496	50.0339	54.4674	8.1701	8.0860
		2	0.07	0.524	52.8767			
		3	0.07	0.599	60.4915			

ตารางที่ 28ข ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเปลือกในครั้งที่ 4

อัตราส่วน	น้ำหนัก(WB)	ซ้ำที่	ความเข้มข้น	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณสารประกอบฟีนอล(mg/l)	ค่าเฉลี่ย	ปริมาณสารประกอบฟีนอลในสารละลายเข้มข้น(mg/ml)	ปริมาณสารประกอบฟีนอล/กรัมตัวอย่าง(WB)(mg/g)
0.33:0.33:0.33	1.0036	1	0.05	0.576	58.1563	56.9041	11.3808	11.3400
		2	0.05	0.539	54.3997			
		3	0.05	0.576	58.1563			
0.67:0.17:0.17	1.0065	1	0.05	0.662	66.8879	65.5341	13.1068	13.0222
		2	0.05	0.616	62.2175			
		3	0.05	0.668	67.4970			
0.17:0.67:0.17	1.0013	1	0.07	0.539	54.3997	59.5100	8.9265	8.9149
		2	0.07	0.569	57.4456			
		3	0.07	0.66	66.6848			
0.17:0.17:0.67	1.0027	1	0.07	0.59	59.5777	57.7163	8.6574	8.6341
		2	0.07	0.551	55.6180			
		3	0.07	0.574	57.9532			
1:0:0	1.0027	1	0.05	0.594	59.9838	58.0886	11.6177	11.5864
		2	0.05	0.57	57.5471			
		3	0.05	0.562	56.7349			
0:1:0	1.001	1	0.05	0.514	51.8614	53.6551	10.7310	10.7203
		2	0.05	0.552	55.7196			
		3	0.05	0.529	53.3844			
0:0:1	1.0104	1	0.07	0.597	60.2884	60.4238	9.0636	8.9703
		2	0.07	0.563	56.8364			
		3	0.07	0.635	64.1466			

ตารางที่ 29ข ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเปลือกนอกครั้งที่ 1

อัตราส่วน	น้ำหนัก(WB)	ซ้ำที่	ความเข้มข้น	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณสารประกอบฟีนอล(mg/l)	ค่าเฉลี่ย	ปริมาณสารประกอบฟีนอลในสารละลายเข้มข้น(mg/ml)	ปริมาณสารประกอบฟีนอล/กรัมตัวอย่าง(WB)(mg/g)
0.33:0.33:0.33	1.01	1	0.03	0.517	52.1660	50.4738	15.1422	14.9922
		2	0.03	0.505	50.9477			
		3	0.03	0.479	48.3079			
0.67:0.17:0.17	1.0021	1	0.05	0.596	60.1869	58.9685	11.7937	11.7690
		2	0.05	0.589	59.4762			
		3	0.05	0.567	57.2425			
0.17:0.67:0.17	0.9998	1	0.05	0.502	50.6431	50.2708	10.0542	10.0562
		2	0.05	0.493	49.7293			
		3	0.05	0.5	50.4400			
0.17:0.17:0.67	0.9861	1	0.07	0.657	66.3802	72.0320	10.8048	10.9571
		2	0.07	0.73	73.7919			
		3	0.07	0.751	75.9240			
1:0:0	1.0015	1	0.05	0.654	66.0756	66.1433	13.2287	13.2088
		2	0.05	0.659	66.5833			
		3	0.05	0.651	65.7710			
0:1:0	1.0008	1	0.07	0.555	56.0242	57.7840	8.6676	8.6607
		2	0.07	0.57	57.5471			
		3	0.07	0.592	59.7808			
0:0:1	1.0061	1	0.05	0.584	58.9685	57.3779	11.4756	11.4060
		2	0.05	0.574	57.9532			
		3	0.05	0.547	55.2119			

ตารางที่ 30x ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเปลือกนอกครั้งที่ 2

อัตราส่วน	น้ำหนัก(WB)	ซ้ำที่	ความเข้มข้น	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณสารประกอบฟีนอล(mg/l)	ค่าเฉลี่ย	ปริมาณสารประกอบฟีนอลในสารละลายเข้มข้น(mg/ml)	ปริมาณสารประกอบฟีนอล/กรัมตัวอย่าง(WB)(mg/g)
0.33:0.33:0.33	1.01	1	0.03	0.539	54.3997	52.1322	15.6397	15.4848
		2	0.03	0.588	59.3746			
		3	0.03	0.423	42.6222			
0.67:0.17:0.17	1.0021	1	0.05	0.565	57.0395	57.9194	11.5839	11.5596
		2	0.05	0.589	59.4762			
		3	0.05	0.567	57.2425			
0.17:0.67:0.17	0.9998	1	0.05	0.483	48.7140	49.7970	9.9594	9.9614
		2	0.05	0.455	45.8712			
		3	0.05	0.543	54.8058			
0.17:0.17:0.67	0.9861	1	0.07	0.456	45.9727	51.8953	7.7843	7.8940
		2	0.07	0.572	57.7502			
		3	0.07	0.515	51.9630			
1:0:0	1.0015	1	0.05	0.669	67.5986	63.1651	12.6330	12.6141
		2	0.05	0.584	58.9685			
		3	0.05	0.623	62.9282			
0:1:0	1.0008	1	0.07	0.568	57.3440	54.1628	8.1244	8.1179
		2	0.07	0.563	56.8364			
		3	0.07	0.479	48.3079			
0:0:1	1.0061	1	0.05	0.558	56.3287	57.7163	11.5433	11.4733
		2	0.05	0.612	61.8114			
		3	0.05	0.545	55.0089			

ตารางที่ 31ข ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเปลือกนอกครั้งที่ 3

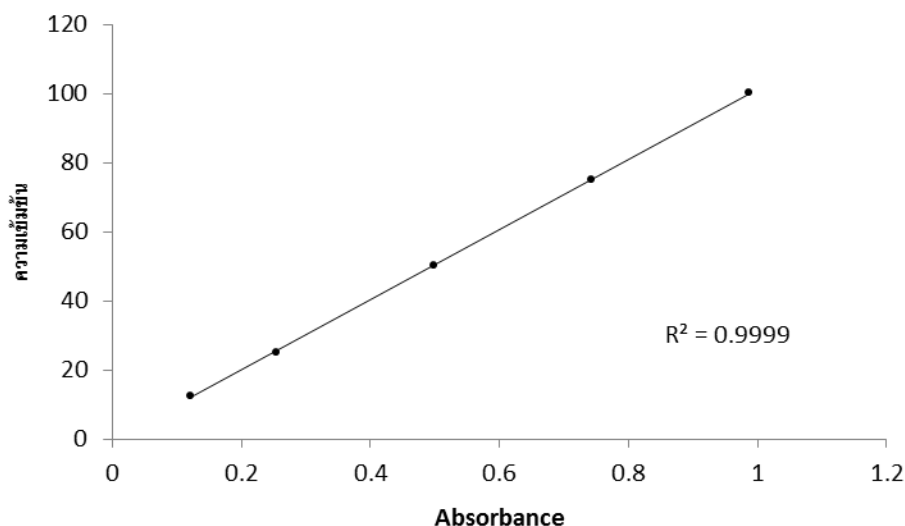
อัตราส่วน	น้ำหนัก(WB)	ซ้ำที่	ความเข้มข้น	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณสารประกอบฟีนอล(mg/l)	ค่าเฉลี่ย	ปริมาณสารประกอบฟีนอลในสารละลายเข้มข้น(mg/ml)	ปริมาณสารประกอบฟีนอล/กรัมตัวอย่าง(WB)(mg/g)
0.33:0.33:0.33	1.01	1	0.03	0.576	58.1563	55.3134	16.5940	16.4297
		2	0.03	0.523	52.7752			
		3	0.03	0.545	55.0089			
0.67:0.17:0.17	1.0021	1	0.05	0.574	57.9532	59.6792	11.9358	11.9108
		2	0.05	0.597	60.2884			
		3	0.05	0.602	60.7961			
0.17:0.67:0.17	0.9998	1	0.05	0.595	60.0854	55.7872	11.1574	11.1597
		2	0.05	0.467	47.0895			
		3	0.05	0.596	60.1869			
0.17:0.17:0.67	0.9861	1	0.07	0.453	45.6681	48.6125	7.2919	7.3947
		2	0.07	0.482	48.6125			
		3	0.07	0.511	51.5568			
1:0:0	1.0015	1	0.05	0.563	56.8364	60.4576	12.0915	12.0734
		2	0.05	0.634	64.0450			
		3	0.05	0.599	60.4915			
0:1:0	1.0008	1	0.07	0.507	51.1507	54.2305	8.1346	8.1281
		2	0.07	0.549	55.4150			
		3	0.07	0.556	56.1257			
0:0:1	1.0061	1	0.05	0.568	57.3440	54.7381	10.9476	10.8812
		2	0.05	0.524	52.8767			
		3	0.05	0.535	53.9936			

ตารางที่ 32ข ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเปลือกนอกครั้งที่ 4

อัตราส่วน	น้ำหนัก(WB)	ซ้ำที่	ความเข้มข้น	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณสารประกอบฟีนอล(mg/l)	ค่าเฉลี่ย	ปริมาณสารประกอบฟีนอลในสารละลายเข้มข้น(mg/ml)	ปริมาณสารประกอบฟีนอล/กรัมตัวอย่าง(WB)(mg/g)
0.33:0.33:0.33	1.01	1	0.03	0.534	53.8920	52.8429	15.8529	15.6959
		2	0.03	0.525	52.9783			
		3	0.03	0.512	51.6584			
0.67:0.17:0.17	1.0021	1	0.05	0.532	53.6890	57.4117	11.4823	11.4583
		2	0.05	0.576	58.1563			
		3	0.05	0.598	60.3899			
0.17:0.67:0.17	0.9998	1	0.05	0.589	59.4762	53.9259	10.7852	10.7873
		2	0.05	0.541	54.6027			
		3	0.05	0.473	47.6987			
0.17:0.17:0.67	0.9861	1	0.07	0.495	49.9324	54.5350	8.1803	8.2956
		2	0.07	0.582	58.7655			
		3	0.07	0.544	54.9073			
1:0:0	1.0015	1	0.05	0.543	54.8058	45.4650	9.0930	9.0794
		2	0.05	0.397	39.9824			
		3	0.05	0.413	41.6069			
0:1:0	1.0008	1	0.07	0.479	48.3079	56.8025	8.5204	8.5136
		2	0.07	0.566	57.1410			
		3	0.07	0.643	64.9588			
0:0:1	1.0061	1	0.05	0.586	59.1716	55.7196	11.1439	11.0763
		2	0.05	0.534	53.8920			
		3	0.05	0.536	54.0951			

แสดงตัวอย่างการคำนวณ (เปลี่ยนออกครั้งที่ 1 อัตราส่วน 1:0:0)

1. สร้างสมการ standard gallic acid โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของ gallic acid ที่ระดับความเข้มข้น 12, 25, 50, 75 และ 100 ppm ที่ความยาวคลื่น 765 nm ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น gallic acid และค่าการดูดกลืนแสงดังนี้



2. จากกราฟในข้อที่ 1 สมการมาตรฐานของ gallic acid คือ $y = 101.53x - 0.325$

3. แทนค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างลงในสมการ

$$y = 101.53(0.654) - 0.325$$

$$= 66.0756 \text{ mg/l}$$

เมื่อได้ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกแล้ว ทำการเทียบกลับความเข้มข้นที่ใช้ตัวอย่างไป

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารละลายเข้มข้น = $(66.0756 / 0.05) / 100 = 13.2151 \text{ mg/ml}$

เพราะฉะนั้นปริมาณสารประกอบฟีนอลิก = $\frac{\text{ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารละลายเข้มข้น}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$

$$= 13.2151 / 1.0015$$

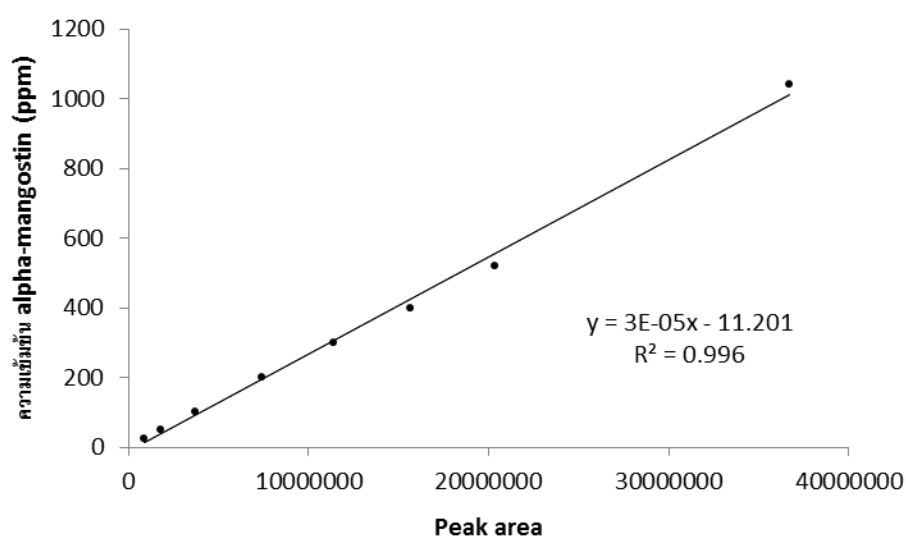
$$= 13.1953 \text{ mg/g.}$$

ตารางที่ 33 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณแซนโทนด้วยเทคนิค HPLC (ส่วนที่ 1)

อัตราส่วน	ส่วนของเปลือก	Peak area	ปริมาณแซนโทนใน 1000 ml	ปริมาณแซนโทน mg/g
1:0:0	เปลือกใน	ซ้ำที่ 1	4147748	113.2314
		ซ้ำที่ 2	4019432	109.3820
		ซ้ำที่ 3	3864178	104.7243
	เปลือกนอก	ซ้ำที่ 1	2321702	58.4501
		ซ้ำที่ 2	1839788	43.9926
		ซ้ำที่ 3	2236441	55.8922
0:1:0	เปลือกใน	ซ้ำที่ 1	4563875	123.7153
		ซ้ำที่ 2	5150759	143.3218
		ซ้ำที่ 3	4782150	132.2635
	เปลือกนอก	ซ้ำที่ 1	1858666	44.5590
		ซ้ำที่ 2	1747482	41.2235
		ซ้ำที่ 3	1758699	41.5600
0:0:1	เปลือกใน	ซ้ำที่ 1	4925035	136.5501
		ซ้ำที่ 2	3851500	104.3440
		ซ้ำที่ 3	4734314	130.8284
	เปลือกนอก	ซ้ำที่ 1	1821375	43.4403
		ซ้ำที่ 2	2124944	52.5473
		ซ้ำที่ 3	1665523	38.7647

แสดงตัวอย่างการคำนวณ (เปลือกนอกครั้งที่ 1 อัตราส่วน 1:0:0)

1. สร้างสมการ standard alpha-mangostin โดยดูจากพื้นที่ใต้กราฟของ peak ที่ระดับความเข้มข้น 12, 25, 50, 100, 200, 300, 400, 520 และ 1000 ppm ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ alpha-mangostin และพื้นที่ใต้กราฟของ peak ดังนี้



จากกราฟในข้อ 1 พบว่า สมการมาตรฐาน alpha-mangostin คือ $y = 3E-05x - 11.201$

2. แทนค่าลงในสูตรในข้อ 3 โดยที่ค่า y = ปริมาณแซนโทนส์ (ใน 1000 ml.)

x = พื้นที่ใต้กราฟของ peak (peak area)

จะได้

$$y = 3E-05x - 11.201$$

$$y = 3E-05 (2321702) - 11.201$$

$$y = 58.4501 \text{ mg/l}$$

ตัวอย่าง 1000 ml มีแซนโทนส์ 58.4501 mg/l

ถ้าตัวอย่าง 10 ml มีแซนโทนส์ $\frac{58.4501 \times 10}{1000} = 0.5845 \text{ mg/10ml}$

ถ้านำตัวอย่างมา 2 g มีแซนโทนส์ 0.5845 mg/10ml

ตัวอย่าง 1 g มีแซนโทนส์ $\frac{0.5845}{2} = 0.2923 \text{ mg/g}$

ดังนั้น เมื่อตัวอย่างถูกทำให้เจือจาง 10 เท่า แสดงว่ามีปริมาณแซนโทนส์ $\frac{0.2923}{10}$

$$= 0.0292 \text{ mg/g}$$

ตารางที่ 34 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแซนโทนส์ด้วยเทคนิค HPLC

อัตราส่วน	ส่วนของเปลือก	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1:0:0	เปลือกใน	0.0566	0.0547	0.0524	0.0546
	เปลือกนอก	0.0292	0.0220	0.0279	0.0264
0:1:0	เปลือกใน	0.0629	0.0717	0.0661	0.0669
	เปลือกนอก	0.0223	0.0206	0.0208	0.0212
0:0:1	เปลือกใน	0.0683	0.0522	0.0654	0.0620
	เปลือกนอก	0.0217	0.0263	0.0194	0.0225

ตารางที่ 35ข ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณแซนโทนส์ตัวอย่างเปลือกสีเหลืองด้วยเทคนิค HPLC (ส่วนที่ 2)

ความเข้มข้นในปริมาตร 4 ml	ซ้ำที่	peak area	ปริมาณแซนโทนใน 1000 ml	ปริมาณแซนโทน mg/g
0.2	1	4808584	137.8987	0.0689
0.4	1	11937165	312.2598	0.3123
0.6	1	17381180	445.4174	0.6681
0.8	1	23489171	594.8155	1.1896
1	1	29279777	736.4505	1.8411
1.2	1	34168758	856.0323	2.5681
1.4	1	47299816	1177.2107	4.1202
1.6	1	22448132	569.3522	4.5548
1.8	1	24845203	627.9833	5.6518
2	1	27075716	682.5404	6.8254
0.2	2	5537404	155.7252	0.0779
0.4	2	11085624	291.4316	0.2914
0.6	2	17092983	438.3683	0.6576
0.8	2	23130459	586.0416	1.1721
1	2	27796744	700.1763	1.7504
1.2	2	35486545	888.2646	2.6648
1.4	2	20197858	514.3118	3.6002
1.6	2	22883090	579.9911	4.6399
1.8	2	24743829	625.5037	5.6295
2	2	28858201	726.1390	7.2614
0.2	3	5474181	154.1788	0.0771
0.4	3	11304394	296.7826	0.2968
0.6	3	17339846	444.4064	0.6666
0.8	3	22784901	577.5894	1.1552
1	3	28894154	727.0184	1.8175
1.2	3	34600400	866.5900	2.5998
1.4	3	20240626	515.3579	3.6075
1.6	3	22989401	582.5914	4.6607
1.8	3	25433010	642.3607	5.7812
2	3	27795189	700.1383	7.0014

ตารางที่ 36ข ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณเซนโชนส์ตัวอย่างเปลือกส้มวงแดงด้วยเทคนิค HPLC (ส่วนที่ 2)

ความเข้มข้นในปริมาตร 4 ml	ซ้ำที่	peak area	ปริมาณเซนโชนใน 1000 ml	ปริมาณเซนโชน mg/g
0.2	1	5913887	164.9338	0.0825
0.4	1	12111226	316.5172	0.3165
0.6	1	18199393	465.4304	0.6981
0.8	1	23785051	602.0525	1.2041
1	1	24908610	629.5342	1.5738
1.2	1	35920502	898.8790	2.6966
1.4	1	20333763	517.6359	3.6235
1.6	1	22928897	581.1115	4.6489
1.8	1	25851990	652.6087	5.8735
2	1	29344711	738.0387	7.3804
0.2	2	5747618	160.8669	0.0804
0.4	2	11258163	295.6518	0.2957
0.6	2	17846507	456.7990	0.6852
0.8	2	22912105	580.7008	1.1614
1	2	30121249	757.0324	1.8926
1.2	2	36725454	918.5676	2.7557
1.4	2	20855999	530.4095	3.7129
1.6	2	24532338	620.3308	4.9626
1.8	2	25269163	638.3531	5.7452
2	2	29344329	738.0294	7.3803
0.2	3	5275232	149.3126	0.0747
0.4	3	11770981	308.1950	0.3082
0.6	3	16948914	434.8444	0.6523
0.8	3	23286011	589.8463	1.1797
1	3	30209076	759.1806	1.8980
1.2	3	35888346	898.0924	2.6943
1.4	3	18494175	472.6406	3.3085
1.6	3	23462200	594.1558	4.7532
1.8	3	25857529	652.7442	5.8747
2	3	30018317	754.5148	7.5451

ตารางที่ 37ข ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณแซนโทนส์ตัวอย่างเปลือกส้มวงดำด้วยเทคนิค HPLC (ส่วนที่ 2)

ความเข้มข้นในปริมาตร 4 ml	ซ้ำที่	peak area	ปริมาณแซนโทนใน 1000 ml	ปริมาณแซนโทน mg/g
0.2	1	5856547	163.5313	0.0818
0.4	1	12127819	316.9231	0.3169
0.6	1	17968196	459.7755	0.6897
0.8	1	24035977	608.1900	1.2164
1	1	29742429	747.7667	1.8694
1.2	1	35845231	897.0379	2.6911
1.4	1	20697450	526.5315	3.6857
1.6	1	24108785	609.9709	4.8798
1.8	1	25313671	639.4417	5.7550
2	1	31137212	781.8823	7.8188
0.2	2	6027986	167.7246	0.0839
0.4	2	12231284	319.4538	0.3195
0.6	2	18715295	478.0491	0.7171
0.8	2	24457877	618.5095	1.2370
1	2	31439964	789.2875	1.9732
1.2	2	37583245	939.5487	2.8186
1.4	2	21531324	546.9276	3.8285
1.6	2	24337782	615.5720	4.9246
1.8	2	27153176	684.4350	6.1599
2	2	30337324	762.3175	7.6232
0.2	3	6593732	181.5624	0.0908
0.4	3	13423086	348.6046	0.3486
0.6	3	20608840	524.3642	0.7865
0.8	3	27996242	705.0559	1.4101
1	3	34361013	860.7347	2.1518
1.2	3	40043114	999.7158	2.9991
1.4	3	23332569	590.9851	4.1369
1.6	3	28180342	709.5589	5.6765
1.8	3	31588407	792.9183	7.1363
2	3	35844942	897.0308	8.9703

ภาคผนวก ค
การเผยแพร่ผลงานวิจัย

Chanikorn Kongpanichtrakul and Prasong Siriwongwilaichat. 2016. Application of near-infrared spectroscopy for determination of xanthonenes in mangosteen rind. The 18th Food Innovation Asia Conference 2016 (FIAC 2016). Food Research and Innovation for Sustainable Global Prosperity, 16-18 June 2016. (Poster presentation with full paper in proceeding)

ภาคผนวก ง
ประวัติและผลงานวิจัยที่สำคัญของนักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย นายประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ

1. ชื่อ – สกุล นายประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ
Mr. Prasong Siriwongwilaichat
2. วัน เดือน ปีเกิด 2 กรกฎาคม 2510 (เพื่อเก็บในฐานข้อมูลนักวิจัย)
3. หมายเลขประจำตัวประชาชน (ต้องระบุ) 3 7105 00119 62 5
4. ตำแหน่งทางวิชาการปัจจุบัน ☒ ข้าราชการ ☐ พนักงาน

○ อาจารย์ ✗ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ○ รองศาสตราจารย์ ○ ศาสตราจารย์	○ ข้าราชการ ○ เจ้าหน้าที่ ○ เจ้าหน้าที่พิเศษ ○ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
--	---
5. เงินเดือนปัจจุบัน (2556) 31,380 บาท
6. เวลาที่ใช้ทำวิจัย 16 ชั่วโมงต่อสัปดาห์
7. สถานที่ทำงาน
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ม. ศิลปากร
โทรศัพท์034 219361 โทรศัพท์034219361 e-mail address: deersong1@yahoo.com
ที่อยู่ปัจจุบัน
บ้านเลขที่.....49/5 ม. 6.....ซอย/ถนน.....-.... ตำบล.....ลำพญา.....
อำเภอเมือง.....จังหวัด.....นครปฐม.....
โทรศัพท์.....0818661068.....โทรศัพท์.....034219361.....
8. ประวัติการศึกษา
 - ปริญญาตรีสาขา.....พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร.....สถาบัน..ม. เกษตรศาสตร์..
ปีที่จบ.....2532.....
 - ปริญญาโทสาขา.....Post Harvest Technology.....สถาบัน.....AIT.....
ปีที่จบ.....2536.....
 - ปริญญาเอกสาขา.....Food Technology.....สถาบัน.....Massey University, New
Zealand....
ปีที่จบ.....2544.....
9. วิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา (ชื่อเรื่อง/ปีที่ดำเนินการ ทั้งระดับปริญญาโทและปริญญาเอก)
 - ระดับปริญญาโท

ชื่อเรื่อง The Effect of Processing Parameters on the Quality of Tamarind Concentrate ปีที่ดำเนินการ 2536

- ระดับปริญญาเอก

ชื่อเรื่อง Technical Information Capture for Food Product Innovation in Thailand ปีที่ดำเนินการ 2544

10. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ(แตกต่างจากวุฒิการศึกษา ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ) โปรดระบุแขนงวิชา

และแนวเรื่องย่อยด้วย (ถ้ามี)

สาขาเกษตรศาสตร์และชีววิทยา

กลุ่มวิชาอุตสาหกรรมเกษตร แขนงวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์

แขนงวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว

แขนงวิชาการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตอนที่ 2 ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ทางด้านศิลปะและการออกแบบที่ดำเนินการเสร็จแล้ว (กรุณาให้ข้อมูลทุกเรื่องที่ท่านทำโดยกรอก 1 เรื่องต่อ 1 แผ่น)

ตอนที่ 2.1

เรื่องที่ 1

1. ชื่อเรื่อง / ชื่อผลงาน (ภาษาไทย) การศึกษาความคงตัวของแอนโธไซยานินส์จากเปลือกมังคุด (ภาษาอังกฤษ) The Study of Stability of Anthocyanins from Mangosteen Peel

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

3. สาขาวิชา (ผลงานวิจัย โปรดระบุสาขาการวิจัยตามข้อ 7) เกษตรศาสตร์และชีววิทยา กลุ่มวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

ประเภทการออกแบบ (ผลงานสร้างสรรค์ โปรดระบุเทคนิค ขนาด วัสดุ)-

4. จำนวนงบประมาณ 250,000 บาท

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 ถึง ปี พ.ศ. 2549

5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน

☒ ในประเทศ

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

☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ).....

☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....

6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว

☐ ยังไม่ได้เผยแพร่

☒ เผยแพร่แล้ว

□ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ (โปรดระบุชื่อเรื่อง / ชื่อเจ้าของผลงาน / ชื่อ
สิ่งพิมพ์

ชื่อสำนักพิมพ์ / ปีที่พิมพ์ / เลขหน้า)

○ ในประเทศ

○ ต่างประเทศ.....

☑ ชื่อการประชุมวิชาการฯ หรือแสดงผลงานต่อสาธารณชน (โปรดระบุ ชื่อเรื่อง /
ชื่อผู้นำเสนอ / สถานที่จัด / วัน เดือน ปีที่นำเสนอ)

○ ในประเทศ Anthocyanins Extraction from Mangosteen Peel

○ ต่างประเทศ Stability of anthocyanins extract from mangosteen

(Garcinia mangostana L.) peel

ชื่อเจ้าของผลงาน	ชื่อเรื่อง/ผลงาน ที่นำเสนอ	ชื่อการประชุม/ สัมมนา/นิทรรศการ สถานที่	วันเดือนปีที่ นำเสนอ	ระดับชาติ/ นานาชาติ
Yupaporn Palakajornsak and Prasong Siriwongwilaichat	Stability of anthocyanins extract from mangosteen (Garcinia mangostana L.) peel	4 th International Congress on Pigment in Foods, Hohenheim University, Germany	9-12 ต.ค. 49	นานาชาติ
Yupaporn Palakajornsak and Prasong Siriwongwilaichat	Anthocyanins Extraction from Mangosteen Peel	The First KMITL International of Science and Technology for Sustainable Development, Bangkok, Thailand	25-26 ส.ค. 47	นานาชาติ

เรื่องที่ 2

1. ชื่อเรื่อง / ชื่อผลงาน (ภาษาไทย) การทดสอบคุณสมบัติของเพคตินที่สกัดจากเปลือกส้มโอในระบบอาหาร

(ภาษาอังกฤษ) Properties Evaluation of Pectin Extracted from Pomelo Peel in Food Systems

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

3. สาขาวิชา (ผลงานวิจัย โปรดระบุสาขาการวิจัยตามข้อ 7) เกษตรศาสตร์และชีววิทยา กลุ่มวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

ประเภทการออกแบบ (ผลงานสร้างสรรค์ โปรดระบุเทคนิค ขนาด วัสดุ) -

4. จำนวนงบประมาณ 257,000 บาท

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 ถึง ปี พ.ศ. 2550

5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน

☒ ในประเทศ

☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☒ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ).....

☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....

6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว

☐ ยังไม่ได้เผยแพร่

☒ เผยแพร่แล้ว

☐ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ (โปรดระบุชื่อเรื่อง / ชื่อเจ้าของผลงาน / ชื่อ

สิ่งพิมพ์

ชื่อสำนักพิมพ์ / ปีที่พิมพ์ / เลขหน้า)

() ในประเทศ

() ต่างประเทศ.....

☒ ชื่อการประชุมวิชาการฯ หรือแสดงผลงานต่อสาธารณชน (โปรดระบุ ชื่อเรื่อง /
ชื่อผู้นำเสนอ / สถานที่จัด / วัน เดือน ปีที่นำเสนอ)

Ø ในประเทศ

Phuangsinoun, P., Harnkham, S. and Siriwongwilaichat, P. 2007. Cloud Stabilizing Properties of Pectin from Pomelo Peel in Carrot Juice. The 9th Agro-Industrial Conference: Food Innovation Asia. Bangkok, Thailand.

○ ต่างประเทศ.....

เรื่องที่ 3

1. ชื่อเรื่อง / ชื่อผลงาน (ภาษาไทย) การปรับปรุงกระบวนการล้างเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาคุณภาพของผักกาดแก้วตัดแต่ง

(ภาษาอังกฤษ) Washing process improvement to prolong the shelf-life of fresh-cut lettuce (*Lactuca Sativa* var. Capitata)

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

3. สาขาวิชา (ผลงานวิจัย โปรดระบุสาขาการวิจัยตามข้อ 7) เกษตรศาสตร์และชีววิทยา กลุ่มวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

ประเภทการออกแบบ (ผลงานสร้างสรรค์ โปรดระบุเทคนิค ขนาด วัสดุ) -

4. จำนวนงบประมาณ 100,000 บาท

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 ถึง ปี พ.ศ. 2550

5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน

☒ ในประเทศ

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

☒ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ) สกว.

☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....

6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว

☐ ยังไม่ได้เผยแพร่

☒ เผยแพร่แล้ว

☐ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ (โปรดระบุชื่อเรื่อง / ชื่อเจ้าของผลงาน / ชื่อสิ่งพิมพ์

ชื่อสำนักพิมพ์ / ปีที่พิมพ์ / เลขหน้า)

☐ ในประเทศ

☐ ต่างประเทศ.....

☒ ชื่อการประชุมวิชาการฯ หรือแสดงผลงานต่อสาธารณชน (โปรดระบุ ชื่อเรื่อง / ชื่อผู้นำเสนอ / สถานที่จัด / วัน เดือน ปีที่นำเสนอ)

☒ ในประเทศ

สาวตรี วิริยะจारी บุศรากรณ์ มหาโยธี และประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ. 2550. การปรับปรุงกระบวนการล้างเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาคุณภาพของผักกาดแก้ว. รวบรวมผลงานที่ได้รับทุน IRPUS. ประจำปี 2549. น. 244. (Poster Presentation)

เรื่องที่ 4

1. ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงเคลือบอบกรอบ

(ภาษาอังกฤษ) Shelf-life extension of coated crispy peanut

2. ลักษณะโครงการ / ผลงาน ☒ ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ

☐ คณะบุคคล/กลุ่ม ☒ เป็นหัวหน้า ☐ เป็นผู้ร่วม

3. สาขาวิชา (ผลงานวิจัย โปรตรระบุสาขาการวิจัยตามข้อ 7) เกษตรศาสตร์และชีววิทยา กลุ่มวิชา
อุตสาหกรรมการเกษตร

ประเภทการออกแบบ (ผลงานสร้างสรรค์ โปรตุระบุเทคนิค ขนาด วัสดุ)

4. จำนวนงบประมาณ 300,000 บาท

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ...2552... ถึงปี พ.ศ.

2554.....

5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน

๐ ในประเทศ

☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☒ อื่นๆ (โปรดระบุ)....สกว

.....

O ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ).....

O ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....

6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว

○ ยังไม่ได้เผยแพร่

✓ เผยแพร่แล้ว

☐ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ (โปรดระบุชื่อเรื่อง / ชื่อเจ้าของผลงาน / ชื่อ

สิ่งพิมพ์

ชื่อสำนักพิมพ์ / ปีที่พิมพ์ / เลขหน้า)

๐) ในประเทศ

๐) ต่างประเทศ.....

☒ ชื่อการประชุมวิชาการฯ หรือแสดงผลงานต่อสาธารณชน (โปรดระบุ ชื่อเรื่อง / ชื่อผู้นำเสนอ / สถานที่จัด / วัน เดือน ปีที่นำเสนอ)

☐ ในประเทศ

เจนจิรา อยู่พะเนียด ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ และ ดวงใจ ถิรธรรมถาวร. 2554. การประเมินเค้าโครงผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงเคลือบกรอบจากข้อมูลทางประสาทสัมผัส. ศิลปการวิจัยครั้งที่ 4 “บูรณาการศาสตร์และศิลป์ คือ ศิลปการ” 19-21 มกราคม 2554 มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม (oral presentation).

เรื่องที่ 5

1. ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การพัฒนาสารสกัดจากเปลือกมังคุดเพื่อใช้ในการยืดอายุผลิตภัณฑ์อาหาร
(ภาษาอังกฤษ) Development of mangosteen peel extract for shelf-life extension of food products

2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน ☒ ส่วนบุคคล/เดี่ยว ☐ หรือ

0 คณะบุคคล/กลุ่ม ⊗ เป็นหัวหน้า 0 เป็นผู้ร่วม

3. สาขาวิชา (ผลงานวิจัย โปตรระบุสาขาการวิจัยตามข้อ 7) เกษตรศาสตร์และชีววิทยา กลุ่มวิชา
อุตสาหกรรมเกษตร

ประเภทการออกแบบ (ผลงานสร้างสรรค์ โปตรระบุเทคนิค ขนาด วัสดุ)

4. จำนวนงบประมาณ 480,000 บาท

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ...2550... ถึงปี พ.ศ.
2552.....

5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน

☐ ในประเทศ

☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☒ อื่นๆ (โปตรระบุ)....สกว

.....

☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปตรระบุ).....

☐ ต่างประเทศ (โปตรระบุ).....

6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว

☐ ยังไม่ได้เผยแพร่

☒ เผยแพร่แล้ว

☐ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ (โปตรระบุชื่อเรื่อง / ชื่อเจ้าของผลงาน / ชื่อ

สิ่งพิมพ์

ชื่อสำนักพิมพ์ / ปีที่พิมพ์ / เลขหน้า)

☐ ในประเทศ

☒ ต่างประเทศ.....

Siriwongwilaichat P. , Angnanon, W. and and Rattanapanone' N. 2012.

The Effect of Processing Variables on Antioxidative Capacity of

Mangosteen Peel (Garcinia mangostana L.) Extract . Journal of

Agricultural Science and Technology A2, 2(4), 529-536.

☒ ชื่อการประชุมวิชาการฯ หรือแสดงผลงานต่อสาธารณชน (โปตรระบุ ชื่อเรื่อง /
ชื่อผู้นำเสนอ / สถานที่จัด / วัน เดือน ปีที่นำเสนอ)

☒ ในประเทศ

1. วิไลวรรณ อางนันทน์ ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ และนิธิยา รัตนานนท์. 2551.

ศึกษาการสกัดสารจากเปลือกมังคุดและทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ.

ศิลปการวิจัย ครั้งที่ 2 18-19 ธันวาคม 2551. มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวัง
สนามจันทร์ นครปฐม. (Poster Presentation)

2. Yuphongphithak, C., Wiriakittikun, A., Rattanapanone, N. and

Siriwongwilaichat, P. 2010. Comparison of solvents for mangosteen

(Garcinia mangostana L.) peel extract and its antioxidant capacity in

lard. Food Innovation Asia Conference 2010: Indigenous Food Research and Development to Global Market, June 17-18 2010, BITEC, Bangkok, Thailand (Poster presentation).

3. Pumklam, R. and Siriwongwilaichat, P. 2011. The effect of particle size on antioxidant capacity of mangosteen peel extract. ASEAN FOOD CONFERENCE 2011: Food Innovation: Key to Creative Economy, 16-18 June, 2011, Bangkok, Thailand (Poster presentation).

เรื่องที่ 6

1. ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์จากมะพร้าว
(ภาษาอังกฤษ) Coconut product development and quality improvement
2. ลักษณะโครงการ / ผลงาน ☐ ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ ☒ คณะบุคคล/กลุ่ม ☒ เป็นหัวหน้า ☐ เป็นผู้ร่วม
3. สาขาวิชา (ผลงานวิจัย โปรดระบุสาขาการวิจัยตามข้อ 7) เกษตรศาสตร์และชีววิทยา กลุ่มวิชา
อุตสาหกรรมเกษตร
ประเภทการออกแบบ (ผลงานสร้างสรรค์ โปรดระบุเทคนิค ขนาด วัสดุ)
4. จำนวนงบประมาณ 7,920,000 บาท
ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ...2550... ถึงปี พ.ศ.
2553.....
5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน
☐ ในประเทศ
☐ ภาครัฐ ☐ คณะวิชา ☒ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรด
ระบุ).....
☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ).....
☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....

เรื่องที่ 7

1. ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การรักษาความคงตัวของทับทิมกรอบสำเร็จรูป
(ภาษาอังกฤษ) Stabilization of ready-to-eat Tub Tim Grob (Red-ruby like chesnut
2. ลักษณะโครงการ / ผลงาน ☐ ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ ☒ คณะบุคคล/กลุ่ม ☒ เป็นหัวหน้า ☐ เป็นผู้ร่วม
3. สาขาวิชา (ผลงานวิจัย โปรดระบุสาขาการวิจัยตามข้อ 7) เกษตรศาสตร์และชีววิทยา กลุ่มวิชา
อุตสาหกรรมเกษตร
ประเภทการออกแบบ (ผลงานสร้างสรรค์ โปรดระบุเทคนิค ขนาด วัสดุ)
4. จำนวนงบประมาณ 300,000 บาท
ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ...2556... ถึงปี พ.ศ. 2558.....

5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน

☐ ในประเทศ

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

☒ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ).....สกว.....

☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....

ตอนที่ 3 ผลงานวิจัยหรือผลงานสร้างสรรค์ที่กำลังดำเนินการ (กรุณากรอก 1 เรื่องต่อ 1 ส่วน)
(ระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าได้ทำการวิจัยเสร็จแล้วประมาณร้อยละเท่าใด)

เรื่องที่ 2

1. ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การประยุกต์ใช้เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้ในการตรวจวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลมังคุด

(ภาษาอังกฤษ) The application of near infrared spectroscopy for determination of antioxidative capacity of mangosteen fruit

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

3. สาขาวิชา (ผลงานวิจัย โปรดระบุสาขาการวิจัยตามข้อ 7) เกษตรศาสตร์และชีววิทยา กลุ่มวิชา
อุตสาหกรรมเกษตร

ประเภทการออกแบบ (ผลงานสร้างสรรค์ โปรดระบุเทคนิค ขนาด วัสดุ)

4. จำนวนงบประมาณ 375,000 บาท

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ...2556... ถึงปี พ.ศ. 2557

5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน

☐ ในประเทศ

☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☒ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ).....

☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....

เรื่องที่ 8

1. ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อมะม่วงขึ้นรูปแช่เยือกแข็ง

(ภาษาอังกฤษ) Development of frozen restructured mango puree

2. ลักษณะโครงการ / ผลงาน ☐ ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ

☒ คณะบุคคล/กลุ่ม ☒ เป็นหัวหน้า ☐ เป็นผู้ร่วม

3. สาขาวิชา (ผลงานวิจัย โปรตระบุสาขาการวิจัยตามข้อ 7) เกษตรศาสตร์และชีววิทยา กลุ่มวิชา
อุตสาหกรรมเกษตร

ประเภทการออกแบบ (ผลงานสร้างสรรค์ โปรตระบุเทคนิค ขนาด วัสดุ)

4. จำนวนงบประมาณ 280,000 บาท

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ...2558... ถึงปี พ.ศ. 2559.....

5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน

☐ ในประเทศ

☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปตระบุ).....

☒ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปตระบุ).....สกอ (HERB

2016).....

☐ ต่างประเทศ (โปตระบุ).....

ตอนที่ 4 การจดทรัพย์สินทางปัญญา

อนุสิทธิบัตร ข้าวเหนียวมูนสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง และกรรมวิธีการผลิต (ผู้ประดิษฐ์/ออกแบบ : ผู้ช่วย
ศาสตราจารย์ ดร.ดวงใจ ธีธรรมถาวร, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ, นางสาว
ศกลวรรณ พ่อธานี, นางสาวศุภางค์ บุญสิทธิ์) เลขที่สิทธิบัตร : 9745 วันที่จดทะเบียน : 03 Apr 2558

ผู้ร่วมวิจัย 1

นางสาวบุศราภรณ์ มหาโยธี

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: busarakornm@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 ทั้งระดับปริญญาโทและ
ปริญญาเอก)

- ระดับปริญญาโท

คุณสมบัติของโคโตแซนในการจับ 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

สาขาการอบแห้ง

สาขาเทคโนโลยีอาหาร

สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว

การตรวจสอบความแก่อ่อนของผลไม้ด้วยเทคนิค NIRS

9. การนำเสนอผลงานทางวิชาการ

บุศรากรณ์ 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 บางนา กรุงเทพมหานคร (โปสเตอร์)

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

ศรัณยา ลากส่งผล อิตารัตน์ ขาดิเอกชัย และ บุศรากรณ์ มหาโยธี. 2549. การวิเคราะห์การใช้วัตถุเจือปนอาหารในผลิตภัณฑ์มะม่วงดอง น้ำมะนาวปรุงอาหาร และลำไยอบแห้ง. การประชุมสัมมนาวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 8 นวัตกรรมทางอาหาร 15-16 มิ.ย. 2549 ศูนย์ประชุมนานาชาติไบเทค บางนา กรุงเทพฯ (เสนอในรูปแบบโปสเตอร์)

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

B. 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).

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, 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.

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)

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)

Busarakorn Mahayothee, Rungtip Wongtom, E. Keowmaneechai¹, Sarawut Phupaichitkun, Methinee Haewsungcharern, Serm Janjai, Joachim Mueller. 2006. Influence of drying on browning and sensory characteristics of dried whole longan. In the 15th International Drying Symposium (IDS 2006) during 20-23 August 2006 at Budapest, Hungary. (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., 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.

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)

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)

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)

ตอนที่ 2 ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ที่ดำเนินการเสร็จแล้ว

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

☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ) บริษัทเชียร์ (ประเทศไทย) จำกัด

6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว

☐ ยังไม่ได้เผยแพร่

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

☐ ต่างประเทศ (โปรตุเกส)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

• ภาควิชา • คณะวิชา • มหาวิทยาลัย • อื่นๆ (โปรดระบุ).....

☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ) ศูนย์บ่มเพาะธุรกิจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

• ต่างประเทศ (โปรดระบุ)

เรื่องที่ 4

1. ชื่อเรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งชนิดที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำ ปราศจากสารกลุ่มเมตาโบไลต์ 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

ปราศจากสารกลุ่มเมตาไบซัลไฟต์ 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

• ภาควิชา • 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
- ภาควิชา • คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย • อื่นๆ (โปรดระบุ).....
- ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ)
- ต่างประเทศ (โปรดระบุ)

เรื่องที่ 7

1. ชื่อเรื่อง การลดต้นทุนการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งชนิดหวานน้อย ปราศจากสารกลุ่มเมตาโบไลต์ 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
- ภาควิชา • คณะวิชา • มหาวิทยาลัย • อื่นๆ (โปรดระบุ).....
- ☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ) สกว. (IRPUS)

ตอนที่ 3 ผลงานวิจัยหรือผลงานสร้างสรรค์ที่กำลังดำเนินการ

เรื่องที่ 1

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

- ภาควิชา • คณะวิชา • มหาวิทยาลัย • อื่นๆ (โปรดระบุ).....

- ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ)

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

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

ผู้ร่วมวิจัย 2**นางสาวชนิกร คงพานิชย์ตระกูล**

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) นางสาว ชนิกร คงพานิชย์ตระกูล
 (ภาษาอังกฤษ) MISS CHANIKORN KONGPANICHTRAKUL

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2557 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
 มหาวิทยาลัยศิลปากร
 พ.ศ. 2558 ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผลงานทางวิชาการ

พ.ศ. 2559 Kongpanichtrakul, C. and Siriwongwilaichat, P. 2016. Application of
 near-infrared spectroscopy for determination of xanthones in mangosteen rind.
 Food Innovative Asia Conference 2016 “Food Research and Innovation for
 Sustainable Global Prosperity”. 358-362.