



รายงานโครงการวิจัย

การประเมินคุณภาพในสมุนไพรโดยใช้เทคนิค
เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

Quality Evaluation in Herbal Plants by Near Infrared
Spectroscopy

หัวหน้าโครงการวิจัย

นางสาวจารุรัตน์ พุ่มประเสริฐ

JARURAT PUMPRASERT

ปี พ.ศ. 2564



รายงานโครงการวิจัย

การประเมินคุณภาพในสมุนไพรโดยใช้เทคนิค
เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

Quality Evaluation in Herbal Plants by Near Infrared
Spectroscopy

หัวหน้าโครงการวิจัย

นางสาวจรรุรัตน์ พุ่มประเสริฐ

JARURAT PUMPRASERT

ปี พ.ศ. 2564

คำปรารภ

โครงการวิจัยการประเมินคุณภาพในสมุนไพรโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของชุดโครงการการประเมินปริมาณและคุณภาพผลิตผลและผลิตภัณฑ์เกษตรอย่างรวดเร็วโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ดำเนินการทดลองในปี 2563-2564 ประกอบด้วย 2 การทดลอง เป็นงานวิจัยที่ศึกษาถึงปริมาณสารสำคัญในขมิ้นชัน และกวางเครือ วิธีการประเมินคุณภาพในสมุนไพรโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีการศึกษาวิจัยทั้งหมดที่กล่าวมานี้มุ่งหวังให้เกิดประโยชน์ในการประเมินปริมาณสารสำคัญ หลังการเก็บเกี่ยว และในระหว่างการเก็บรักษา ในขมิ้นชัน และกวางเครือ ได้สะดวก รวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ และได้ประโยชน์อย่างแท้จริงในสมุนไพรดังกล่าว เพื่อยกระดับคุณภาพสมุนไพรให้มีปริมาณสารสำคัญสูง และมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

จากรัตน์ พุ่มประเสริฐ
หัวหน้าโครงการวิจัย

กรมวิชาการเกษตร

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	1
ผู้วิจัย	2
บทนำ	3
คำสำคัญ	4
บทคัดย่อ	5
ระเบียบวิธีวิจัย	6
ผลการวิจัยและอภิปรายผล	7
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	17
บทสรุปและข้อเสนอแนะ	17
บรรณานุกรม	18
ภาคผนวก	19

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยงานผู้สนับสนุนทุนวิจัย กรมวิชาการเกษตร เจ้าหน้าที่กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวพืชไร่ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิจัย กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร เกษตรกรผู้ปลูก รวบรวม ขมิ้นชัน และกวาวเครือ ที่ให้ความช่วยเหลือ วิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ เอื้อเพื่อตัวอย่าง ขมิ้นชัน กวาวเครือ และสถานที่ทำการทดลอง ทำให้การทดลองนี้ประสบความสำเร็จด้วยดี

กรมวิชาการเกษตร

ผู้วิจัย

นางสาวจารุรัตน์ พุ่มประเสริฐ
Jarurat Pumprasert

นางสาวอรวรรณ จิตต์ธรรม
Orawan Jittham

นางภัควิไล ยอดทอง
Phakwilai Yodthong

และ

นายภัทระ ลูกรักษ์
Phatthara Loogruk

กรมวิชาการเกษตร

บทนำ

Near Infrared Spectroscopy (NIRS) เป็นเทคนิคไม่ทำลายตัวอย่าง ใช้ระยะเวลาตรวจวิเคราะห์สั้น วัสดุเร็วในเวลาสั้น ไม่ต้องใช้สารเคมี โดยใช้หลักการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดของสารประกอบอินทรีย์ และน้ำ เมื่อคลื่นแสงมาจากแหล่งกำเนิดแสง (light source) ส่งมายังวัตถุหรือสารละลายบนตัวอย่าง (sample) จะทำให้โมเลกุลของสารตัวอย่างเกิดการสั่นสะเทือน และดูดกลืนแสงส่วนแสงที่เหลือจะมีการสะท้อน และส่งผ่านจากตัวอย่างไปยังอุปกรณ์สำหรับตรวจวัด (detector) โดยจะบันทึกปริมาณแสงที่ตัวอย่างดูดกลืนไว้เทียบกับความยาวคลื่นต่างๆ แล้วนำมาจับคู่กับค่าการวิเคราะห์เคมีจากห้องปฏิบัติการเพื่อสร้างสมการ เป็นการสร้างสมการจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R) สมการที่มีประสิทธิภาพต้องสามารถนำไปประเมินลักษณะที่ต้องการได้อย่างถูกต้องแม่นยำ พิจารณาจากค่าต่างๆ เหล่านี้ คือ ค่าความสัมพันธ์ (R) ต้องมีค่าสูง หมายถึง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ในย่าน NIR และค่าการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ ถ้าค่า R มีค่าสูงใกล้ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูงสามารถใช้ทดแทนกันได้ ค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการแคลิเบรชัน (Standard Error of Calibration, SEC) คือ ค่าคลาดเคลื่อนในการคำนวณในการสร้างสมการจากค่าการดูดซับแสงและค่าการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ ถ้าสมการมีความแม่นยำควรมีค่า SEC ต่ำ ค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน (Standard Error of Prediction, SEP) ควรมีค่าต่ำ โดยค่า SEP ต้องต่ำกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสมการ (Factors) เป็นปัจจัยจากภายในของตัวอย่างนั้นๆ จึงจะแสดงว่าสมการที่ได้มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ทำนายคุณลักษณะที่ต้องการหา สามารถนำสมการที่ได้ใช้ทำนายค่าของตัวอย่างแทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

สมุนไพร เป็นพืชที่มีสารสำคัญที่มีสรรพคุณทางยาในส่วนต่างๆ เช่น ราก ใบ ลำต้น ดอก ผล เมล็ด การใช้ประโยชน์จากสมุนไพรของไทย ทั้งในด้านการผลิตเป็นยารักษาโรค และการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อเพิ่มมูลค่า มีเกษตรกรรวมกลุ่มผลิตสมุนไพรทั้งในรูปแบบ แคปซูล ผลิตภัณฑ์ชา และผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพต่างๆ มากมาย วางขายในนามกลุ่มแม่บ้าน กลุ่มเกษตรกร มีการเก็บรักษา และใช้บรรจุภัณฑ์ที่หลากหลายแตกต่างกันไปตามแหล่งผลิต แต่ปัญหาที่พบจากการผลิต คือ ระหว่างการเก็บรักษาเพื่อรอจำหน่ายหากมีการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลให้สารสำคัญที่เป็นสรรพคุณทางยาลดน้อยลง การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญในวัตถุดิบสมุนไพรหลังการเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษา จึงมีความสำคัญที่จะต้องมีข้อมูลสำหรับแนะนำและส่งเสริมให้เกษตรกรได้ทราบ นำไปประยุกต์ใช้เพื่อรักษาสารสำคัญที่เป็นประโยชน์และปลอดภัยต่อผู้บริโภค

โดยโครงการนี้ทำการศึกษาในสมุนไพร 2 ชนิด ได้แก่ **ขมิ้นชัน** (*Curcuma longa* L.) เป็นพืชสมุนไพรทรงคุณค่าที่มีอยู่ตามธรรมชาติมาช้านานเพราะด้วยคุณประโยชน์ที่สามารถนำมาใช้ทางยา โดยพบสารที่สำคัญ คือ เคอร์คูมินอยด์ (curcuminoids) ซึ่งประกอบด้วยสารที่สำคัญ 3 ตัว คือ เคอร์คูมิน (curcumin; 75 – 81 เปอร์เซ็นต์) เดสเมธอกซีเคอร์คูมิน (desmethoxycurcumin; 15-19 เปอร์เซ็นต์) และบิสเดสเมธอกซีเคอร์คูมิน (bisdsmethoxycurcumin; 2.2– 6.6เปอร์เซ็นต์) ทั้งเดสเมธอกซีเคอร์คูมินและบิสเดสเมธอกซีเคอร์คูมิน เป็นอนุพันธ์ของเคอร์คูมิน เป็นสารสีเหลืองส้ม หรือสีเหลืองแดง ซึ่งเป็นสีของขมิ้นนั่นเอง สารนี้ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ และกรดแอสिटริก (ปัญญาดี, 2543) จากการศึกษา พบว่าเคอร์คูมินมีฤทธิ์ต่อต้านการเจริญเติบโตของเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย ยับยั้งการเกาะกลุ่มของเกล็ดเลือด ลดไขมันในเลือด ขับน้ำดี สมานแผล ยับยั้งการเกิดพิษต่อตับ ต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร ต้านมะเร็ง ไส้ และฆ่ายุง เป็นต้น (สำนักงานข้อมูลสมุนไพร, 2543) ใน

ตลาดโลกซื้อขายขมิ้นแห้งมากกว่าขมิ้นป่น ในประเทศไทยขมิ้นเจริญเติบโตได้ดีมากเพาะปลูกได้ง่ายจึงอาจเป็นพืชที่มีศักยภาพสูงในการเพาะปลูกเชิงการค้าหรือผลิตเป็นสินค้าส่งออกได้ รัฐบาลเคยมีนโยบายส่งเสริมการเพาะปลูกเพื่อส่งออกในรูปขมิ้นแห้ง แต่ยังไม่ประสบความสำเร็จในวงกว้างเนื่องจากคุณภาพของขมิ้นจะแปรผันตามพันธุ์ปลูก สภาพแวดล้อม และอายุการเก็บเกี่ยว โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของขมิ้นต้องมีปริมาณสิ่งแปลกปลอม (เปอร์เซ็นต์ w/w) ไม่เกิน 2 ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์ v/w) ไม่เกิน 10 ปริมาณเถ้ารวม (เปอร์เซ็นต์ w/w) ไม่เกิน 8 ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (เปอร์เซ็นต์ w/w) ไม่เกิน 1 ปริมาณสารสกัดด้วยเอทานอล (เปอร์เซ็นต์ w/w) ไม่น้อยกว่า 10 ปริมาณสารสกัดด้วยน้ำ (เปอร์เซ็นต์ w/w) ไม่น้อยกว่า 9 ปริมาณน้ำมันหอมระเหย (เปอร์เซ็นต์ v/w) ไม่น้อยกว่า 6 ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ คำนวณไม่น้อยกว่า 5 (พิทยา, 2551) **กวาวเครือขาว** มีฤทธิ์เป็นยาสมุนไพร หัว บำรุงเนื้อหนังให้เต่งตึง แก้อ่อนเพลียตามร่างกาย แก้อ่อนเพลีย ผอมแห้ง นอนไม่หลับ มีฮอร์โมนเพศหญิงสูง ทาหรือรับประทาน ทำให้เต้านมขยายตัว เส้นผมดกดำ เพิ่มเส้นผม เป็นยาปรับรอบเดือน บำรุงความกำหนัด บำรุงอวัยวะสืบพันธุ์ให้เจริญ แก้อาการปวดท้อง ท้องระจก ทำให้ความจำดี บำรุงโลหิต กินได้นอนหลับ ผิวหนังเต่งตึงมีน้ำมีนวล ถ้ารับประทานเกินขนาดจะเป็นอันตรายได้ ทำให้มีอาการมึนเมา คลื่นไส้อาเจียน อาจทำให้แท้งบุตรได้ เปลือกเถา แก้วพิษงู ในพม่าใช้หัว เป็นยาอายุวัฒนะของทั้งหญิง และชาย แต่ไม่เหมาะกับคนหนุ่มสาว โดยเฉพาะหญิงวัยเจริญพันธุ์ โดยพบสารกลุ่มโครเมิน (Chromene) เป็นสารสำคัญอันดับหนึ่งในกวาวเครือได้แก่ Miroestrol ซึ่งเป็นสารที่มีรายงานว่ามียุทธศาสตร์คล้ายเอสโตรเจน พบปริมาณ 0.002-0.003 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักหัวแห้ง หรือประมาณ 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของกวาวเครือแห้ง (ยุทธนา และคณะ, 2555) ซึ่งมีโครงสร้างใกล้เคียงกับ เอสตราไดออล (estradiol) ทำให้มีฤทธิ์คล้ายฮอร์โมนเพศหญิง เมื่อกวาวเครือมีอายุ 3-4 ปี จึงมีปริมาณผลผลิต และสารสำคัญสูง เก็บเกี่ยวเมื่อต้นทิ้งใบและเริ่มออกดอก (มกราคม-มีนาคม) หากเก็บเกี่ยวเลยเวลานี้ จะได้ปริมาณสารสำคัญต่ำ เพราะเมื่อเริ่มแทงช่อดอกจะมีการดึงธาตุอาหารไปใช้ สัจจะ (2012) กล่าวว่ากวาวเครือขาวที่ปลูกจากเมล็ดสามารถเก็บเกี่ยวหัวใต้ดินได้ตั้งแต่อายุ 1 ปี แต่เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ½ - 3 ปี กวาวเครือจะให้สารสำคัญ เช่น puerarin, daidzein และ genistein สูงที่สุด ส่วนการสะสมปริมาณสารออกฤทธิ์คล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจนจะมีมากขึ้นเรื่อยๆ และสูงที่สุดในขณะที่ต้นกวาวเครือขาวพักตัว (เดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม) ฉะนั้นจึงควรเก็บเกี่ยวหัวกวาวเครือขาวในช่วงนี้ จึงจะได้ปริมาณสารสำคัญสูงที่สุด

โดยสมุนไพรที่กล่าวมาทั้ง 2 ชนิด สามารถเก็บเกี่ยวได้ในฤดูกาลช่วงหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นการผลิตจึงมีระยะเวลาที่จำกัดต้องนำผลผลิตมาเก็บรักษาไว้ในรูปของการทำแห้งหรืออบเป็นผง เพื่อให้สามารถเก็บไว้ใช้ได้เป็นเวลานาน การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่เหมาะสม เช่น อายุเก็บเกี่ยว การลดความชื้นไม่ถูกต้อง ลักษณะการเก็บรักษา และสภาพการเก็บรักษา อาจจะทำให้สมุนไพรเสื่อมคุณภาพ ดังนั้นจึงควรศึกษาถึงวิธีการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญที่สะดวก รวดเร็ว และมีค่าใช้จ่ายน้อย เพื่อให้วัตถุดิบสมุนไพรยังคงมีปริมาณสารสำคัญที่สูง เพื่อนำไปให้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

คำสำคัญ

ขมิ้นชันผง เคอร์คูมินอยด์ กวาวเครือ ไอโซฟลาโวน เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

Near Infrared Spectroscopy (NIRS), turmeric powder, curcuminoids, Kwao Krua, Isoflavones

บทคัดย่อ

สมุนไพรเป็นพืชที่มีสารสำคัญที่มีสรรพคุณทางยาในส่วนต่างๆ โดยเคอร์คูมินอยด์ เป็นสารกลุ่มสีเหลืองส้มที่อยู่ในเหง้าขมิ้นชัน พบว่ามีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี และมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการนำเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) มาใช้ในการตรวจสอบปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันผง และปริมาณสารไอโซฟลาโวนในกวาวเครือสด และผลิตภัณฑ์ พบว่า สมการสามารถประเมินปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันผงได้ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R) สูง 0.93 มีความคลาดเคลื่อนในการประเมิน (Standard Error of Prediction, SEP) 2.82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง คือ 6.77 เปอร์เซ็นต์ และค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ (Standard Error of Calibration, SEC) 2.44 เปอร์เซ็นต์ สมการที่ได้นี้สามารถใช้ในการประเมินปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันผงได้ในระดับเพื่องานวิจัยและงานทั่วไปได้ในช่วง 0.76-43.18 เปอร์เซ็นต์ และ สมการสามารถประเมินปริมาณสารไอโซฟลาโวนในกวาวเครือสดและผลิตภัณฑ์ได้ มีค่า R 0.81 และ 0.85 ตามลำดับ มีค่า SEP = 4.40 และ 0.28 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งต่ำกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง คือ 12.09 และ 5.84 ไมโครกรัมต่อกรัม และค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ (Standard Error of Calibration, SEC) คือ 11.41 และ 0.23 ไมโครกรัมต่อกรัม สมการที่ได้นี้สามารถใช้ในการประเมินปริมาณสารไอโซฟลาโวนในกวาวเครือสด และผลิตภัณฑ์ได้ในระดับการทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณหรือประเมินค่าเบื้องต้นในช่วง 3.92-172.93 และ 11.81-318.86 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

Abstract

Herbs are plants that contain important substances with various medicinal properties. Curcuminoid is substance found in the rhizome of turmeric. It have good antioxidant properties and has anti-inflammatory effects. A good turmeric raw material should contain at least 5% curcuminoids. Isoflavone is substance found in the Pueraria. The Method to determine the curcuminoids evaluation in Turmeric Powder and isoflavone evaluation in fresh Kwao Kruea and products takes a long time and at a very high cost. The objective of this research was to determine the curcuminoids evaluation in Turmeric Powder and Isoflavone in fresh Kwao Kruea and products was modified by near infrared spectroscopy (NIRS) technique. Equation of curcuminoids determination in Turmeric powder had high correlation coefficient (R); 0.93 which standard error of prediction (SEP); 2.82% was lower than standard deviation (SD) of the In-house's method (HPLC); 6.77% and also low standard error of calibration (SEC); 2.44%. The model from NIRS method can predict the amount of curcuminoids in Turmeric Powder in the range of 0.76-43.18 %. Equation of isoflavone determination in fresh Kwao Kruea and products had correlation coefficient (R); 0.81 and 0.85 which standard error of prediction (SEP);

4.40 and 0.28 $\mu\text{g/g}$ was lower than standard deviation (SD) of the In-house's method (HPLC); 12.09 and 5.84 $\mu\text{g/g}$ and also low standard error of calibration (SEC); 11.41 and 0.23 $\mu\text{g/g}$. The model from NIRS method can predict the amount of isoflavone determination in fresh Kwao Kruea and products in the range of 3.92-172.93 and 11.81-318.86 $\mu\text{g/g}$.

ระเบียบวิธีการวิจัย

การทดลองที่ 1 การปรับปรุงและทดสอบสมการประเมินปริมาณเคอร์คูมินอยต์ในผลิตภัณฑ์ขมิ้นผงโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

1. ออกเก็บตัวอย่าง และเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขมิ้นผงที่มีจำหน่ายในตลาดจำนวน 200 ตัวอย่าง

2. นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขมิ้นผงไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Near Infrared Spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 400 – 2500 นาโนเมตร และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณสารเคอร์คูมินอยต์ในผลิตภัณฑ์ขมิ้นผงด้วยวิธีอ้างอิงในห้องปฏิบัติการ คือ วิเคราะห์ In-house's method (HPLC) ดัดแปลงจาก Pei-Yin Zhan (High-efficient column chromatographic extraction of curcumin from *Curcuma longa*) Food Chemistry 129 (2011) 700-703

3. นำ spectra ที่ได้ไปเพิ่มข้อมูลในสมการที่ได้จากการทดลองปี 2563 มาปรับปรุงสมการให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และทำการคัดเลือกสมการโดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R) ที่มีค่าสูงใกล้เคียง 1 ค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ (Standard Error of Calibration, SEC) และค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมการ (Standard Error of Prediction, SEP) ที่มีค่าต่ำ

4. ตรวจสอบความแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้นโดยเปรียบเทียบค่า Standard Error of Prediction (SEP) และ Bias เพื่อประเมินโดยใช้ข้อมูลในส่วนที่ไม่ได้ใช้ในการทำสมการ

5. ตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้น โดยนำสมการไปประเมินปริมาณสารเคอร์คูมินอยต์ในผลิตภัณฑ์ขมิ้นผง จำนวน 20 ตัวอย่าง

การทดลองที่ 2 การประเมินปริมาณสารไอโซฟลาโวนในกวางเครือสดและผลิตภัณฑ์โดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

1. การเตรียมตัวอย่าง

หัวกวางเครือสด

รวบรวมหัวกวางเครือสดที่ขนาดและอายุต่าง ๆ กัน จำนวน 120 ตัวอย่าง โดยนำหัวกวางเครือมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก หั่นเป็นชิ้น นำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrometer รุ่น 6500 โดยบรรจุตัวอย่างลงในอุปกรณ์บรรจุตัวอย่าง ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้หลักการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร

กวางเครือผง

รวบรวมกวางเครือผงจากแหล่งต่าง ๆ กัน จำนวน 130 ตัวอย่าง โดยนำกวางเครือผงไปวัดการ

ดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrometer รุ่น 6500 โดยบรรจุตัวอย่างลงในอุปกรณ์บรรจุตัวอย่าง ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้หลักการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร

2. การประเมินปริมาณสารไอโซฟลาโวน

วิธีสกัดสารไอโซฟลาโวนในตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ทำการสกัด 2 ครั้ง ที่อุณหภูมิห้อง โดยเติม Methanol (MeOH) 50 และ 25 มิลลิลิตร แล้วนำไป sonication นาน 15 นาที จากนั้นกรองสารละลายผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 นำสารละลายที่ได้ไประเหยให้แห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นละลายตัวอย่างที่ระเหยแห้งด้วย MeOH (HPLC grade) จำนวน 10 มิลลิลิตร กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง nylon membrane 0.45 มิลลิเมตร ก่อนฉีดเข้าเครื่อง HPLC

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

วิเคราะห์ปริมาณสารไอโซฟลาโวนโดยวิธี HPLC – photo diode array detector ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ใช้สารละลายเคลื่อนที่ A (mobile phase A) เป็น 0.1% TFA ในน้ำกลั่น 1 ลิตร และสารละลายเคลื่อนที่ B (mobile phase B) เป็น acetonitrile ผ่านคอลัมน์ชนิด YMC-Pack ODS-AM-303 (250 mm. X 4.6 mm. I.D.) ฉีดตัวอย่างเข้าเครื่อง HPLC ปริมาตร 20 ไมโครลิตร นาน 45 นาที ที่อัตราการเคลื่อนที่ของสารละลาย 0.4 มิลลิลิตร/นาที นำพื้นที่ใต้กราฟที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสารไอโซฟลาโวน (ไมโครกรัมต่อกรัม)

3. การสร้างสมการประเมินปริมาณสารไอโซฟลาโวน

นำข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร และค่าการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมาทำสมการโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสร้างสมการโดยใช้หลักสถิติ Partial Least Square regression แบบ Full cross validation จากโปรแกรม The Unscrambler version 9.7 (Camo, Oslo, Norway) เลือกสมการที่มีประสิทธิภาพในการประเมินโดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient: R) ให้ใกล้เคียงกับ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ (Standard Error of Calibration: SEC) ค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการประเมินต่ำ (Standard Error of Prediction: SEP) และค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIR (Bias) ต่ำ

4. การประเมินความถูกต้องแม่นยำของสมการ

ทดสอบความแม่นยำของสมการโดยนำสมการที่ได้ไปใช้ประเมินปริมาณสารไอโซฟลาโวนในตัวอย่างกาวหรือสดและกาวหรือผงที่ไม่อยู่ในชุดที่ใช้สร้างสมการ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของวิธีการที่ประเมินด้วยเทคนิค NIRS และวิธีมาตรฐานที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ปรับปรุงและทดสอบสมการประเมินปริมาณคอร์คูมินอยด์จากการทดลองปี 2563 จากเดิมใช้ตัวอย่างขมิ้นชันผงจำนวน 60 ตัวอย่าง เก็บตัวอย่างขมิ้นชันผงเพิ่มจากตลาดค้าปลีกจำนวน 140 ตัวอย่าง นำตัวอย่างขมิ้นชันผงมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Near Infrared spectrometer รุ่น 6500 ของบริษัท FOSS ที่ความยาวคลื่น 400 – 2500 นาโนเมตร ใช้ระบบสะท้อนแสง ได้เส้นสเปกตรัมของตัวอย่างขมิ้นชันผง (Figure 1) และนำตัวอย่างเดียวกันนี้ไปวิเคราะห์หาปริมาณสารคอร์คูมินอยด์ในห้องปฏิบัติการ ด้วยวิธีวิเคราะห์ In-house's method (HPLC) ดัดแปลงจาก Pei-Yin Zhan (Table 1) นำสเปกตรัมต้นแบบและค่าวิเคราะห์ที่ได้ไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี Partial Least Square (PLS) regression แบบ Full cross validation จากโปรแกรมสำเร็จรูป The Unscrambler® version 9.7 พบว่า สมการจาก 157 ตัวอย่างมีค่าความสัมพันธ์ (R) 0.93 มีค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมิน (Standard Error of Prediction, SEP) 2.82 เปอร์เซ็นต์ (Figure 2) ค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ (Standard Error of

Calibration, SEC) 2.44 เปอร์เซ็นต์ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี In-house's method (HPLC) คือ 6.77 เปอร์เซ็นต์ และมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 8 ปัจจัย (Table 2) มีค่า regression coefficient สูง ที่ความยาวคลื่น 1143 1460 1685 1900 และ 2242 นาโนเมตร เป็นความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณ Aromatic CONH₂ Aromatic Starch และ Amino acid (Osborne, 1986) (Figure 3) ของสารเคอร์คูมินอยด์ในตัวอย่างขมิ้นชันผง

ทดสอบความถูกต้องแม่นยำของสมการประเมินปริมาณ

นำสมการที่ได้ไปทดสอบประสิทธิภาพในการประเมินปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในตัวอย่างขมิ้นชันผงจำนวน 20 ตัวอย่าง และนำผลที่ได้จากเทคนิค NIRS ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิง พบว่า ค่าความแตกต่างของปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์จากทั้ง 2 วิธี อยู่ระหว่าง - 0.23 - 5.02 เปอร์เซ็นต์ (Table 3) สมการที่ได้นี้จึงสามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าเบื้องต้นของปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในตัวอย่างขมิ้นชันผงได้ สอดคล้องกับ ฌฐณัญช์ (2556) พบว่าสามารถใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มเนี่ยอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการวัดปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันเปรียบเทียบกับวิธีอ้างอิงทางเคมีได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ และศุมาพร (2557) ใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มเนี่ยอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการวัดปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ใน ยาสุมุนไพรขมิ้นชันที่ขายในร้านขายยา พบว่าสามารถใช้ได้ในระดับการประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในยาสุมุนไพรขมิ้นชันได้อย่างรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง

Table 1 The characteristics of samples used in model construction for curcuminoid contents in Turmeric powder samples

Items	Curcuminoids
Min-Max	0.76-43.18
Mean	23.71
SD	6.77
Number	157
Unit	%

Table 2 The statistical analysis of NIRS models to predict curcuminoid contents in Turmeric powder samples by The Unscrambler[®] program

Quality	Sample	Math methods	Wavelength h (nm)	N	SD	R	SEC	SEP	Bias	F
Curcuminoids	powder	Original	400 - 2500	157	6.77	0.93	2.44	2.82	0.04	8

R: Coefficient of correlation, SEC: Standard error of calibration, SEP: Standard error of prediction; Bias: The average difference between actual value and NIRS value, F: The number of factors used in the calibration equation, SD: Standard Deviation

Table 3 Method validation between reference measurement and NIRS prediction of curcuminoid contents in Turmeric powder samples.

Samples	Method to determine curcuminoid contents		d (x-y)	d ² (x-y) ²
	Reference Method	NIR Prediction		
	X	Y		
1	19.58	21.53	-1.95	3.80
2	19.31	21.92	-2.62	6.85
3	24.34	24.58	-0.23	0.06
4	29.26	27.81	1.45	2.09
5	29.56	27.34	2.22	4.93
6	25.38	25.69	-0.31	0.10
7	21.70	21.05	0.65	0.42
8	16.64	19.35	-2.71	7.37
9	22.84	27.19	-4.36	18.97
10	25.61	24.76	0.84	0.71
11	15.65	16.63	-0.98	0.96
12	18.57	16.32	2.25	5.08
13	17.42	16.44	0.98	0.95
14	23.60	21.19	2.41	5.80
15	15.46	18.57	-3.11	9.70
16	31.53	27.49	4.04	16.33
17	24.14	23.98	0.16	0.03
18	11.99	10.99	1.01	1.01
19	25.47	20.45	5.02	25.24
20	24.95	20.57	4.39	19.23
Total	442.99	433.85	9.14	129.62
Average	22.15	21.69	0.46	6.48

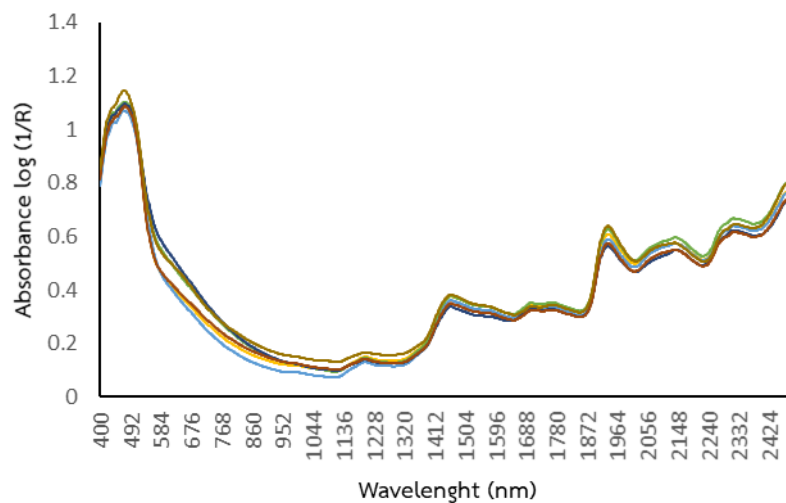


Figure 1 The original NIR spectra of Turmeric powder samples at wavelength 400–2500 nm.

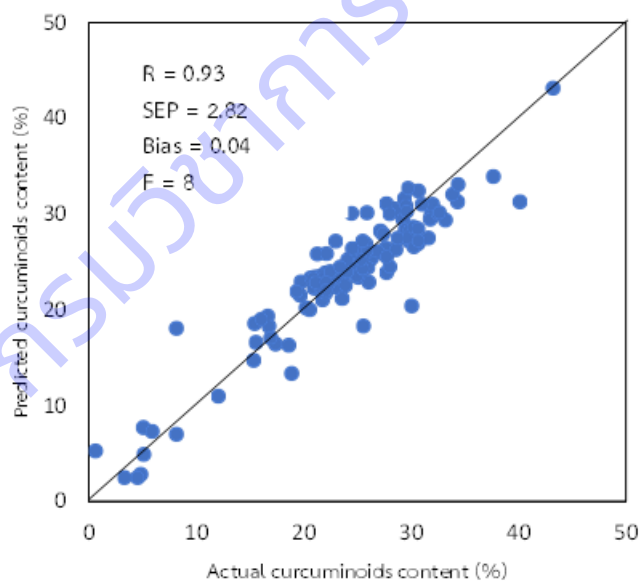


Figure 2 Scatter plots for calibration model of curcuminoid contents in Turmeric powder

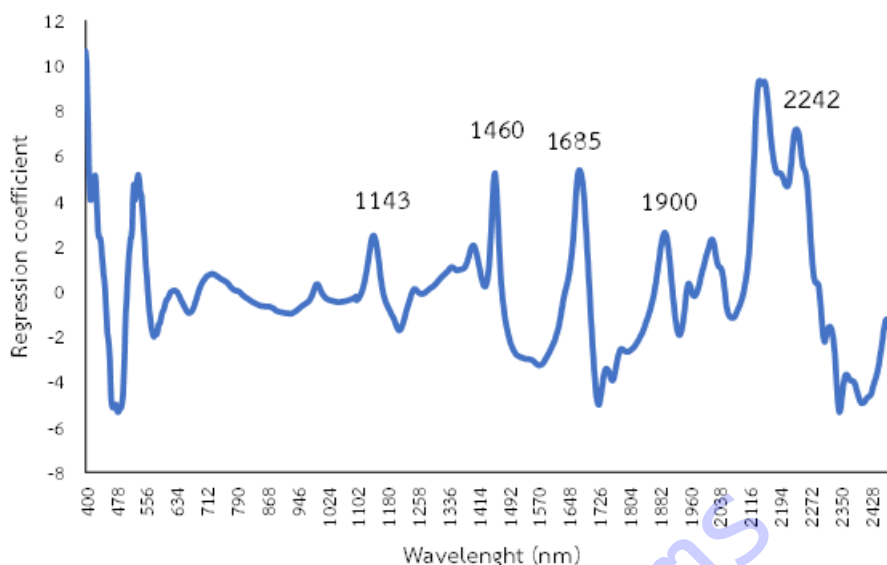


Figure 3 Regression coefficient for calibration model to predict curcuminoid contents in Turmeric powder samples

การทดลองที่ 2 การประเมินปริมาณสารไอโซฟลาโวนในกวาวเครือสดและผลิตภัณฑ์โดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

นำตัวอย่างหัวกวาวเครือสดจำนวน 120 ตัวอย่าง ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในย่าน Near Infrared ที่ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร พบว่ากวาวเครือสดสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 1450 และ 1900 นาโนเมตร (Figure 1) ซึ่งที่ 1450 นาโนเมตร บ่งบอกการสั่นของพันธะ O-H แบบ first overtone stretching ภายในโมเลกุลของน้ำและแป้ง ที่ 1900 นาโนเมตร บ่งบอกการสั่นของพันธะ O-H + 2x C-O stretching ภายในโมเลกุลของแป้งในตัวอย่าง (Osborne *et al.*, 1993) โดยปริมาณสารไอโซฟลาโวนมีความสัมพันธ์กับโปรตีน เพราะสารไอโซฟลาโวนและอนุพันธ์มีการต่ออยู่กับโปรตีน และการลดลงของสารไอโซฟลาโวนอาจเนื่องมาจากพืชหลังการเก็บเกี่ยวมาใหม่ ๆ ยังคงมีความชื้นสูง มีกระบวนการทางเคมีต่าง ๆ เกิดขึ้นส่งผลให้มีปริมาณสารไอโซฟลาโวนสูงขึ้น เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารไอโซฟลาโวนพบว่าตัวอย่างกวาวเครือสดมีปริมาณสารไอโซฟลาโวนอยู่ในช่วง 3.92-172.93 $\mu\text{g/g}$ (Table 1)

นำตัวอย่างกวาวเครือฝงจำนวน 130 ตัวอย่าง ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในย่าน Near Infrared ที่ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร พบว่ากวาวเครือฝงสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 1450 1900 2100 และ 2310 นาโนเมตร (Figure 2) ซึ่งที่ 1450 นาโนเมตร บ่งบอกการสั่นของพันธะ O-H แบบ first overtone stretching ภายในโมเลกุลของน้ำและแป้ง ที่ 1900 นาโนเมตร บ่งบอกการสั่นของพันธะ O-H + 2x C-O stretching ภายในโมเลกุลของแป้งในตัวอย่าง (Osborne *et al.*, 1993) เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารไอโซฟลาโวน พบว่าตัวอย่างกวาวเครือฝงมีปริมาณสารไอโซฟลาโวนอยู่ในช่วง 11.81-318.86 $\mu\text{g/g}$ (Table 1)

สร้างสมการประเมินปริมาณสารไอโซฟลาโวนในกวาวเครือสดและกวาวเครือฝงจากตัวอย่างกวาวเครือสดและกวาวเครือฝง ด้วยวิธี PLS regression แบบ Full cross validation โดยใช้ความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร พบว่าสมการประเมินปริมาณสารไอโซฟลาโวนในกวาวเครือสดมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.81 ค่า SEC = 11.41

$\mu\text{g/g}$ ค่า SEP = 4.40 $\mu\text{g/g}$ ค่า Bias = 1.060 มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องในสมการ (Factor, F) = 9 ปัจจัย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (SD) = 12.09 $\mu\text{g/g}$ มีค่า Regression coefficient ที่ความยาวคลื่น 1152 1450 1620 1765 และ 1900 นาโนเมตร สมการปริมาณสารไอโซฟลาโวนในกวาวเครือฝงมีค่าความสัมพันธ์ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.85 ค่า SEC = 0.23 $\mu\text{g/g}$ ค่า SEP = 0.28 $\mu\text{g/g}$ ค่า Bias = 1.015 มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องในสมการ (Factor, F) = 9 ปัจจัย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (SD) = 5.84 $\mu\text{g/g}$ (Table 2) มีค่า Regression coefficient ที่ความยาวคลื่น 1195 1450 1705 1750 1980 2100 และ 2310 นาโนเมตร สอดคล้องกับ Lau *et. al.* (2009) ทำศึกษากวาวเครือ 2 ชนิดคือ Pueraria lobata (YG) และ Pueraria thomsonii (FG) เพื่อตรวจสอบปริมาณของ puerarin, daidzin และ isoflavonoid ทั้งหมดในตัวอย่าง ผลการวิจัยพบว่า NIRS สามารถทำหน้าที่ตรวจคัดกรองตามปกติในการควบคุมคุณภาพยาสมุนไพรจีนได้ และ Xue *et. al.* (2005) ทำการตรวจหา Puerarin ของกวาวเครืออย่างรวดเร็วด้วยสเปกโทรสโกปีใกล้อินฟราเรดพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองของค่าเฉลี่ยรากของการทำนายสำหรับแบบจำลอง PLS และ ANN เท่ากับ 0.0396 และ 0.0365

การประเมินความถูกต้องแม่นยำของสมการ

จากค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อนำสมการมาใช้ประเมินปริมาณสารไอโซฟลาโวนในกวาวเครือสดในตัวอย่างอื่น พบว่ามีค่า SEP และ Bias ต่ำ เท่ากับ 4.40 $\mu\text{g/g}$ และ 1.060 ตามลำดับ (Figure 3) เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประเมินโดยใช้เทคนิค NIRS กับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีค่าความแตกต่างเท่ากับ -0.11 – 0.42 (Table 3) และ กวาวเครือฝงในตัวอย่างอื่น พบว่ามีค่า SEP และ Bias ต่ำ เท่ากับ 0.28 $\mu\text{g/g}$ และ 1.015 ตามลำดับ (Figure 4) เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประเมินโดยใช้เทคนิค NIRS กับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีค่าความแตกต่างเท่ากับ -0.61 – 1.58 (Table 4) ดังนั้นสามารถนำเทคนิค NIRS มาใช้ประเมินปริมาณสารไอโซฟลาโวนในกวาวเครือสดและกวาวเครือฝงเพื่อการแบ่งระดับปริมาณหรือการประมาณค่าเบื้องต้นโดยใช้เวลารวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง

Table 4 The characteristics of samples used in model for Isoflavone content of in fresh Kwao Kruea and Kwao Kruea powder

Items	fresh Kwao Kruea	Kwao Kruea powder
Min – Max	3.92-172.93	11.81-318.86
Mean	30.54	67.20
SD	12.09	5.84
Number	120	130
Unit	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$

Table 5 The statistical analysis of NIRS model to predict Isoflavone content of in fresh Kwao Kruea and Kwao Kruea powder by the Unscrambler program

product	Wavelength (nm)	N	R	SEC	SEP	Bias	F	SD
Fresh Kwao Kruea	1000-2500	100	0.81	11.41	4.40	1.060	9	12.09
Kwao Kruea powder	800-2500	100	0.85	0.23	0.28	1.015	9	5.84

R: Coefficient of correlation F: The number of factors used in the calibration equation SEC: Standard error of calibration

SEP: Stand error of prediction Bias: The average difference between actual value and NIRS value SD: Standard deviation of average

Table 6 The Validation of Isoflavone content in fresh Kwao Kruea by using NIRS

Samples	Method to determine Isoflavone contents		d (x-y)	d ² (x-y) ²
	Reference Method	NIR Prediction		
	X	Y		
1	13.77	13.35	0.42	0.1764
2	12.03	11.99	0.04	0.0016
3	4.02	4.11	-0.09	0.0081
4	6.74	6.85	-0.11	0.1210
5	7.24	7.19	0.05	0.0025
6	3.36	3.42	-0.06	0.0036
7	6.65	6.72	-0.07	0.0049
8	25.35	25.22	0.13	0.0169
Total	79.16	78.85	0.31	0.335
Average	9.89	9.86	0.039	0.0418

Table 7 The Validation of Isoflavone content in Kwao Kruea powder by using NIRS

Samples	Method to determine Isoflavone contents		d (x-y)	d ² (x-y) ²
	Reference Method	NIR Prediction		
	X	Y		
1	71.10	70.05	1.05	1.1025
2	32.76	33.02	-0.26	0.0676
3	61.90	60.32	1.58	2.4964
4	99.92	99.98	-0.06	0.0036
5	13.45	13.22	0.23	0.0529
6	21.33	20.13	1.20	1.4400
7	41.42	42.03	-0.61	0.3721
8	34.22	33.96	0.26	0.6760
Total	376.1	372.71	3.39	6.2111
Average	47.01	46.59	0.42	0.7764

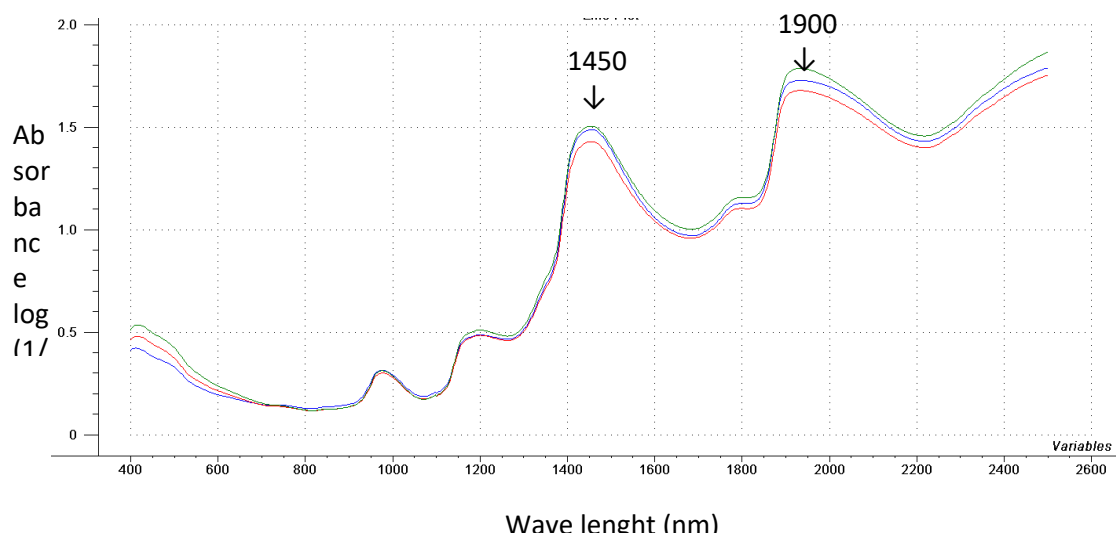


Figure 4 The Original NIR spectra of fresh Kwao Kruea at 400-2500 nm

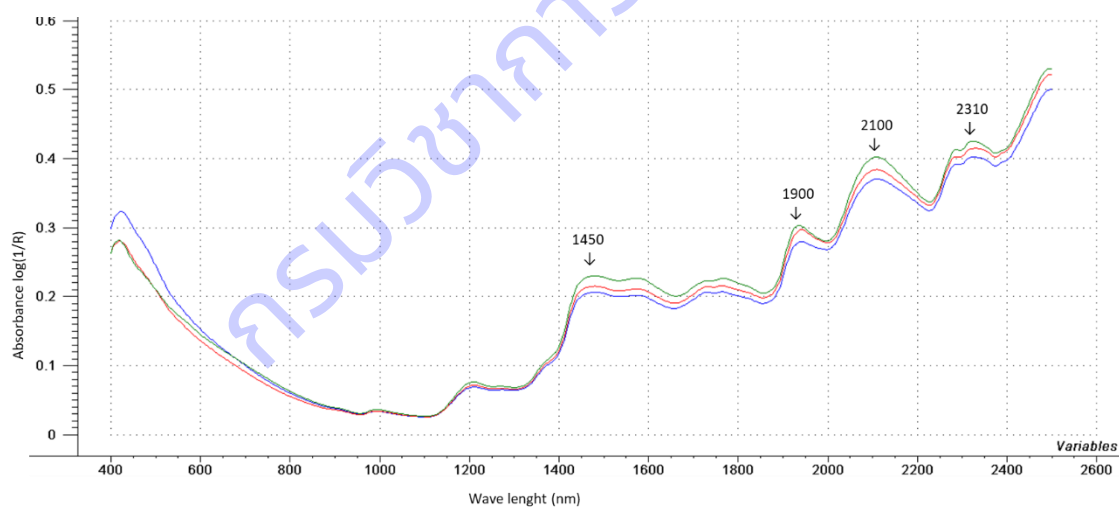


Figure 5 The Original NIR spectra of Kwao Kruea powder at 400-2500 nm

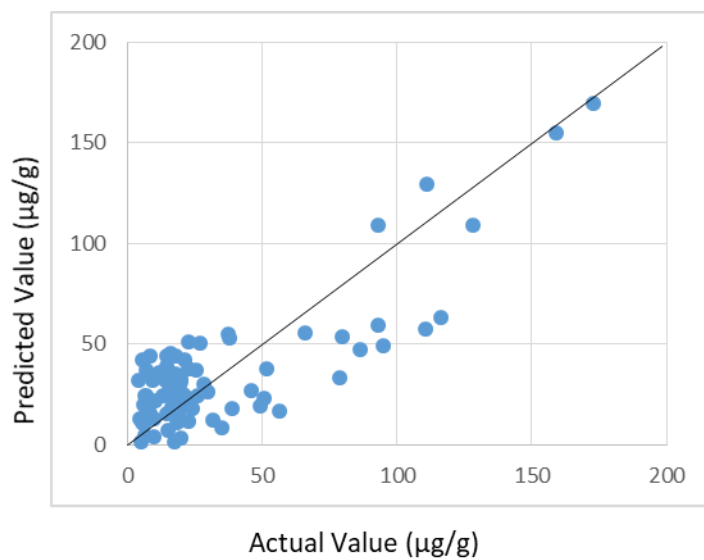


Figure 6 The relationship of actual Isoflavone content in fresh Kwao Kruea and predicted Isoflavone content from NIR

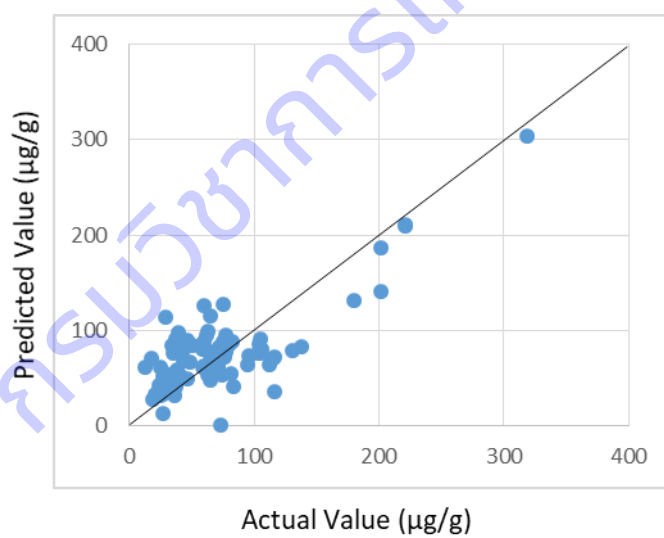


Figure 7 The relationship of actual Isoflavone content in Kwao Kruea powder and predicted Isoflavone content from NIR

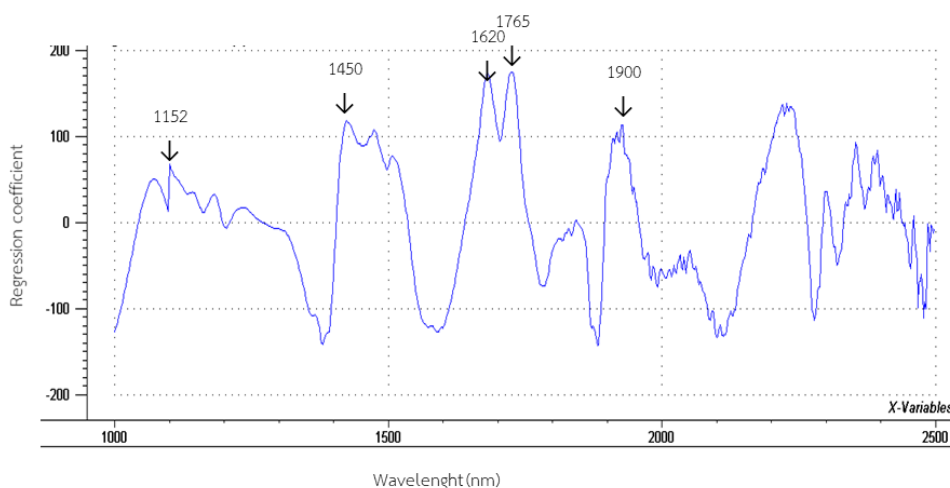


Figure 8 Regression coefficient for calibration model to predict Isoflavone content in fresh Kwao Kruea samples

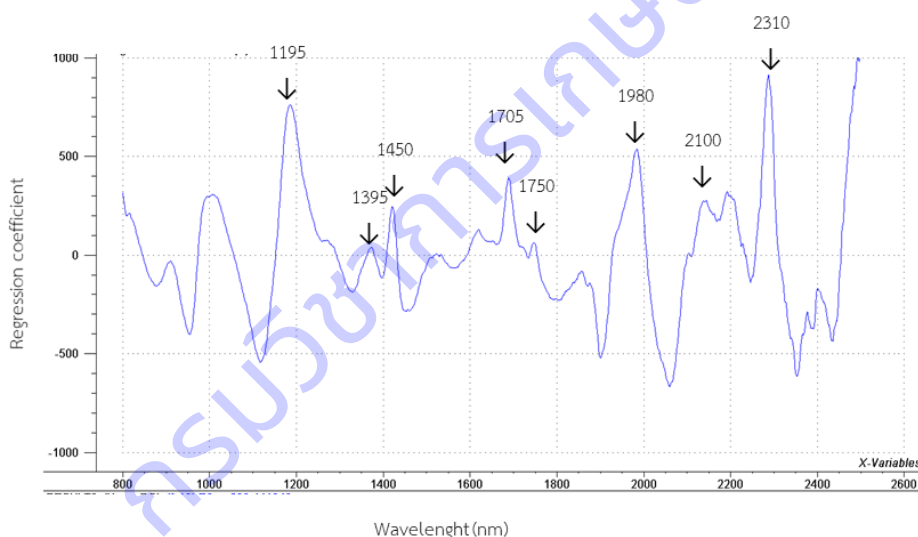


Figure 9 Regression coefficient for calibration model to predict Isoflavone content in Kwao Kruea powder samples

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สมการที่ได้จากเทคนิค NIRS โดยใช้เครื่อง Near Infrared spectrometer รุ่น 6500 ของบริษัท FOSS สามารถใช้ในการประเมินปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันผง ที่ช่วงคลื่น 400-2500 นาโนเมตร ใช้ระบบสะท้อนแสง มีค่า R 0.93 SEP 2.82 เปอร์เซ็นต์ และ SEC 2.44 เปอร์เซ็นต์ และมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 8 ปัจจัย สามารถใช้ในการประเมินปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันผงได้ในระดับเพื่อ งานวิจัยและงานทั่วไปได้ ในช่วง 0.76-43.18 เปอร์เซ็นต์ สามารถประเมินปริมาณสารไอโซฟลาโวนใน กวาวเครือสดที่ช่วงคลื่น 1000-2500 นาโนเมตร และผลิตภัณฑ์ช่วงคลื่น 800-2500 นาโนเมตร ใช้ระบบ สะท้อนแสง มีค่า R 0.81 และ 0.85 ตามลำดับ มีค่า SEP = 4.40 และ 0.28 ไมโครกรัมต่อกรัม

ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีอ้างอิง คือ 12.09 และ 5.84 ไมโครกรัมต่อกรัม ค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ (Standard Error of Calibration, SEC) คือ 11.41 และ 0.23 ไมโครกรัมต่อกรัม และมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 9 ปัจจัย สมการที่ได้นี้สามารถใช้ในการประเมินปริมาณสารไอโซฟลาโวนในกวาวเครือสดและผลิตภัณฑ์ได้ในระดับการทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณหรือประเมินค่าเบื้องต้น ในช่วง 3.92-172.93 และ 11.81-318.86 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สมการที่ได้จากเทคนิค NIRS โดยใช้เครื่อง Near Infrared spectrometer รุ่น 6500 ของบริษัท FOSS สามารถใช้ในการประเมินปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันผง ที่ช่วงคลื่น 400-2500 นาโนเมตร ใช้ระบบสะท้อนแสงได้ในระดับเพื่องานวิจัยและงานทั่วไปได้ ในช่วง 0.76-43.18 เปอร์เซ็นต์ สามารถประเมินปริมาณสารไอโซฟลาโวนในกวาวเครือสดที่ช่วงคลื่น 1000-2500 นาโนเมตร และผลิตภัณฑ์ช่วงคลื่น 800-2500 นาโนเมตร ใช้ระบบสะท้อนแสงได้ในระดับการทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณหรือประเมินค่าเบื้องต้น ในช่วง 3.92-172.93 และ 11.81-318.86 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

บรรณานุกรม

- ณัฐณัญช์ สุนทรานุสร. 2556. กราฟเทียบมาตรฐานในการหาปริมาณเคอร์คูมินอยด์โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.
- บัญญัติ สุขศรีงาม. 2543. ขมิ้น. [ออนไลน์] [อ้างถึงเมื่อ 4 มกราคม 2548] เข้าถึงได้จาก: http://www.elib-online.com/docyors/herb_curcuma01.html สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 26 กรกฎาคม 2557
- พิทยา สรวมศิริ. 2551. อุตสาหกรรมพืชเครื่องเทศ. ภาควิชาพืชสวน. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ยุทธนา สว่างอารมณ์ กมลวรรณ ศุภวิญญู ศิลป์ชัย มณีขัติย์. 2555. การเพิ่มศักยภาพการเลี้ยงปลาหมอไทยด้วยการเสริมกวาวเครือขาวในสูตรอาหารเพื่อผลิตอาหารปลอดภัยสำหรับการบริโภค. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 59 น.
- ศุมาพร เกษมสำราญ วราภรณ์ อภิวัฒน์ภวิวัฒน์ พิลาณี ไถถนอมสัจย์ และ นางวารุณี ธนะแพสย์. 2557. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการการตรวจสอบปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชันแบบรู้ผลเร็วด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- สัจจะ ประสงค์ทรัพย์. 2555. กวาวเครือขาว. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. เข้าถึงได้จาก : <http://th.apoc12.com> [อ้างถึงเมื่อ วันที่ 25 สิงหาคม 2557]
- สำนักงานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2543. สมุนไพรไทยที่ใช้ในงานสาธารณสุขมูลฐาน : ขมิ้น. [ออนไลน์] [อ้างถึงเมื่อ 15 ธันวาคม 2547] เข้าถึงได้จาก : <http://www.medplant.mahidol.ac.th/pubhealth/curcuma.html> พิทยา, 2551

Osborne, B. G., Hindle, P.H. and Fearn, T. 1986. "Near Infrared Spectroscopy in food

- analysis, Longman Scientific and Technical, Essex, England.
- Lau, C. C., Chan, C. O., Chau, F. T., and Daniel, K. W. M. 2009. Rapid analysis of Radix puerariae by near-infrared spectroscopy. J Chromatogr A. 13;1216(11):2130-5.
- Osborne, B.G., T. Feam and P.H. Hindle. 1993. Practical NIR Spectroscopy with applications in food and beverage analysis, 2nd Edition. Longman Scientific and Technical, Singapore. 227.
- Pei-Yin Zhan, Xue-Hua Zeng, He-Ming Zhang, Hai-Hang Li. 2011. High-efficient column chromatographic extraction of curcumin from *Curcuma longa*. Food Chemistry 129(2011) 700-703. <https://123docz.net//document/1591351-high-efficient-column-chromatographic-extraction-of-curcuma-longa.htm>, 19 May 2011.
- Xu, M.E., Xiao S.Z., Sun Y.H., Zheng X.X., Ou-Yang Y. and Guan C. 2005. The study of anti-metabolic syndrome effect of puerarin in vitro. Life Sci. 77: 3183-3196

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการแคลิเบรชันด้วยค่า R

ค่า R	ความสามารถของสมการแคลิเบรชัน
± 0.5	ไม่ควรใช้ในการทำนาย
$\pm 0.51 - 0.70$	ความสัมพันธ์ไม่ดีพอ
$\pm 0.71 - 0.80$	การทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ
$\pm 0.81 - 0.90$	การทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณหรือประมาณค่าเบื้องต้น
$\pm 0.91 - 0.95$	การทำนายเพื่องานวิจัยและงานทั่วไป
$\pm 0.96 - 0.98$	การทำนายเพื่อการประกันคุณภาพ
± 0.99 ขึ้นไป	ทุกงาน

ที่มา : รณฤทธิ์ (2552)

ตารางผนวกที่ 2 ลักษณะทางเคมีของการดูดซับแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ในย่าน NIRS

Wavelength (nm)	Bond vibration	Structure	Wavelength (nm)	Bond vibration	Structure
713	C-H str. fourth overtone	benzene	1500	N-H str. first overtone	NH
738	C-H str. fourth overtone	ROH	1510	N-H str. first overtone	protein
740	C-H str. fourth overtone	CH ₃	1520	O-H str. first overtone	CONH ₂
746	C-H str. fourth overtone	CH ₂	1520	N-H str. first overtone(intramol,H-bond)	ROH
747	O-H str. third overtone	ArOH	1528	O-H str. first overtone(intramol,H-bond)	starch
760	O-H str. third overtone	H ₂ O	1530	N-H str. first overtone	RNH ₂
762	C-H str. fourth overtone	CH ₂	1533	C-H str. first overtone	C=H
779	N-H str. third overtone	RNH ₂	1540	O-H str. first overtone(intramol,H-bond)	starch
790	N-H str. third overtone	ArNH ₂	1570	N-H str. first overtone	-CONH-
806	N-H str. third overtone	RNH ₂	1580	O-H str. first overtone(intramol,H-bond)	starch, glucose
808	2xN-H str.+2xN-H def.+2xC-N str	RNHR'	1620	C-H str. first overtone	=CH ₂
815	N-H str. third overtone	RNHR'	1645	C-H str. first overtone	R-CH=CH \ / O
832	2xN-H str.+2xN-H def.+2xC-N str	RNHR'			
840	3xC-H str. +2xC-C str.	benzene			
874	C-H str. third overtone	benzene	1660	C-H str. first overtone	cis-RCH=CHR'
880	C-H str. third overtone	CHCl ₃	1685	C-H str. first overtone	aromatic
900	C-H str. third overtone	CH ₃	1695	C-H str. first overtone	CH ₃
910	C-H str. third overtone	protein	1705	C-H str. first overtone	CH ₃
913	C-H str. third overtone	CH ₂	1725	C-H str. first overtone	CH ₂
928	C-H str. third overtone	oil	1740	S-H str. first overtone	-SH
938	C-H str. third overtone	CH ₂	1765	C-H str. first overtone	CH ₂
970	O-H str. second overtone	ROH,H ₂ O	1780	C-H str. first overtone	cellulose
990	O-H str. second overtone	starch	1820	O-H str.+2xC-O str.	cellulose
1000	O-H str. second overtone	ArOH	1900	O-H str.+2xC-O str.	starch
1015	2xC-H str.+3xC-H def.	CH ₃	1900	C=O str. second overtone	-CO ₂ H
1020	2xN-H str.+2 amide I	protein	1908	O-H str. first overtone	POH
1020	N-H str. second overtone	ArNH ₂	1920	C=O str. second overtone	CONH
1030	N-H str. second overtone	RNH ₂	1940	O-H str.+O-H def.	H ₂ O
1037	2xC-H str.+2xC-H def.+(CH ₂) _n	oil	1950	C=O str. second overtone	-CO ₂ R
1053	2xC-H str.+2xC-H def.+(CH ₂) _n	CH ₂	1960	N-H asym.str.+amide II	CONH ₂
1060	N-H str. second overtone	RNH ₂	1980	N-H asym.str.+amide II	protein
1080	2xC-H str.+2 xC-C str.	benzene	2000	2xO-H def.+C-O def.	starch
1097	2xC-H str.+2 xC-C str.	cyclopropane	2000	N-H sym.str.+amide II	CONH ₂ , CONHR
1143	C-H str. second overtone	aromatic	2030	C=O str. second overtone	CONH ₂
1152	C-H str. second overtone	CH ₃	2050	N-H sym.str.+amide II	protein
1170	C-H str. second overtone	HC=CH	2050	N-H asym.str.+amide III	CONH ₂
1195	C-H str. second overtone	CH ₃	2080	O-H str.+O-H def.	ROH, sucrose, starch
1215	C-H str. second overtone	CH ₂	2100	2xOH def.+2xC-O str.	starch
1225	C-H str. second overtone	CH	2110	N-H sym.str.+amide III	CONH ₂ , CONHR
1360	2xC-H str.+C-H def.	CH ₃	2132	N-H str.+C=O str.	amino acid
1395	2xC-H str.+C-H def.	CH ₂	2140	=C-H str.+C=C str.	HC=CH
1410	O-H str. first overtone	ROH	2150	2 x amidel+amidelll	CONH ₂
1415	2xC-H str.+C-H def.	CH ₂	2160	2 x amidel+amidelll	CONHR
1417	2xC-H str.+C-H def.	aromatic	2180	2 x amidel+amidelll	protein
1420	O-H str. first overtone	ArOH	2190	CH ₂ asym.str.+C=O str.	HC=CH
1430	N-H str. first overtone	CONH ₂	2200	C-H str.+C=O str.	-CHO
1440	O-H str. first overtone	sucrose, starch	2242	N-H str.+NH ₃ ⁺ def.	amino acid
1440	2xC-H str.+C-H def.	CH	2252	O-H str.+O-H def.	starch
1446	2xC-H str.+C-H def.	aromatic	2276	O-H str.+C-C str.	starch
1450	O-H str. first overtone	starch, H ₂ O	2280	C-H str.+C-H def.	CH ₃
1460	N-H str. first overtone	CONH ₂	2294	NH str.+C=O str.	amino acid
1471	N-H str. first overtone	CONHR	2310	C-H str.+C-H def.	CH ₂
1480	O-H str. first overtone(intramol,H-bond)	glucose	2323	C-H str.+C-H def.	CH ₂
1483	N-H str. first overtone	CONH ₂	2336	C-H str.+C-H def.	cellulose
1490	N-H str. first overtone	CONHR	2347	CH ₂ sym. str.+CH ₂ def.	HC=CH CH ₂
1490	NH str. first overtone(intramol,H-bond)	CONH ₂	2352	C-H def. second overtone	cellulose
1490	O-H str. first overtone(intramol,H-bond)	cellulose	2380	O-H def. second overtone	ROH
1492	N-H str. first overtone	ArNH ₂	2461	C-H str.+C-C str.	Starch

Source : Osborne (1986)