



รายงานโครงการวิจัย

การประเมินคุณภาพผักและผลไม้สดโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรด  
สเปกโตรสโคปี

Evaluate the Quality of Fresh Vegetables and Fruits by  
Near Infrared Spectroscopy

หัวหน้าโครงการวิจัย

นางสาวปรางค์ทอง กวานห้อง

Ms. Prangthong Kwanhong

ปี พ.ศ. 2564



รายงานโครงการวิจัย

การประเมินคุณภาพผักและผลไม้สดโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรด  
สเปกโตรสโคปี

Evaluate the Quality of Fresh Vegetables and Fruits by  
Near Infrared Spectroscopy

หัวหน้าโครงการวิจัย

นางสาวปรางค์ทอง กวานห้อง

Ms. Prangthong Kwanhong

ปี พ.ศ. 2564

## คำปรารภ

รายงานโครงการวิจัยเรื่อง “การประเมินคุณภาพผักและผลไม้สดโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี” เป็นรายงานผลงานวิจัยซึ่งคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตั้งแต่เดือนตุลาคม 2563 ถึง เดือนธันวาคม 2564 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสมการในการประเมินปริมาณสารไลโคพีนในผลมะเขือเทศสด สารแคปไซซินในพริกสด และสารคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟคั่ว อย่างรวดเร็วและปลอดภัย ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ซึ่งเป็นเทคนิคที่ไม่มีการทำลายตัวอย่าง ใช้เวลาน้อย และไม่ต้องใช้สารเคมี สำหรับเป็นทางเลือกในการประเมินหาปริมาณสารสำคัญในผลิตภัณฑ์เกษตร นอกเหนือไปจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการที่ต้องใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ และมีค่าใช้จ่ายสูง ซึ่งเนื้อหาในรายงานเล่มนี้จะกล่าวถึงที่มาของประเด็นปัญหาวัตถุประสงค์ ขอบเขตงาน วิธีดำเนินการ และผลการดำเนินการวิจัย พร้อมข้อสรุป ทั้งนี้ คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานเล่มนี้จะมีประโยชน์แก่นักวิจัย นักวิชาการเกษตร ตลอดจนกลุ่มเกษตรกรผู้ประกอบการ และผู้สนใจโดยทั่วไป จะได้ศึกษาและนำข้อมูลเทคโนโลยีนี้ไปต่อยอดหรือประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป



(นางสาวปรังค์ทอง กวานห้อง)

หัวหน้าโครงการวิจัย

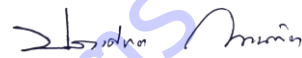
## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	1
ผู้วิจัย.....	2
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	3
บทนำ.....	4
บทคัดย่อ.....	10
บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	20
บรรณานุกรม.....	29
ภาคผนวก.....	34

กรมวิชาการเกษตร

### กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ทั้งนี้เพราะได้รับการสนับสนุนจากหลายฝ่ายด้วยกัน ได้แก่ ผู้ให้ทุนวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เจ้าหน้าที่ของกรมวิชาการเกษตรที่ช่วยอำนวยความสะดวกในงานเอกสารและการเงิน เกษตรกรและผู้ประกอบการผู้ให้ความเอื้อเฟื้อในการเข้าไปคัดเลือกผลิตผลมาทำงานวิจัย คณะผู้เชี่ยวชาญ นักวิชาการ เจ้าหน้าที่ และพี่ ๆ น้อง ๆ ผู้ช่วยวิจัยในกองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ที่ช่วยสนับสนุนทั้งด้านการทำงานวิจัย งานเอกสาร การเงิน และอื่น ๆ นอกจากนี้ ยังมีผู้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนในด้านต่าง ๆ แต่มิได้เอ่ยนามไว้ ซึ่งล้วนแต่มีส่วนส่งเสริมให้โครงการวิจัยนี้ดำเนินงานจนเป็นผลสำเร็จ ซึ่งคณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้



(นางสาวปรังค์ทอง กวานห้อง)

หัวหน้าโครงการวิจัย

กรมวิชาการเกษตร

## ผู้วิจัย

### หัวหน้าโครงการวิจัย

นางสาวปรานค์ทอง กวานห้อง สังกัด กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

### ผู้ร่วมโครงการ

นางสาวจารุรัตน์ พุ่มประเสริฐ สังกัด กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

นายภัทระ ลูกรักษ์ สังกัด กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

นางสาวอรวรรณ จิตต์ธรรม สังกัด ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันกระบี่

นายนฤเทพ เวชภิบาล สังกัด กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

นางศิริกานต์ ศรีธัญรัตน์ สังกัด กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

นายโกเมศ สัตยาวัธ สังกัด กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

NIR	Near infrared
NIRS	Near infrared spectroscopy
FQA	Fruit quality analyzer
HPLC	High performance liquid chromatography
DW	Dry weight
Cset	Calibration set
Vset	Validation set
PLSR	Partial least square regression
R <sup>2</sup>	Coefficient of determination
R	Correlation coefficient
RMSEC	Root mean square error of calibration
RMSECV	Root mean squared error of cross validation
RMSEP	Root mean square errors of prediction
SEC	Standard error of calibration
SEP	Standard error of prediction
Bias	Average of difference between actual value and NIR value
SD	Standard deviation
F	The number of factors used in the calibration equation
RPD	Residual predictive deviation

## บทนำ

ผักและผลไม้จัดเป็นอาหารที่ช่วยในเรื่องการรักษาสุขภาพ เพราะไม่เพียงมีรสชาติที่ดี แต่ยังมีสารอาหารที่อุดมสมบูรณ์ การรับประทานผักและผลไม้ในสภาพที่มีคุณภาพดีและยังคงคุณค่าทางอาหารสูงเป็นหนึ่งในความต้องการที่สำคัญของผู้บริโภค การวัดคุณภาพผักและผลไม้ส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นไปที่คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส (ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รูปร่าง และขนาด) คุณค่าทางโภชนาการ (โปรตีน วิตามิน น้ำตาล ความเป็นกรด สารอาหารสำคัญ) ตำหนิที่ส่งผลต่อคุณภาพ เป็นต้น มะเขือเทศ พริก และกาแฟ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการบริโภคและการนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในรูปแบบผลิตภัณฑ์แปรรูป จึงนับว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ โดยในขั้นตอนการเก็บเกี่ยว การขนส่ง การเก็บรักษาในระหว่างรอการขนส่งหรือจำหน่าย หรือการแปรรูป อาจมีปริมาณสารสำคัญที่มีประโยชน์ในปริมาณน้อยหรือมีการสูญเสียออกจากผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ให้สารสำคัญในปริมาณสูง จึงควรทำการตรวจสอบหาปริมาณสารสำคัญ เช่น สารไลโคพีนในมะเขือเทศ สารแคปไซซินในพริก และสารคาเฟอีนในกาแฟ ซึ่งทำได้โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางเคมีในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ การวิเคราะห์หาปริมาณไลโคพีนตามวิธี Kimura method โดยการใช้เครื่อง UV-visible spectrophotometer การหาปริมาณสารแคปไซซินและสารคาเฟอีนโดยการวิเคราะห์ด้วย HPLC ซึ่งในขั้นตอนการวิเคราะห์มีความจำเป็นต้องหั่นหรือบดย่อยทำลายตัวอย่างรวมทั้งต้องใช้เวลาในการเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์เป็นเวลานาน ต้องใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายและมีค่าใช้จ่ายสูง อีกทั้งต้องใช้ผู้ที่มีความรู้และความชำนาญสูงในการตรวจสอบ ในอุตสาหกรรมการผลิตผักและผลไม้ในปัจจุบัน จึงมีความต้องการวิธีการตรวจวัดคุณภาพที่ให้ผลรวดเร็วและไม่ทำลายผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้เทคโนโลยีรังสีเอกซ์ (X-ray) เทคโนโลยีเทระเฮิรตซ์ (terahertz; T-Hz) ถ่ายภาพด้วยคลื่นสนามแม่เหล็ก (magnetic resonance imaging; MRI) เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (electronic nose; E-nose) เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (infrared (IR) spectroscopy) เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (near infrared (NIR) spectroscopy) เป็นต้น ดังนั้น หากสามารถใช้วิธีการประเมินโดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง ไม่ต้องใช้สารเคมี และสามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการตกลงซื้อขาย เพราะสามารถคัดเลือกผักและผลไม้ที่มีปริมาณสารสำคัญและคุณภาพตามความต้องการได้อย่างถูกต้องรวดเร็ว ผู้บริโภคได้สินค้าตามที่ต้องการ และมีความปลอดภัยต่อการบริโภค

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี หรือ NIRS เป็นวิธีการประเมินคุณภาพผลิตผลทางการเกษตรที่ได้รับความนิยมและใช้กับผลิตผลทางพืชสวนหลายชนิด ในปัจจุบันมีหลายประเทศนำระบบ NIRS มาใช้ในโรงคัดบรรจุ เพื่อประเมินคุณภาพและคัดแยกผลิตผลแบบไม่ทำลายตัวอย่าง เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น เนื่องจากเป็นเทคนิคการตรวจสอบที่ใช้ง่าย รวดเร็ว แม่นยำ เชื่อถือได้ สามารถตรวจสอบได้ในสายการผลิต ไม่ต้องการใช้สารเคมีหรือใช้น้อย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยที่เทคนิค NIRS อาศัยหลักการด้านการสั่นของพันธะเคมีที่อยู่ในอินทรีย์สารของผลิตผลในช่วงรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ มีความยาวคลื่นระหว่าง 800-2,500 นาโนเมตร หรือ 12,500-4,000 ต่อเซนติเมตร



มีพลังงานที่สอดคล้องกับพลังงานที่ก่อให้เกิดการสั่นของพันธะ O-H C-H และ N-H ในโมเลกุลของอินทรีย์สาร (Osborne et al., 1993; Nicolai et al., 2007) ซึ่งค่าการดูดกลืนพลังงานแสงดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์แล้วใช้เพื่อทำนายค่าคุณภาพของตัวอย่างทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพได้ (McGlone et al., 2002; Sun et al., 2010)

มะเขือเทศ จัดเป็นพืชตระกูลพริก มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจพืชหนึ่งของประเทศไทยและของโลก มีผู้นิยมบริโภคกันแพร่หลายทั้งในรูปผลสดและผลิตภัณฑ์แปรรูปต่าง ๆ เช่น ซอสมะเขือเทศ น้ำมะเขือเทศ เป็นต้น มะเขือเทศจัดเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูง เป็นแหล่งของธาตุอาหารที่สำคัญ ได้แก่ เหล็ก โพแทสเซียม วิตามินเอ บี และซี (Nonnecke, 1989) อย่างไรก็ตาม คุณค่าทางอาหารของมะเขือเทศที่สำคัญ คือ วิตามินเอ ในรูปของแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุในมะเขือเทศให้สีส้มแดง 2 ชนิด คือ บีตา-แคโรทีน และไลโคพีน ที่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ โดยพบไลโคพีนมากกว่าร้อยละ 85 ของรงควัตถุทั้งหมดในผลมะเขือเทศ (Emin, 2001; Riadh et al., 2011) ซึ่งส่วนของผิวเปลือกของผลมะเขือเทศที่เป็นสีแดงพบว่าเป็นองค์ประกอบของไลโคพีนในช่วงร้อยละ 80-90 ของสารสีทั้งหมด และสารสีนี้จะเพิ่มขึ้น 10-14 เท่า เมื่อผลมะเขือเทศสุก (Binoy et al., 2004) สำหรับผลมะเขือเทศผลสุก สามารถพบปริมาณไลโคพีนตั้งแต่ 0.9-9.3 กรัมในมะเขือเทศสด 100 กรัม (Tawfik, 2001) จึงเป็นหนึ่งในสารต้านอนุมูลอิสระที่มีศักยภาพมากที่สุดในหมู่แคโรทีนอยด์ในอาหาร การบริโภคมะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่มีสารไลโคพีนสูงจึงมีส่วนช่วยในการลดความเสี่ยงของการเกิดโรคเรื้อรัง (chronic disease) เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular disease: CDV) (Agarwal and Rao, 2000)

พริก เป็นสินค้าเกษตรที่นิยมบริโภคอย่างแพร่หลาย มีการผลิตเพื่อการบริโภคโดยตรง และใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารหลายรูปแบบ ได้แก่ การทำยา การปรุงแต่งกลิ่นและรสของอาหาร จึงมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ (รุ่งนภา, 2560) เนื่องจากคนไทยนิยมรับประทานอาหารที่มีรสค่อนข้างเผ็ด จึงมีการใช้พริกเป็นส่วนประกอบอาหารและเป็นเครื่องปรุงรสที่สำคัญ รวมทั้งแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่า เช่น เครื่องแกงสำเร็จรูป ซอสพริก และน้ำพริก เป็นต้น เพราะนอกจากพริกจะช่วยให้เจริญอาหาร นำไปประกอบอาหารได้หลากหลายชนิด และทำให้อาหารมีสีสวยงามแล้ว พริกยังมีคุณค่าอาหารสูง เช่น โปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ อีกด้วย โดยสารประกอบที่ให้ความเผ็ดในพริกมีชื่อว่า แคปไซซิน ซึ่งถูกสร้างจากส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ตรงบริเวณมุมระหว่างเยื่อแกนกลางผลและผนังผล ปริมาณของสารแคปไซซินจะมีความแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น พันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว แหล่งปลูก สภาพอากาศ และการดูแลรักษา และพบว่าระยะการสุกแก่ของผลพริกเกี่ยวข้องกับปริมาณสารที่ให้ความเผ็ด ผลอ่อนมีปริมาณสารที่ให้ความเผ็ดน้อย ปริมาณสารที่ให้ความเผ็ดเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 50 ในระยะผลแก่ ทั้งนี้ ในทางการค้าจะใช้ปริมาณแคปไซซินเป็นดัชนีในการกำหนดราคาซื้อขายของพริก (Pandhair and Sharma, 2008)

กาแฟ เป็นเครื่องดื่มที่ทำมาจากเมล็ดซึ่งได้จากต้นกาแฟ หรือที่มักเรียกว่า เมล็ดกาแฟคั่ว ในปัจจุบันมีการปลูกกาแฟมากกว่า 70 ประเทศทั่วโลก ในประเทศไทย มีผลผลิตกาแฟในปี 2561/62

จำนวน 34,894 ต้น ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี 2560/61 ซึ่งมีจำนวน 24,742 ต้น หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 41.03 (กรมการค้าภายใน, 2561) กาแฟถือได้ว่าเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมแพร่หลายไปทั่วโลก ประชาชนนิยมบริโภคในชีวิตประจำวัน สาเหตุเพราะความรู้สึกล้นหลังจากการดื่มกาแฟแล้ว จะทำให้เกิดความรู้สึกสดชื่นกระปรี้กระเปร่าและช่วยทำให้หายง่วงซึมในขณะที่เรียนหรือทำงาน อีกทั้งยังมีรูปแบบในการนำเสนอหรือวิธีการชงเพื่อให้ได้รสชาติที่หลากหลาย โดยสารสำคัญที่มีฤทธิ์กระตุ้นระบบประสาทส่วนกลางและทำให้ร่างกายเกิดความตื่นตัวที่มีอยู่ในกาแฟ คือ สารคาเฟอีน ซึ่งเป็นสารแทนนินอัลคาลอยด์ตามธรรมชาติ พบได้ในอาหารหลายชนิดและเครื่องดื่มชนิดต่าง ๆ เช่น ชา ช็อกโกแลตที่ผลิตจากโกโก้ และเครื่องดื่มโคล่า เป็นต้น

สารไลโคพีน (lycopene) เป็นสารสารพฤกษเคมี (phytochemical) ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พบมากตามธรรมชาติในผักและผลไม้ที่มีสีแดงหรือสีชมพู เช่น มะเขือเทศ แดงโม เกรพฟรุ๊ต สีส้มพู (pink grapefruit) ฝรั่งไส้แดง เป็นต้น มีบทบาทสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงของพืช รวมทั้งสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำ เช่น สาหร่าย รา แบคทีเรีย และเป็นสารตั้งต้นสำคัญทางชีวภาพเพื่อการสังเคราะห์สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ชนิดอื่น เช่น บีตา-แคโรทีน แซนโทฟิลล์ (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2562ข) ไลโคพีนเป็นสารแคโรทีนอยด์ชนิดเดียวที่พบว่ามีปริมาณมากที่สุดในกระแสเลือดและร่างกายมนุษย์คิดเป็นปริมาณมากกว่าร้อยละ 50 โดยมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งจะช่วยลดความผิดปกติและความเสื่อมของเซลล์อันเนื่องมาจากการทำลายของอนุมูลอิสระจึงสามารถป้องกันเซลล์ในอวัยวะต่าง ๆ ที่มีสารไลโคพีนอยู่ ขณะที่เบต้าแคโรทีนและแคโรทีนอยด์อื่น ๆ มีบทบาทช่วยเสริมการทำงานของไลโคพีนให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นในการทำลายอนุมูลอิสระ (Riadh et al., 2011; Binoy et al., 2004) ซึ่งสารประกอบกลุ่มแคโรทีนอยด์นี้ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์เองได้ ดังนั้นจึงต้องรับประทานเข้าสู่ร่างกายในรูปของผักและผลไม้ (ไพบูลย์, 2547) โดยปริมาณไลโคพีนที่พบในผักผลไม้จะมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาสุกและสีของผลที่เปลี่ยนไป โดยแหล่งของไลโคพีนส่วนใหญ่จะพบในผลมะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ เช่น มะเขือเทศต้ม ซอสมะเขือเทศ มะเขือเทศเข้มข้น มะเขือเทศผง น้ำมันมะเขือเทศ เป็นต้น (ซีนหทัย, 2548) ทั้งนี้ มะเขือเทศพันธุ์เนื้อสีแดงมีปริมาณไลโคพีนมาก ในขณะที่พันธุ์เนื้อสีเหลืองมีปริมาณเบตา-แคโรทีนมาก (D'Souza et al., 1992)

สารแคปไซซิน (capsaicin) เป็นสารสำคัญที่ทำให้พริกเผ็ด สามารถละลายในน้ำได้เล็กน้อย แต่จะละลายได้ดีในไขมัน น้ำมัน และแอลกอฮอล์ เป็นสารไม่มีสี มีลักษณะเป็นน้ำมัน สีส้ม ส้มแดง หรือสีน้ำตาลปนเหลือง (Youngken, 1950; Suzuki and Iwai, 1984) สารแคปไซซินพบมากในบริเวณเยื่อแกนกลางสีขาวหรือที่เรียกว่า “รกพริก” (Placenta) ในส่วนของเนื้อ เปลือก และเมล็ด พริกจะมีสารแคปไซซินอยู่น้อยมาก (Reyes-Escogido et al., 2011) การกระจายตัวของสารแคปไซซินในผลพริกนั้นไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งผล แต่จะกระจายตัวอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของผลพริกในปริมาณที่แตกต่างกัน (Balbaa, et al.1968) ทั้งในเมล็ด เนื้อ และเปลือก โดยพบมากที่สุดบริเวณเยื่อแกนกลางผลของพริก ซึ่งเป็นส่วนที่มีเมล็ดติดอยู่ (Huffman, et al. 1978) อย่างไรก็ตาม สารแคปไซซินจะก่อให้เกิดการระคายเคืองที่ผิวหนังและอวัยวะที่รับรสบริเวณปาก จมูก และท้อง (Bosland, 2000) มีฤทธิ์ช่วย

บรรเทาอาการเจ็บปวด และป้องกันการอักเสบ ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย กระตุ้นการทำงานของกระเพาะอาหาร ให้หลังกรดเกลือเพิ่มมากขึ้น และทำให้ระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดลดลงได้ (นิจศิริ, 2534)

สารคาเฟอีน (caffeine) เป็นสารเมทิลแซนทีน (methylxanthine) ซึ่งเป็นแซนทีนแอลคาลอยด์ เป็นสารที่มีรสขม (bitter) ไม่มีกลิ่น พบได้ในส่วนของใบผลและเมล็ดของพืชมากกว่า 63 ชนิด และเป็นสารเคมีธรรมชาติ (naturally occurring chemical) สำคัญที่พบในเครื่องดื่มประเภทกาแฟ ชา โกโก้ และช็อคโกแลต และยังใช้เป็นส่วนผสมสำคัญในอุตสาหกรรมน้ำอัดลม เครื่องดื่มชูกำลัง และอุตสาหกรรมยา คาเฟอีนมีสูตรโครงสร้างคล้ายคลึงกับแอดโนซีน (adenosine) ซึ่งเป็นสารสื่อประสาทชนิดหนึ่งในสมอง มีฤทธิ์กระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง มีผลทางบวก คือ ทำให้ร่างกายเกิดความตื่นตัวและลดความง่วงได้ แต่การบริโภคคาเฟอีนในปริมาณมากเป็นเวลานานอาจนำไปสู่ภาวะเสพติดคาเฟอีน (caffeinism) ซึ่งจะปรากฏอาการต่าง ๆ ทั้งทางร่างกายและจิตใจ เช่น กระสับกระส่าย วิดุกังวอล กล้ามเนื้อกระตุก นอนไม่หลับ หัวใจเต้นแรง ใจสั่น เป็นต้น นอกจากนี้การบริโภคคาเฟอีนเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดแผลในกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็กอักเสบ และโรคน้ำย่อยไหลย้อนกลับ (gastroesophageal reflux disease) ปัสสาวะบ่อย (De Man, 1990; ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร, 2562ก) ทั้งนี้ เมล็ดกาแฟที่ผลิตจากแต่ละพื้นที่มีลักษณะสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น ความสูง รวมทั้งมีพันธุกรรมที่แตกต่างกัน ทำให้สารอินทรีย์ที่ถูกสะสมไว้แตกต่างกัน ส่งผลให้รสชาติกาแฟของแต่ละพื้นที่แตกต่างกันด้วย (Hagos et al., 2018) นอกจากนี้ การแปรรูปเมล็ดกาแฟยังส่งผลต่อปริมาณสารคาเฟอีนด้วย โดย Matora and Beyene (2017) ได้ศึกษาปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟคั่วแล้วพบว่า การคั่วกาแฟทำให้เมล็ดกาแฟมีปริมาณคาเฟอีนเพิ่มขึ้น

ในการตรวจวิเคราะห์หาสารสำคัญในผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เช่น โลโคพีน แคปไซซิน และคาเฟอีน ซึ่งเป็นคุณภาพภายในที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยตาเปล่าจากลักษณะภายนอก จำเป็นต้องใช้วิธีการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เช่น การวิเคราะห์หาปริมาณโลโคพีนสามารถทำได้หลายวิธีการ ได้แก่ การวิเคราะห์หาปริมาณสารโลโคพีนตามวิธี Kimura method โดยนำตัวอย่างมาเติมตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตนและเฮกเซนในอัตราส่วน 4:6 (v/v) เพื่อสกัดสารโลโคพีน จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 663 645 505 และ 453 นาโนเมตร (Nagata and Yamashita, 1992) การวิเคราะห์หาปริมาณโลโคพีนตามวิธีของ Taungbodhitham et al. (1998) โดยการนำตัวอย่างไปสกัดโดยใช้เอทานอลและเฮกเซนในอัตราส่วน 4:3 โดยปริมาตร แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลโคพีนด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร การหาปริมาณสารแคปไซซินด้วย HPLC ดัดแปลงวิธีของ Hisashi (1999) และ Neil (1977) การใช้เทคนิค HPLC ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารคาเฟอีนตามวิธีของ Hagos et al. (2018) เป็นต้น ซึ่งวิธีการวิเคราะห์เหล่านี้ต้องใช้สารเคมีและระยะเวลาในการสกัด ใช้ผู้ที่มีความรู้และความชำนาญสูงในการตรวจสอบ และมีค่าใช้จ่ายสูง ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตผักและผลไม้ในปัจจุบันมีความต้องการการตรวจวัดคุณภาพที่รวดเร็วและ

ไม่ทำลายผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี โดยที่เทคนิค NIRS เป็นเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาใช้ประเมินค่าเพื่อเป็นทางเลือกนอกเหนือไปจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เพราะสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว สะดวก และปลอดภัย

ที่ผ่านมา มีการศึกษาการใช้เทคนิค NIRS สำหรับการประเมินและตรวจสอบเพื่อหาสารสำคัญชนิดต่าง ๆ เช่น การใช้เทคนิค VIS/NIRS (visible/near-infrared reflectance spectroscopy) ในการประเมินคุณภาพผลมะเขือเทศพันธุ์ DRK 453 และ Trust ได้แก่ ปริมาณไลโคพีน ค่าอัตราส่วน  $a^*/b^*$  ratio ค่า tomato color index (TCI) และค่าความแน่นเนื้อ โดยพบว่า โมเดลที่มีผลการทำนายค่าดีที่สุด ให้ค่า  $R^2$  ของปริมาณไลโคพีน ค่าอัตราส่วน  $a^*/b^*$  ratio ค่า TCI และค่าความแน่นเนื้อ เท่ากับ 0.93 0.99 0.99 และ 0.97 ตามลำดับ (Chen, 2008) การศึกษาเพื่อประเมินคุณภาพน้ำมะเขือเทศพันธุ์ลูกผสมสายพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศฮังการี ได้แก่ ปริมาณ soluble solids (SSC) ปริมาณไลโคพีน และปริมาณ polyphenol โดยใช้เทคนิค VIS/NIR spectral reflectance ด้วยเครื่อง FieldSpec HandHeld 2™ portable spectroradiometer โดยผลของความถูกต้องในการทำนายค่าพิจารณาจากค่า  $R^2$  ของ calibration (สมการทำนายค่ามาตรฐาน; C) และ cross-validation (สมการตรวจสอบการทำนายค่า; CV) และค่า RMSEC และค่า RMSECV พบว่า ค่าทำนายของปริมาณ SSC ไลโคพีน และ polyphenols ให้ค่า  $R^2$  ของ C เท่ากับ 0.88 0.91 และ 0.81 ตามลำดับ ค่า  $R^2$  ของ CV เท่ากับ 0.77 0.75 และ 0.72 ตามลำดับ ค่า RMSEC เท่ากับ 0.39 องศาบริกซ์ 1.27 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม และ 6.53 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม ตามลำดับ และค่า RMSECV เท่ากับ 0.51 องศาบริกซ์ 1.99 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม และ 7.63 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม ตามลำดับ (Szuwandzsi et al., 2014) นอกจากนี้ ยังมีการใช้เทคนิค NIRS ในช่วงความยาวคลื่น 930-1,650 นาโนเมตร เพื่อทำนายค่าปริมาณไลโคพีนและวิตามินซีในผลมะเขือเทศพันธุ์ Newton พบว่า โมเดลที่ใช้ทำนายค่าที่ให้ความถูกต้องมากที่สุดในการศึกษารั้งนี้คือ ค่า RMSECV เท่ากับ 2.26 ไมโครกรัมต่อกรัม ค่า  $R_{cv}$  เท่ากับ 0.840 และค่า RPD เท่ากับ 1.835 สำหรับการทำนายค่าปริมาณไลโคพีน และค่า RMSECV เท่ากับ 1.087 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่า  $R_{cv}$  เท่ากับ 0.818 และค่า RPD เท่ากับ 1.701 สำหรับการทำนายค่าปริมาณวิตามินซี (Azadshahraki et al., 2018) ในการศึกษาเทคนิค NIRS ในกาแฟ พบว่า Downey and Boussion (1996) ได้ใช้เทคนิค NIRS ในการระบุพันธุ์กาแฟระหว่าง Arabica และ Robusta โดยใช้ช่วงความยาวคลื่น 400-2,498 นาโนเมตร และยังมีการใช้เทคนิค FT-IR (fourier transform infrared) เพื่อหาปริมาณคาเฟอีนในช่วงความยาวคลื่น 2,500-12,500 นาโนเมตร (Garrigues et al., 2000) ส่วน Huck et al. (2005) ใช้เทคนิค NIRS ศึกษาปริมาณ caffeine theobromine และ theophylline ในช่วงความยาวคลื่น 1,000-2,495 นาโนเมตร ขณะที่ Pizarro et al. (2007) ใช้ NIRS เพื่อทำนายค่าปริมาณคาเฟอีนและสีของเมล็ดกาแฟที่ได้จากการคั่ว (roasting color) ในช่วงความยาวคลื่น 1,000-2,495 นาโนเมตร นอกจากนี้ Alessandrini et al. (2008) ได้ใช้เทคโนโลยี NIRS เพื่อทำนายระดับความเข้มในการคั่ว (roasting degree) ในช่วงความยาวคลื่น 830-2,500 นาโนเมตร และ Zhang et al. (2013) ใช้เทคโนโลยี NIRS เพื่อศึกษาปริมาณคาเฟอีนในช่วงความยาวคลื่น 1,000-2,500 นาโนเมตร

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้ คือ เพื่อหาสมการในการประเมินหาปริมาณสารไลโคพีนในผลมะเขือเทศสด สารแคปไซซินในพริกสด และสารคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟคั่ว อย่างรวดเร็วและปลอดภัยด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ระยะเวลาสั้น ปลอดภัย และไม่ต้องทำลายตัวอย่าง จึงเป็นวิธีการทางเลือกอีกวิธีการหนึ่งนอกเหนือไปจากการตรวจสอบวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการที่ต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน ใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย และมีค่าใช้จ่ายสูง

งานวิจัยประกอบด้วย 3 การทดลอง แยกตามชนิดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีวิธีการวิจัย ดังนี้

1. การประเมินปริมาณสารไลโคพีนในมะเขือเทศโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ทำโดยนำตัวอย่างผลมะเขือเทศพันธุ์ที่มีขนาดผลใหญ่ จำนวน 4 พันธุ์ คือ พันธุ์เทเบิล (table) โทมัส (thomas) เนื้อ (red) และท้อ (plum) ที่ระยะผลสีเขียวจนถึงสีแดงเข้ม จากแหล่งต่าง ๆ จำนวนไม่ต่ำกว่า 200 ตัวอย่าง มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา ที่มีช่วงความยาวคลื่นสั้นระหว่าง 600-1,100 นาโนเมตร แล้วจึงนำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณภาพในห้องปฏิบัติการ โดยทำการวัดสีในระบบ  $L^* a^* b^*$  และหาปริมาณสารไลโคพีนตามวิธี Kimura method (Nagata and Yamashita, 1992) จากนั้น สร้างและปรับปรุงสมการเทียบมาตรฐานเบื้องต้นจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนพลังงานที่ได้จากการสแกนผลมะเขือเทศด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา และค่าวิเคราะห์อ้างอิงในห้องปฏิบัติการ จนได้สมการสำหรับใช้ทำนายค่าวัดสี  $a^*$  (สีเขียว/แดง) และปริมาณไลโคพีน

2. การประเมินปริมาณสารแคปไซซินในพริกโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ทำโดยนำตัวอย่างพริกสดพันธุ์ต่าง ๆ เช่น จินดา ซุปเปอร์ฮอท เป็นต้น จากแหล่งผลิตและร้านค้าในจังหวัดต่าง ๆ จำนวนไม่ต่ำกว่า 100 ตัวอย่าง มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง NIR spectrometer รุ่น 6500 ที่มีช่วงความยาวคลื่น 400-2,500 นาโนเมตร แล้วจึงนำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณสารแคปไซซินในห้องปฏิบัติการด้วย HPLC ซึ่งวิธีการสกัดดัดแปลงวิธีของ Marla et al. (2014) จากนั้น สร้างและปรับปรุงสมการเทียบมาตรฐานเบื้องต้นจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนพลังงานที่ได้จากการสแกนพริกด้วยเครื่อง NIR และค่าวิเคราะห์อ้างอิงในห้องปฏิบัติการ จนได้สมการที่มีความแม่นยำในการประเมินปริมาณสารแคปไซซินในพริกสด

3. การประเมินปริมาณสารคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟคั่วโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ทำโดยนำตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่วพันธุ์อราบิก้าและโรบัสตา จากแหล่งต่าง ๆ จำนวนไม่ต่ำกว่า 100 ตัวอย่าง มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง NIR spectrometer รุ่น 6500 ที่มีช่วงความยาวคลื่น 400-2,500 นาโนเมตร แล้วจึงนำเมล็ดกาแฟคั่วไปวิเคราะห์ปริมาณสารคาเฟอีน ดัดแปลงตามวิธีของ Hagos et al. (2018) จากนั้น สร้างและปรับปรุงสมการเทียบมาตรฐานเบื้องต้นจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนพลังงานที่ได้จากการสแกนพริกด้วยเครื่อง NIR และค่าวิเคราะห์อ้างอิงในห้องปฏิบัติการ จนได้สมการที่มีความแม่นยำในการประเมินปริมาณสารคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟคั่ว



### บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้ ศึกษาการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี หรือ NIRS เพื่อประเมินปริมาณสารสำคัญในผลิตผลเกษตร ได้แก่ สารไลโคพีนในผลมะเขือเทศสด สารแคปไซซินในพริกสด และสารคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟคั่ว สำหรับเป็นวิธีการทางเลือกในการประเมินค่าคุณภาพที่รวดเร็ว ปลอดภัย และไม่สร้างความเสียหายแก่ผลิตผล ดำเนินการทดลองระหว่างเดือนตุลาคม 2563 ถึงเดือนธันวาคม 2564 ณ กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตรกรรมวิชาการเกษตร โดยเป็นการสร้างสมการเทียบมาตรฐานเบื้องต้นที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่วัดจากเทคนิค NIRS กับค่าวิเคราะห์อ้างอิงในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองพบว่า ในการประเมินหาปริมาณสารไลโคพีนในมะเขือเทศสดโดยการทำนายค่าจากค่าวัดสี  $a^*$  (สีเขียว/แดง) และปริมาณไลโคพีน มีค่าความแม่นยำในการทำนายค่าของสมการในระดับการทำนายค่าเพื่องานวิจัยและงานทั่วไป และระดับการทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณหรือประมาณค่าเบื้องต้น ตามลำดับ โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ของสมการเทียบมาตรฐานของค่า  $a^*$  และสารไลโคพีน ที่มีค่าเท่ากับ 0.93 และ 0.90 ส่วนสมการที่ได้สำหรับการประเมินปริมาณสารแคปไซซินในผลพริกสดสีแดง มีค่า R เท่ากับ 0.74 แสดงว่า มีความแม่นยำอยู่ในระดับการทำนายค่าเพื่อการแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ ในช่วง 540-1,993 ไมโครกรัมต่อกรัม ขณะที่สมการสำหรับประเมินปริมาณสารคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟคั่ว มีค่า R สูงถึง 0.98 จึงมีความแม่นยำของการทำนายค่าอยู่ในระดับที่สามารถนำไปทำนายเพื่อการประกันคุณภาพในช่วง 0.01-2.19 กรัมต่อร้อยกรัมของน้ำหนักแห้ง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ:** เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี แสงย่านใกล้อินฟราเรด มะเขือเทศ พริก เมล็ดกาแฟคั่ว ไลโคพีน แคปไซซิน คาเฟอีน

## Abstract

This research was to study the use of near infrared spectroscopy (NIRS) techniques to estimate some essential substances in agricultural products. Evaluation of lycopene in fresh tomatoes, capsaicin in fresh chillies and caffeine in roasted coffee bean using NIRS were studied to provide an alternative method for fast, safe and non-destructive quality valuation. The study was conducted between October 2020 and December 2021 at Postharvest and Product Processing Research and Development Division, Department of Agriculture. Development of the NIR equation was derived from the relationship between the spectral data measured by the NIRS technique and the reference values from laboratory analysis. The results of the equation analysis were found that the prediction accuracy of calibration equations for the  $a^*$  value and lycopene content of large fresh tomatoes could be used to predict at the level of usable with caution for most applications including research and the level of screening and approximate calibration, respectively base on the correlation coefficient (R) of the calibration equation for the  $a^*$  value and the lycopene content of 0.93 and 0.90, respectively. And the equation of capsaicin determination in fresh chillies had an R-value of 0.74. It showed that the accuracy of calibration equation of capsaicin content in fresh chillies was at the prediction level for rough screening in the range of 540-1,993 micrograms per gram ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Meanwhile, The R-value of caffeine content in roasted coffee bean was 0.98. These results indicating that the calibration equation of caffeine content in roasted coffee beans was in a level of predictive accuracy that can be used in most application including quality assurance in the range of 0.01-2.19 grams per 100 grams dry weight ( $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$  DW).

**Keywords:** Near infrared spectroscopy, NIRS, non-destructive quality, tomato, chili, roasted coffee bean, lycopene, capsaicin, caffeine

## ระเบียบวิธีการวิจัย

### 1. การประเมินปริมาณสารไลโคพีนในมะเขือเทศโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

นำตัวอย่างมะเขือเทศสดพันธุ์ที่มีขนาดผลใหญ่ 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เทเบิล (table) โทมัส (thomas) เนื้อ (red) และท้อ (plum) ที่ระยะผลสีเขียวจนถึงสีแดงเข้ม จากแหล่งต่าง ๆ จำนวนไม่ต่ำกว่า 200 ตัวอย่าง แบ่งตัวอย่างมะเขือเทศออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เป็นตัวแทนสำหรับใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐาน (Cset) คิดเป็นจำนวนร้อยละ 70 ของตัวอย่างทั้งหมด และกลุ่มที่เป็นตัวแทนสำหรับทดสอบความแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้น (Vset) คิดเป็นจำนวนร้อยละ 30 ของตัวอย่างทั้งหมด แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา ที่มีช่วงความยาวคลื่นสั้นระหว่าง 600-1,100 นาโนเมตร และมีอันตรกิริยา (interaction) แบบสะท้อนกลับจากด้านใน (interactance) สามารถวัดสะท้อนลงได้ลึก 0.5-1 เซนติเมตร โดยนำเครื่อง NIRs ทาบบนตัวอย่างบริเวณที่จะทำการวัดสเปกตรัม เลือจุดตรงกลางผล 2 ด้าน จากนั้น นำตัวอย่างที่ไปวิเคราะห์คุณภาพในห้องปฏิบัติการ โดยนำผลมะเขือเทศไปทำการวัดสีในระบบ  $L^* a^* b^*$  ด้วยเครื่องมือวัดสี (Chroma Meter รุ่น CR-400) แล้วจึงนำขึ้นมะเขือเทศบริเวณส่วนที่ทำการวัดหาเส้นสเปกตรัมและสีเปลือกไปหาปริมาณไลโคพีนตามวิธี Kimura method (Nagata and Yamashita, 1992) โดยนำขึ้นเนื้อมะเขือเทศมาสับและปั่นให้ละเอียดในสารละลายผสมของ acetone:hexane (4:6, v/v) ในอัตราส่วน 1:4 โดยตั้งทิ้งไว้นาน 15 นาที ก่อนนำส่วนของสารละลายใส่ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663 645 505 และ 453 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณไลโคพีน [ไลโคพีน ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) =  $-0.0458 \times A_{663} + 0.2040 \times A_{645} + 0.3720 \times A_{505} - 0.0806 \times A_{453}$  เมื่อ  $A_{663}$   $A_{645}$   $A_{505}$  และ  $A_{453}$  คือ ค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 663 645 505 และ 453 นาโนเมตร ตามลำดับ] หลังจากนั้น ทำการสร้างสมการเทียบมาตรฐานเบื้องต้นเพื่อทำนายค่าการวัดสีเขียว/แดง (ค่า  $a^*$ ) และปริมาณไลโคพีน โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนพลังงานที่ได้จากการสแกนผลมะเขือเทศด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา และค่าวิเคราะห์อ้างอิงในห้องปฏิบัติการ ด้วยวิธี PLS ด้วยโปรแกรม The Unscrambler วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของสมการเบื้องต้นจากข้อมูลของกลุ่ม Cset และ Vset โดยพิจารณาจาก ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ที่มีค่าสูงใกล้เคียง 1 รวมทั้งค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการหรือกลุ่ม Cset (SEC) ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมการหรือกลุ่ม Vset (SEP) และค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากเทคนิค NIRS และวิธีการในห้องปฏิบัติการ (bias) ซึ่งควรมีค่าต่ำ จากนั้น นำสมการที่ได้ไปทดสอบโดยการประเมินค่า  $a^*$  และปริมาณสารไลโคพีนในผลมะเขือเทศที่ไม่ได้ใช้ในการสร้างสมการ แล้วเปรียบเทียบกับวิธีอ้างอิงที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ เพื่อยืนยันความถูกต้องแม่นยำของสมการที่ได้ทำการคัดเลือกมา



## 2. การประเมินปริมาณสารแคปไซซินในพริกโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

เก็บตัวอย่างพริกสดพันธุ์ต่าง ๆ เช่น จินดา ซุปเปอร์ฮอท เป็นต้น ที่ระยะสีผลต่าง ๆ กัน คือ ผลสีเขียว สีส้ม และสีแดง จากแหล่งผลิตและร้านค้าในจังหวัดต่าง ๆ จำนวนไม่ต่ำกว่า 100 ตัวอย่าง นำตัวอย่างพริกมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง NIR spectrometer รุ่น 6500 โดยนำตัวอย่างใส่ในอุปกรณ์สำหรับใส่ตัวอย่างของเครื่อง NIRS และทำการสแกนเพื่อเก็บเส้นสเปกตรัมของตัวอย่าง จากนั้น นำไปวิเคราะห์หาสารแคปไซซินในห้องปฏิบัติการด้วย HPLC ตัดแปลงวิธีของ Marla et al. (2014) โดยการเตรียมสารละลายที่จะใช้ในการวิเคราะห์ สกัดตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ นำตัวอย่างที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ แล้วจึงคั่งนำสเปกตรัมและค่าปริมาณสารแคปไซซินที่ได้ไปสร้างสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี PLSR แบบ full cross validation จากโปรแกรม The Unscrambler ทำการคัดเลือกสมการโดยพิจารณาค่า R ที่มีค่าสูงใกล้เคียง 1 ค่า SEC ค่า SEP และค่า bias ที่มีค่าต่ำมาใช้ในการประเมินปริมาณสารแคปไซซิน จากนั้น นำสมการไปประเมินปริมาณสารแคปไซซินในผลิตภัณฑ์พริกสด จำนวน 20 ตัวอย่าง เปรียบเทียบกับค่าการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

กรมวิชาการเกษตร

### 3. การประเมินปริมาณสารคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟคั่วโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

รวบรวมตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่วพันธุ์อะราบิกา และโรบัสตา จากแหล่งต่าง ๆ ทั้งแบบที่ผ่านกระบวนการสกัดคาเฟอีนออก (decaffeinated coffee) และเมล็ดกาแฟคั่วแบบที่ไม่ผ่านกระบวนการสกัดคาเฟอีนออก (regular coffee) จากนั้น นำตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่วที่ผ่านการคัดแยกสิ่งเจือปนออก ตัวอย่างละ 60 กรัม มาบรรจุในเซลล์บรรจุตัวอย่างชนิด coarse sample cell และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง NIR Spectroscopy ที่ความยาวคลื่นระหว่าง 400-2,500 นาโนเมตร โดยใช้ระบบการวัดแบบสะท้อนกลับ แล้วจึงนำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณสารคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟคั่ว ดัดแปลงตามวิธีของ Hagos et al. (2018) โดยนำตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่วมาบดด้วยเครื่องบดเมล็ดกาแฟ ซึ่งตัวอย่างจำนวน 0.2 กรัม ใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 15 มิลลิลิตร นำไปสกัดคาเฟอีนออกด้วยน้ำกลั่น 2 รอบ โดยรอบที่ 1 เติมน้ำกลั่น 5.0 มิลลิลิตร นำไปต้มในเครื่องล้างความถี่สูง (sonicator bath, 40 kHz, 120W) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยผ่านคลื่นเสียงความถี่สูง เป็นเวลา 10 นาที เขย่าและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อให้ผงกาแฟตกตะกอน จากนั้น แยกสารละลายส่วนบน (1<sup>st</sup> supernatant) ออกมาใส่หลอดปั่นเหวี่ยงที่เตรียมไว้ แล้วนำกากกาแฟที่เหลือจากการสกัดรอบที่ 1 ไปสกัดคาเฟอีนออกด้วยน้ำกลั่นรอบที่ 2 แยกสารละลายส่วนบน (2<sup>nd</sup> supernatant) ออกมารวมกับ 1<sup>st</sup> supernatant แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 10 มิลลิลิตร (final supernatant) เขย่าสารละลายให้เข้ากัน เติมสารละลาย 20% (w/v) Lead Acetate จำนวน 200 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ให้สารทำปฏิกิริยา และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อให้ตกตะกอน กรองสารละลายส่วนบนผ่านกระดาษกรองชนิดเซลลูโลสอะซิเตท ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน ใส่ขวดสีชา ขนาด 1.5 มิลลิลิตร และนำไปวิเคราะห์ค่าปริมาณสารคาเฟอีน ด้วยเครื่อง HPLC โดยใช้ Agilent Zorbax Eclipse XDB C-18 column วัฏภาคเคลื่อนที่เป็นสารผสมของอะซิโตรไนโตรล 10% และน้ำ 90% (ปรับสภาพน้ำให้เป็นกรดที่ความเข้มข้น 0.1% ด้วยกรดฟอร์มิก) โดยใช้ DAD detector ที่ความยาวคลื่น 274 นาโนเมตร อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที และคำนวณหาปริมาณคาเฟอีนตาม Equation (1) (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560)

$$\text{Caffeine content (g.100g}^{-1} \text{ DW)} = \frac{\text{concentration } (\mu\text{g.ml}^{-1}) \times \text{dilution volume (ml)}}{\text{sample weight (g)} \times 10^4} \quad (1)$$

สร้างสมการเทียบมาตรฐานจากค่าการดูดกลืนแสงของเครื่อง NIRS และค่าปริมาณสารคาเฟอีนจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ด้วยวิธี PLSR แบบ full cross validation จากโปรแกรม The Unscrambler แล้วคัดเลือกสมการที่มีประสิทธิภาพในการประเมิน โดยพิจารณาจากค่า R ให้มีค่าใกล้เคียง 1 ค่า SEC และค่า SEP ที่มีค่าต่ำ ทำการทดสอบสมการ โดยนำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่วที่ไม่ได้นำมาใช้ในการสร้างสมการจำนวน 25 ตัวอย่าง มาทำนายค่าปริมาณสารคาเฟอีน แล้วจึงประเมินประสิทธิภาพในการทำนาย

## ผลการวิจัยและอภิปรายผล

### 1. การประเมินปริมาณสารไลโคพีนในมะเขือเทศโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างผลมะเขือเทศทั้ง 4 พันธุ์ ที่วัดจากเครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา ในช่วงความยาวคลื่น 600-1,100 นาโนเมตร มีค่าแสดงดัง Figure 1 โดยเห็นเป็นลักษณะสเปกตรัมที่คล้ายกัน คือ สังเกตเห็นพีคซึ่งเป็นการดูดกลืนแสงของน้ำที่ความยาวคลื่น 970 นาโนเมตรอย่างชัดเจน (Osborne et al., 1993) เนื่องจากมะเขือเทศมีองค์ประกอบของน้ำอยู่ถึงร้อยละ 84 (จรรยาพร, 2546) อย่างไรก็ตาม ยังสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมที่เกี่ยวข้องกับสารสีเขียว/แดง (ค่า  $a^*$ ) ของสารคลอโรฟิลล์เอและไลโคพีน ในช่วงความยาวคลื่น 640-670 นาโนเมตร (Kerry et al., 2020) โดยมะเขือเทศที่มีผลสีเขียว (ค่าไลโคพีนต่ำ) จะมีค่าสเปกตรัมในช่วงคลื่นดังกล่าวสูงกว่าพวกที่มีผลสีแดง (ค่าไลโคพีนสูง) ทั้งนี้ ตัวอย่างมะเขือเทศที่วัดค่าการดูดกลืนแสงแล้ว เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ค่าวัดสีความเป็นสีเขียว/แดง (ค่า  $a^*$ ) และปริมาณไลโคพีน พบว่า ค่า  $a^*$  จากตัวอย่างจำนวน 566 ตัวอย่าง มีค่าระหว่าง -15.56 ถึง 37.91 ส่วนปริมาณไลโคพีนจากตัวอย่างจำนวน 538 ตัวอย่าง มีค่าระหว่าง 0.05 ถึง 14.11 ไมโครกรัมต่อกรัม (Table 1) โดยมะเขือเทศมีค่า  $a^*$  และปริมาณไลโคพีนที่สอดคล้องกัน คือ มีค่าต่ำเมื่อผลมีสีเขียว และมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมะเขือเทศมีผลสีแดงมากขึ้น สำหรับผลการสร้างสมการเทียบมาตรฐานเพื่อทำนายค่า  $a^*$  และปริมาณไลโคพีนในผลมะเขือเทศสด พบว่า ค่าความสัมพันธ์ของสมการทำนายค่า  $a^*$  มีค่า R ของกลุ่ม Cset เท่ากับ 0.93 ค่า SEC และค่า bias เท่ากับ 3.34 และ  $-3.34 \times 10^{-7}$  ตามลำดับ ส่วนกลุ่ม Vset มีค่า R เท่ากับ 0.92 ขณะที่ค่า SEP และ bias เท่ากับ 2.91 และ  $-0.16$  ตามลำดับ สำหรับสมการทำนายค่าไลโคพีน มีค่า R ของกลุ่ม Cset เท่ากับ 0.90 ค่า SEC และ bias เท่ากับ 1.48 และ  $12.72 \times 10^{-7}$  ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนกลุ่ม Vset มีค่า R เท่ากับ 0.89 ค่า SEP และ bias เท่ากับ 1.46 และ  $-0.15$  ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (Table 2) โดยกราฟการกระจายตัว (scatter plot) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $a^*$  และปริมาณไลโคพีน ของค่าอ้างอิงจากห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบกับค่าทำนายในกลุ่ม Cset และ Vset (Figure 2A and B) แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลกระจายตัวที่อยู่ใกล้เส้นเป้าหมาย บ่งบอกถึงความถูกต้องในการทำนายค่า ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) ของสมการทำนายค่า  $a^*$  และปริมาณไลโคพีนในผลมะเขือเทศสด (Figure 3A and B) พบว่า มีการดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับการเกิดสารสีเขียว/แดง ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 640-670 นาโนเมตร ซึ่งมีพีคของค่าแคโรทีนอยด์ (บีตา-แคโรทีน และไลโคพีน) รวมถึงคลอโรฟิลล์เอและบี นอกจากนี้ ยังพบตำแหน่งความยาวคลื่นที่ 840 และ 960 นาโนเมตร ซึ่งมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างน้ำ (Osborne et al., 1981) และเมื่อพิจารณาจากค่า R ของสมการเทียบมาตรฐานเบื้องต้นของค่า  $a^*$  และไลโคพีนที่พบว่า ค่า R ของกลุ่ม Cset มีค่า 0.93 และ 0.90 ตามลำดับ ขณะที่กลุ่ม Vset มีค่าเท่ากับ 0.92 และ 0.89 ตามลำดับ นำไปเทียบกับตารางแปลความหมายค่า R ของ Williams (2007) สามารถตีความได้ว่า สมการทำนายค่า  $a^*$  มีความแม่นยำเพียงพอสำหรับนำไปใช้ในระดับการทำนายค่าเพื่องานวิจัยและงานทั่วไป ส่วนสมการทำนายค่าไลโคพีนอยู่ในระดับการ

ทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณหรือประมาณค่าเบื้องต้น (Table 3) และเมื่อนำสมการทำนายค่า  $a^*$  และปริมาณไลโคพีนที่ได้ไปใช้ทดสอบความแม่นยำ โดยการสแกนเพื่อวัดค่าการดูดกลืนแสง (สเปกตรัม) ของตัวอย่างผลมะเขือเทศสดที่ไม่ได้นำมาใช้ในการสร้างสมการด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา แล้วนำไปคำนวณกับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการจนได้ออกมาเป็นค่าทำนาย จากนั้น นำค่าทำนายที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ค่าความแตกต่างของค่า  $a^*$  จากค่าอ้างอิงกับค่าทำนาย มีค่าระหว่าง -14.40 ถึง 12.12 ส่วนค่าความแตกต่างของปริมาณไลโคพีนจากค่าอ้างอิงกับค่าทำนาย มีค่าระหว่าง -3.11 ถึง 2.67 ไมโครกรัมต่อกรัม (Figure 4) และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 วิธี ด้วย paired t-test พบว่า ค่าอ้างอิงกับค่าทำนายของค่า  $a^*$  และปริมาณไลโคพีน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนการพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าอ้างอิงกับค่าทำนายของค่า  $a^*$  และปริมาณไลโคพีน พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.71 และ 0.71 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สมการที่ทดสอบได้ให้ความแม่นยำในการประเมินค่า  $a^*$  และไลโคพีนอยู่ในระดับการทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ (Table 3) จากการศึกษาในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่า เทคนิค NIRS มีความแม่นยำเพียงพอสำหรับใช้ทำนายค่าสี  $a^*$  (สีเขียว/แดง) และปริมาณไลโคพีนอย่างหยาบ แต่ยังไม่แม่นยำมากพอจะนำไปใช้เพื่อทดแทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสาเหตุอาจเป็นเพราะความแตกต่างกันของสภาพทางกายภาพภายนอกของผลผลมะเขือเทศ เช่น สี ความหนาและลักษณะของผนังผล และองค์ประกอบภายในผล เช่น ปริมาณน้ำ ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด ปริมาณสารต่าง ๆ เพราะผลิตภัณฑ์แต่ละผลมีความหลากหลายและไม่สม่ำเสมอ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการตอบสนองที่มีต่อแสง NIR (Williams and Norris, 2001) รวมทั้งข้อจำกัดของเครื่องมือ (เครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา) ที่สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ในช่วงความยาวคลื่นสั้น (600-1,100 นาโนเมตร) แต่ช่วงความยาวคลื่นหลักที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับค่าไลโคพีนสอดคล้องกับเครื่องมือในช่วงคลื่นยาว (400-2,500 นาโนเมตร) ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีผลทำให้ค่าสเปกตรัมที่วัดได้ยังมีความคลาดเคลื่อน จึงส่งผลต่อความแม่นยำในการทำนายค่าของสมการเมื่อนำไปทดสอบการใช้งานจริง สอดคล้องกับการศึกษาของ กฤตกร และคณะ (2552) ที่กล่าวว่า ความยาวคลื่นช่วงยาวให้ผลการสร้างสมการที่ดีกว่าช่วงความยาวคลื่นสั้น

## 2. การประเมินปริมาณสารแคปไซซินในพริกโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

เก็บตัวอย่างพริกสดที่มีสีต่าง ๆ กัน คือ ผลสีเขียว สีส้ม และสีแดง จากตลาดค้าปลีก มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง NIR spectrometer รุ่น 6500 ที่ความยาวคลื่น 400-2,500 นาโนเมตร ใช้ระบบสะท้อนแสง พบว่า ได้ลักษณะของเส้นสเปกตรัมที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงเลือกศึกษาเฉพาะพริกสดสีแดงเนื่องจากพริกสีแดงมีการนำไปใช้ประโยชน์ที่หลากหลายกว่าสีอื่น ๆ โดยเมื่อนำตัวอย่างพริกสดสีแดงจากตลาดค้าปลีกจำนวน 150 ตัวอย่าง มาวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้เส้นสเปกตรัมของตัวอย่างพริกสด (Figure 5) และนำตัวอย่างเดียวกันนี้ไปวิเคราะห์หาปริมาณสารแคปไซซินในห้องปฏิบัติการ ด้วยวิธีวิเคราะห์ In-house's method (HPLC) ดัดแปลงจาก Marla et al. (2014) (Table 4) นำสเปกตรัมต้นแบบและค่าวิเคราะห์ที่ได้ไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี PLSR แบบ full cross validation จากโปรแกรมสำเร็จรูป The Unscrambler® version 9.7 พบว่า สมการจากตัวอย่างพริกสด จำนวน 125 ตัวอย่าง มีค่า R เท่ากับ 0.74 และค่า SEP เท่ากับ 226 ไมโครกรัมต่อกรัม (Figure 6) ขณะที่ค่า SEC เท่ากับ 204 ไมโครกรัมต่อกรัม และค่า SD ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี In-house's method คือ 302 ไมโครกรัมต่อกรัม โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 6 ปัจจัย (Table 5) มีค่า regression coefficient สูงที่ความยาวคลื่น 1,143 1,460 1,725 และ 1,820 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณ aromatic  $\text{CH}_2$   $\text{CONH}_2$  และ cellulose (Osborne, 1986) (Figure 7) ของสารแคปไซซินในตัวอย่างพริกสด และเมื่อนำสมการที่ได้ไปทดสอบประสิทธิภาพในการประเมินปริมาณสารแคปไซซินในตัวอย่างพริกสดจำนวน 20 ตัวอย่าง และนำผลที่ได้จากเทคนิค NIRS ไปเปรียบเทียบค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิง พบว่า ค่าความแตกต่างของปริมาณสารแคปไซซินจากทั้ง 2 วิธี อยู่ระหว่าง -376 ถึง 722 ไมโครกรัมต่อกรัม (Table 6) สอดคล้องกับ สุมาพร (2557) ซึ่งศึกษาการใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีในการวัดปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในยาสมุนไพรขมิ้นชันที่ขายในร้านขายยา พบว่า สามารถใช้ได้ในระดับการประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชันได้อย่างรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง

### 3. การประเมินปริมาณสารคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟคั่วโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่ว โดยใช้ระบบการวัดแบบสะท้อนกลับที่ความยาวคลื่น 400-2,500 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง NIR spectrometer รุ่น 6500 ได้เส้นสเปกตรัมของเมล็ดกาแฟคั่ว (Figure 8) โดยช่วงความยาวคลื่นที่ใช้เพื่อสร้างสมการเทียบมาตรฐานดังกล่าว ไม่พบการรบกวนที่มีต่อคลื่นเนียร์อินฟราเรด (noise incidence) แต่พบว่าตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่วมีการดูดกลืนแสงไม่เท่ากันตลอดทั้งสเปกตรัม ซึ่งมักเกิดจากความแตกต่างกันของปริมาณส่วนประกอบของอินทรีย์สารที่อยู่ในตัวอย่าง (Awotwe-Otoo et al., 2018) และเมล็ดกาแฟคั่วสามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุดที่ความยาวคลื่น 1,128 1,672 2,250 และ 2,332 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของโมเลกุลคาเฟอีน (Downey et al., 1996) (Figure 9) เมื่อนำตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่วมาสกัดและวิเคราะห์ปริมาณสารคาเฟอีนด้วยวิธี HPLC พบว่า ตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่วที่นำมาใช้ในการสร้างสมการประเมินปริมาณสารคาเฟอีนมีระดับปริมาณสารคาเฟอีนในระดับต่าง ๆ ในช่วง 0.01-2.19 กรัมต่อร้อยกรัมของน้ำหนักแห้ง (Table 7) จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานด้วยวิธี PLSR จากโปรแกรม The Unscrambler® version 9.7 โดยใช้ตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่วจำนวน 152 ตัวอย่าง พบว่า ได้สมการประเมินปริมาณสารคาเฟอีนที่มีค่า R เท่ากับ 0.98 ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง บ่งชี้ได้ว่าสามารถนำสมการไปใช้ทำนายเพื่อการประกันคุณภาพได้ (Williams, 2007) (Table 3) ส่วนค่า SEC SEP และ bias เท่ากับ 0.08 0.09 และ -0.002 กรัมต่อร้อยกรัมของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยมีปัจจัยเกี่ยวข้องจำนวน 12 ปัจจัย (Table 8 and Figure 10) อย่างไรก็ตาม สามารถพัฒนาสมการได้โดยการเพิ่มเติมตัวอย่างในการทำสมการให้มากขึ้น ซึ่งอาจทำให้สมการที่พัฒนาขึ้นมีค่าสมการที่ดีขึ้นและมีความแม่นยำมากขึ้นได้ เมื่อทำการทดสอบสมการจากกลุ่มตัวอย่างภายนอก โดยนำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่วซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ได้นำมาใช้สร้างสมการจำนวน 25 ตัวอย่าง มาทำนายค่าปริมาณสารคาเฟอีน เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประเมินโดยใช้เทคนิค NIRS กับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีค่าความแตกต่างระหว่าง -0.17 ถึง 0.19 (Table 9) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทั้งสองวิธีด้วย paired t-test พบว่า ค่าที่ได้จากการประเมินโดยใช้เทคนิค NIRS กับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเมื่อพิจารณาจากค่า RPD ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างค่า SD ของปริมาณคาเฟอีนในชุดทดสอบสมการต่อค่า SEP พบว่า มีค่า 5.0 ซึ่งงานวิจัยของ Nicolai et al. (2007) และ Dong et al. (2015) ได้อธิบายว่า สมการเทียบมาตรฐานที่มีค่า RPD สูงจัดว่าเป็นสมการที่มีประสิทธิภาพในการทำนาย (Table 10) ดังนั้น จึงสามารถนำเทคนิค NIRS มาใช้ประเมินปริมาณสารคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟคั่วได้

## สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

### 1. การประเมินปริมาณสารไลโคพีนในมะเขือเทศโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

การประเมินปริมาณไลโคพีนในผลมะเขือเทศขนาดผลใหญ่ 4 พันธุ์ คือ เทเบิล โทมัส เนื่อ และท้อ โดยใช้สมการเทียบมาตรฐานเบื้องต้นในการทำนายค่า  $a^*$  และปริมาณไลโคพีน ด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา ที่มีอันตรกิริยาแบบสะท้อนกลับจากด้านในของช่วงความยาวคลื่นสั้นระหว่าง 600-1,100 นาโนเมตร พบว่า มีความแม่นยำเพียงพอสำหรับนำไปใช้ในระดับการทำนายค่าเพื่องานวิจัยและงานทั่วไป และระดับการทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณหรือประมาณค่าเบื้องต้นตามลำดับ และเมื่อนำสมการที่ได้ไปทดสอบการทำนายค่าในผลมะเขือเทศที่ไม่ได้ใช้ในการสร้างสมการ พบว่า มีความแม่นยำในการทำนายค่าในระดับการทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณอย่างหยاب ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สมการที่สร้างได้ยังมีประสิทธิภาพไม่มากพอจะนำไปใช้ทดแทนการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือที่วัดได้เฉพาะช่วงความยาวคลื่นสั้น ในขณะที่สเปกตรัมหลักของสารไลโคพีนสอดคล้องกับเครื่องมือที่อยู่ในช่วงคลื่นยาว (ความยาวคลื่นระหว่าง 400-2,500 นาโนเมตร แต่หากต้องการประเมินปริมาณสารไลโคพีนแบบหยาบ ๆ อย่างรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง การใช้เทคนิค NIRS ด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพานี้ มีความแม่นยำเพียงพอที่จะใช้ในการทำนายค่าได้

### 2. การประเมินปริมาณสารแคปไซซินในพริกโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

สมการประเมินปริมาณสารแคปไซซินในตัวอย่างพริกสดที่ช่วงคลื่น 400-2,500 นาโนเมตร ใช้ระบบสะท้อนแสง โดยใช้เครื่อง NIR spectrometer รุ่น 6500 ของบริษัท FOSS มีค่า R เท่ากับ 0.74 ค่า SEC และ SEP เท่ากับ 204 และ 226 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 6 ปัจจัยสามารถใช้ในการประเมินปริมาณสารแคปไซซินในตัวอย่างพริกสดได้ในระดับการทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณอย่างหยابได้ในช่วง 540-1,993 ไมโครกรัมต่อกรัม

### 3. การประเมินปริมาณสารคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟคั่วโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

การประเมินปริมาณสารคาเฟอีนของเมล็ดกาแฟคั่วด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี โดยระบบการวัดแบบสะท้อนกลับ ในช่วงความยาวคลื่น 400-2,500 นาโนเมตร ความยาวคลื่นที่สำคัญสำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณสารคาเฟอีน คือ 1,128 1,672 2,250 และ 2,332 นาโนเมตร โดยสมการเทียบมาตรฐาน PLSR สามารถทำนายปริมาณสารคาเฟอีนในช่วง 0.01-2.19 กรัมต่อร้อยกรัมของน้ำหนักแห้ง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีไปใช้ประเมินปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟคั่ว และเป็นแนวทางเพื่อนำไปสู่การสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคและอุตสาหกรรมกาแฟต่อไป



### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี หรือ NIRS มาใช้ในการประเมินปริมาณสารสำคัญในผลิตผลเกษตรในงานวิจัยครั้งนี้ พบว่า สมการเทียบมาตรฐานเบื้องต้นสำหรับประเมินปริมาณไลโคพีนในผลมะเขือเทศขนาดผลใหญ่โดยการทำนายค่าวัดสี  $a^*$  (ค่าสีเขียว/แดง) และปริมาณสารไลโคพีน ด้วยเครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา ในช่วงความยาวคลื่น 600-1,100 นาโนเมตร มีความแม่นยำเมื่อนำไปทดสอบการทำนายค่าในผลมะเขือเทศที่ไม่ได้ใช้ในการสร้างสมการในระดับการทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ ส่วนสมการประเมินปริมาณสารแคปไซซินในตัวอย่างพริกสดในช่วงความยาวคลื่น 400-2,500 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง NIR spectrometer รุ่น 6500 มีความแม่นยำสามารถใช้ในการประเมินปริมาณสารแคปไซซินในตัวอย่างพริกสดได้ในระดับการทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบได้ในช่วง 540-1,993 ไมโครกรัมต่อกรัม ขณะที่การประเมินปริมาณสารคาเฟอีนของเมล็ดกาแฟคั่วด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ด้วยเครื่อง NIR spectrometer รุ่น 6500 ในช่วงความยาวคลื่น 400-2,500 นาโนเมตร มีความแม่นยำของสมการในระดับที่สามารถนำไปทำนายเพื่อการประกันคุณภาพของปริมาณสารคาเฟอีนในช่วง 0.01-2.19 กรัมต่อร้อยกรัมของน้ำหนักแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เทคนิค NIRS สามารถนำมาใช้ในการประเมินผลิตผลเกษตรทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ มีข้อดี คือ เป็นวิธีการตรวจสอบคุณภาพที่ไม่สร้างความเสียหายแก่ผลิตผล ตรวจสอบได้รวดเร็ว ช่วยประหยัดเวลา มีความปลอดภัย และในระยะยาวสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ แต่ต้องมีการสร้างและพัฒนาสมการเทียบมาตรฐานเบื้องต้นที่มีความแม่นยำ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำนายค่าหรือตรวจสอบคุณภาพของผลิตผลได้ดีหรือใกล้เคียงกับค่าวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ อย่างไรก็ตาม ในการสร้างสมการทำนายค่าด้วยเทคนิค NIRS ในผลิตผลเกษตร ยังคงมีข้อจำกัดที่ส่งผลให้สมการที่ได้มีความแม่นยำไม่มากพอจะนำไปใช้ในการประเมินที่ต้องการความถูกต้องสูง ซึ่งสาเหตุอาจเป็นเพราะความแตกต่างกันของสภาพทางกายภาพภายนอกของผลิตผลโดยเฉพาะผลิตผลสด เช่น สี ความหนาและลักษณะของผนังผล และองค์ประกอบภายในผล เช่น ปริมาณน้ำ ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด ปริมาณสารต่าง ๆ เพราะผลิตผลสดแต่ละผลมีความหลากหลายและไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งข้อจำกัดของเครื่องมือ เช่น เครื่อง FQA-NIR Gun แบบพกพา ที่ใช้ได้เฉพาะช่วงความยาวคลื่นสั้นระหว่าง 600-1,100 นาโนเมตร ทำให้มีผลต่อค่าสเปกตรัมที่วัดได้ และส่งผลต่อความแม่นยำในการทำนายค่าของสมการเทียบมาตรฐานเมื่อนำไปทดสอบการใช้งานจริง ดังนั้น ในการพัฒนาสมการทำนายค่าด้วยเทคนิค NIRS ให้มีความแม่นยำสูง จำเป็นต้องมีการเก็บตัวอย่างเพิ่มขึ้นและปรับปรุงสมการอย่างต่อเนื่องเพื่อลดความหลากหลายและเพิ่มความแม่นยำของสมการ



**Table 1** Green/red value (a\*) and lycopene content in various tomatoes.

Items	a* value					Lycopene ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )				
	Table	Thomas	Red	Plum	Total	Table	Thomas	Red	Plum	Total
Number	78	132	194	162	566	57	125	194	162	538
Min	-1.66	6.33	6.43	-15.56	-15.56	0.66	0.59	0.53	0.05	0.05
Max	30.75	37.29	32.25	37.91	37.91	5.45	7.96	11.94	14.11	14.11
Mean	18.15	22.53	22.76	18.87	20.58	2.28	3.82	6.69	7.03	4.96
SD	6.48	4.89	4.26	13.46	7.27	1.15	2.05	2.90	3.74	2.45

**Table 2** Statistics of the calibration and validation equations of a\* value and lycopene content in tomatoes.

Items		No. of samples	R	SEC / SEP	Bias
a* value	Cset	797	0.93	3.34	$-3.34^{e-07}$
	Vset	337	0.92	2.91	-0.16
Lycopene	Cset	766	0.90	$1.48 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$-2.72^{e-07} \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$
	Vset	310	0.89	$1.46 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$-0.15 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

**Table 3** Interpretation of R and R<sup>2</sup> values of the regression equation. (Williams, 2007)

Value of R	Value of R <sup>2</sup>	Interpretation
Up to $\pm 0.5$	Up to $\pm 0.25$	Not usable in NIRS calibration
$\pm 0.51$ to $0.70$	$0.26$ to $0.49$	Poor correlation, Research the reasons
$\pm 0.71$ to $0.80$	$0.50$ to $0.64$	Rough screening
$\pm 0.81$ to $0.90$	$0.66$ to $0.81$	Screening and approximate calibration
$\pm 0.91$ to $0.95$	$0.83$ to $0.90$	Usable with caution for most applications including research
$\pm 0.96$ to $0.98$	$0.92$ to $0.96$	Usable in most application including quality assurance
$\pm 0.99 >$	$0.98 >$	Usable in any applications

**Table 4** The characteristics of samples used in model construction for capsaicin content in chillies.

Items	Capsaicin
Min-Max	540-1,993
Mean	1,015
SD	302
Number	125
Unit	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

**Table 5** The statistical analysis of NIRS models to predict capsaicin content in chillies by The Unscrambler® program.

Quality	Math methods	Wavelength (nm)	N	SD	R	SEC	SEP	Bias	F
Capsaicin	Original	400-2,500	125	302	0.74	204	226	0.42	6

**Table 6** Method validation between reference measurement and NIRS prediction of capsaicin content in chillies.

Samples	Method to determine capsaicin contents		d	d <sup>2</sup>
	Reference Method	NIR Prediction	(x-y)	(x-y) <sup>2</sup>
	X	Y		
1	839	1156	-317	100489
2	914	1188	-274	75076
3	1298	1016	282	79524
4	1923	1700	223	49729
5	1894	1383	511	261121
6	1431	1444	-13	169
7	1789	1067	722	521284
8	1139	1025	114	12996
9	999	962	37	1351
10	894	868	26	669
11	1397	1103	294	86436
12	700	838	-138	19171
13	1797	1524	273	74529
14	1565	1461	104	10816
15	1650	1014	636	404496
16	619	662	-43	1835
17	539	550	-11	122
18	1100	1026	74	5476
19	1563	1939	-376	141376
20	1696	1282	414	171396
<b>Total</b>	<b>25746</b>	<b>23209</b>	<b>2537</b>	<b>2018061</b>
<b>Average</b>	<b>1287</b>	<b>1160</b>	<b>127</b>	<b>100903</b>

**Table 7** The characteristics of samples used in model for caffeine content of roasted coffee bean.

Items	Caffeine
Min-Max	0.013 – 2.191
Mean	1.18
SD	0.45
Number	152
Unit	g.100g <sup>-1</sup> DW

**Table 8** The statistical analysis of NIRS models to predict caffeine content in roasted coffee bean by The Unscrambler® program.

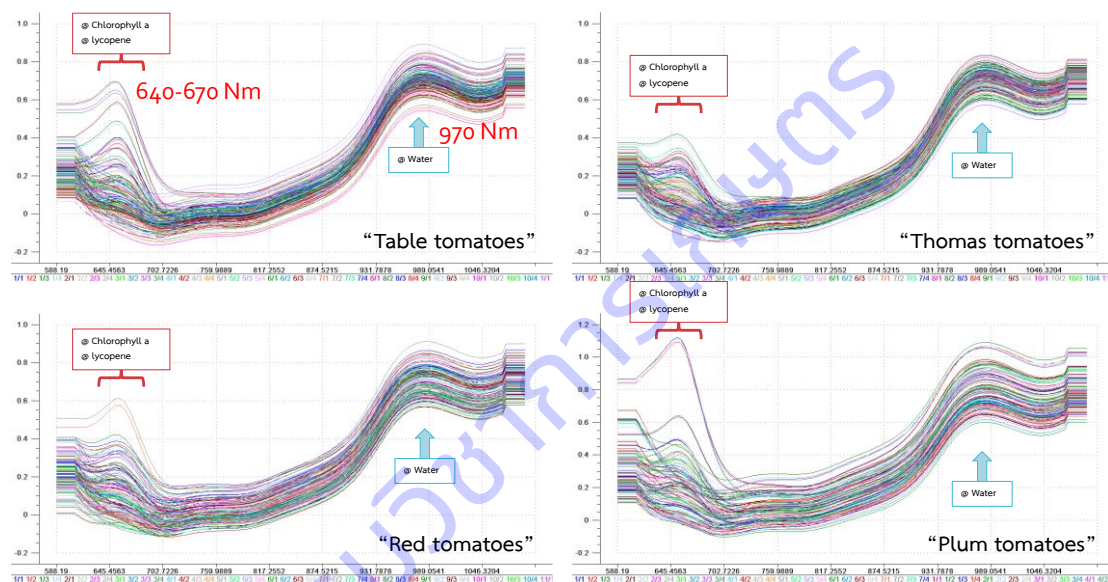
Quality	Wavelength (nm)	N	SD	R	SEC	SEP	Bias	F
Caffeine	400-2,500	152	0.45	0.98	0.08	0.09	-0.002	6

**Table 9** Comparison of predicted and actual values when used NIR model to evaluate caffeine content in roasted coffee bean samples.

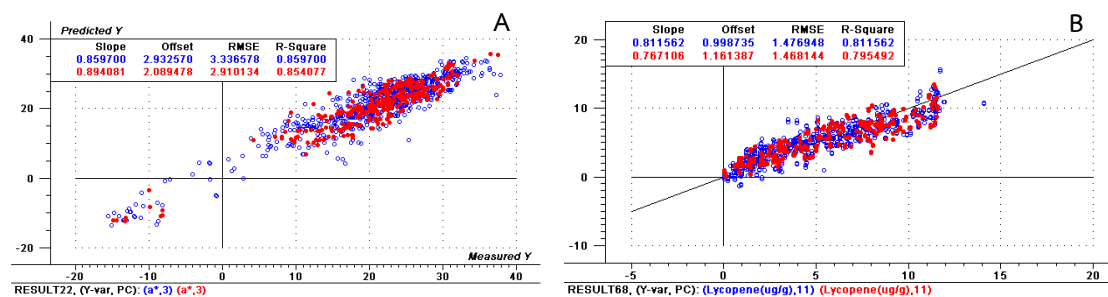
Sample	Actual value (X)	Predicted value (Y)	Differential (X-Y)
1	0.02	-0.13	0.15
2	0.02	-0.15	0.17
3	0.03	0.08	-0.05
4	0.07	0.07	0
5	0.18	0.28	-0.1
6	0.23	0.24	-0.01
7	0.24	0.11	0.13
8	0.33	0.47	-0.14
9	0.40	0.48	-0.08
10	1.05	1.10	-0.05
11	1.15	1.22	-0.07
12	1.19	1.07	0.12
13	1.43	1.44	-0.01
14	1.53	1.43	0.1
15	1.61	1.53	0.08
16	1.86	1.90	-0.04
17	1.98	1.98	0
18	2.01	1.82	0.19
19	2.07	2.23	-0.16
20	2.10	2.21	-0.11
21	2.11	2.28	-0.17
22	2.12	2.17	-0.05
23	2.13	2.12	0.01
24	2.15	2.09	0.06
25	2.17	2.20	-0.03

**Table 10** Interpretation of residual predictive deviation (RPD) values for the performance ability of calibration models. (Nicolai et al., 2007)

Value of RPD	Interpretation
< 1.5	the model has a poor prediction ability
1.5 – 2.0	the model can discriminate low from high values
2.0 – 2.5	coarse quantitative predictions
2.5 – 3.0	good prediction accuracy
> 3.0	excellent prediction accuracy



**Figure 1** The original NIR spectra of various tomatoes at wavelength 600-1,100 nanometres.



**Figure 2** Scatter plot of equations of  $a^*$  value (A) and lycopene content (B) determined by laboratory procedures and estimated by NIR spectroscopy in tomatoes.

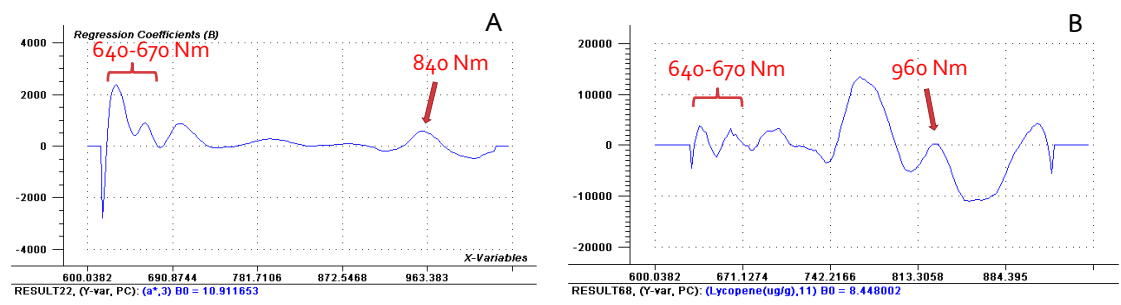


Figure 3 Regression coefficients to estimate a\* value and lycopene content from the NIR spectra in tomatoes.

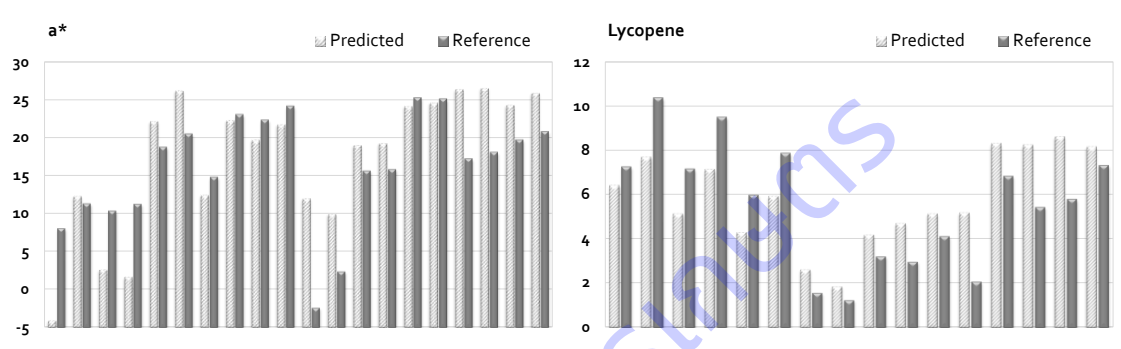


Figure 4 Comparison of laboratory reference values and predicted values using the NIR model to estimate a\* value and lycopene content in tomatoes.

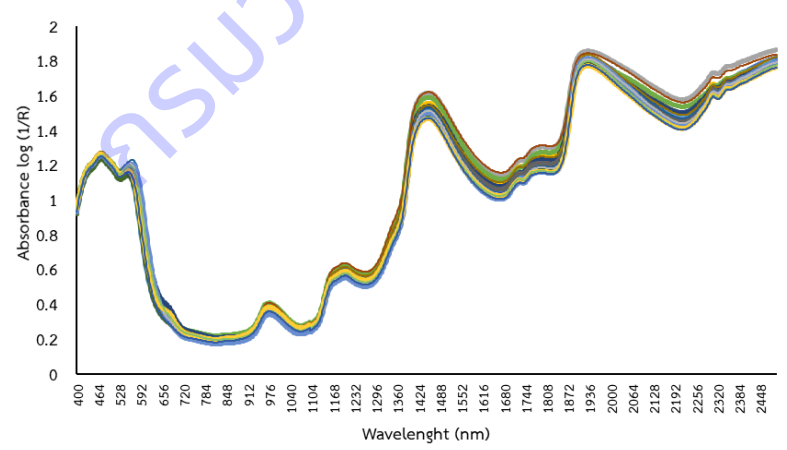


Figure 5 The original NIR spectra of capsaicin in chilli samples at wavelength 400-2,500 nanometres.

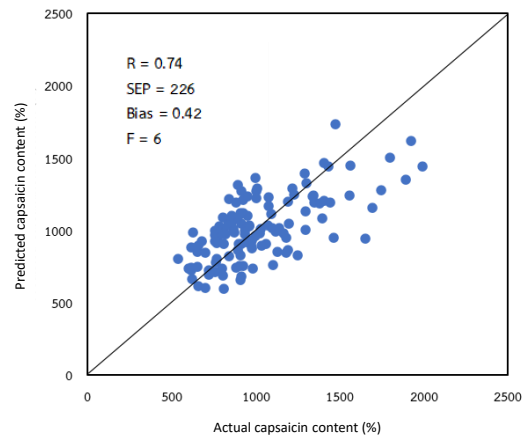


Figure 6 Scatter plots for calibration model of capsaicin content in chillies.

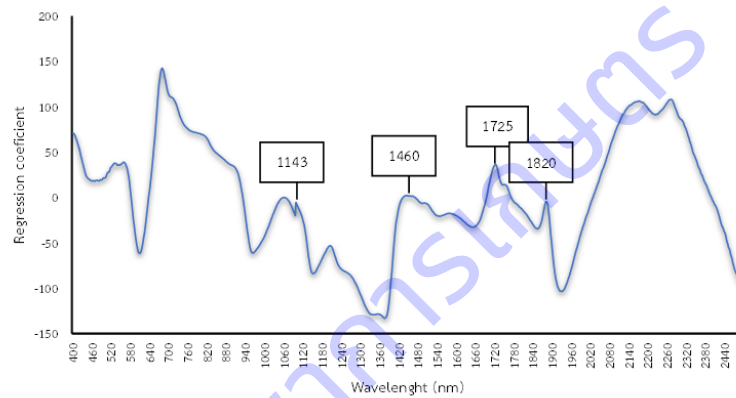


Figure 7 Regression coefficient for calibration model to predict capsaicin content in chillies.

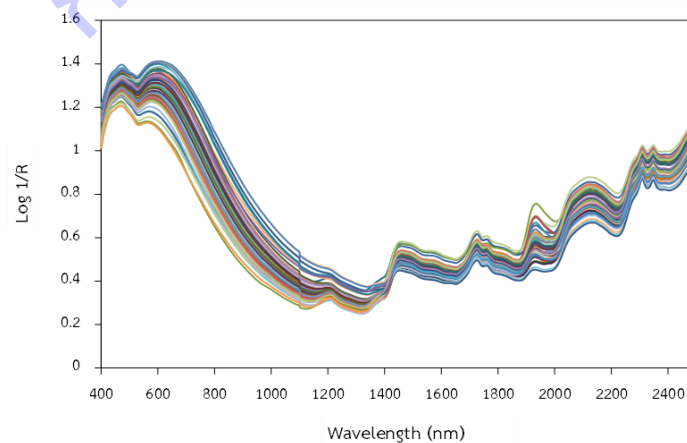


Figure 8 The original spectra of roasted coffee bean in wavelength 400-2500 nanometres.

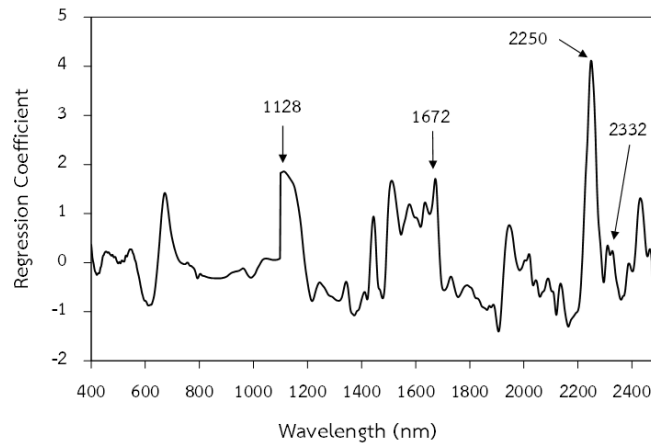


Figure 9 Regression coefficient plots to evaluate caffeine content of roasted coffee bean.

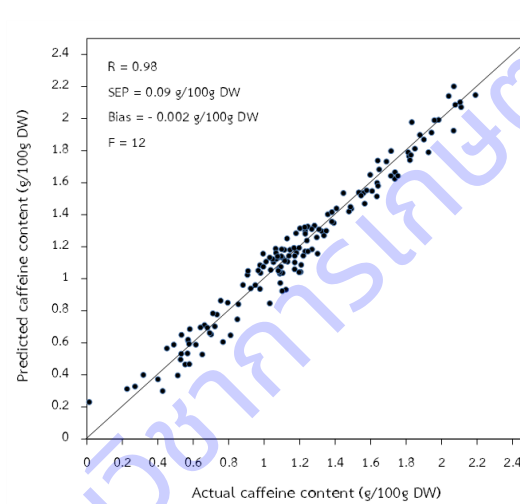


Figure 10 Scatter plots of NIRS calibration model between actual caffeine content and predicted caffeine content in roasted coffee bean samples.



### บรรณานุกรม

- กรมการค้าภายใน. 2561. สืบค้นจาก: <https://agri.dit.go.th> [พ.ศ. 2562].
- กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2560. วิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์อาหาร เล่มที่ 5. สืบค้นจาก: <http://bqsfdmsc.moph.go.th/bqsfdWeb/wp-content/uploads/2017/Publish/e-book/StandardMethodsVolumeV.pdf> [ธ.ค. 2564].
- กระทรวงสาธารณสุข. 2543. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 197) พ.ศ. 2543 (กาแพ). ราชกิจจานุเบกษา. (118). 26-32.
- กฤตกร ทรัพย์เจริญ รมฤทธิ ฤทธิธรณ ศุมาพร เกษมสำราญ และภาณี ทองพำนัก. 2552. การประเมินคุณภาพของมะเขือเทศเกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิค Near infrared spectroscopy. เรื่องเต็ม การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 5. 8-9 ธันวาคม 2551: 557-564.
- โกเมศ สัตยาวิวัฒน์ วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร อธิชาต วิชิตชลชัย ปิยนุช นาคะ มานพ หาญเทวี สรัญญา อุปรักขิปัตานนท์ และรุจิภาญจน์ นาสนิท. 2559. การผลิตกาแพคั่วที่มีสาร polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) ต่ำ. ผลงานวิจัยดีเด่น. กรมวิชาการเกษตร. 48-64.
- จรรยาพร นันทพันธ์. 2546. การวิเคราะห์ความต้องการมะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์ในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- จารุรัตน์ พุ่มประเสริฐ และ จารุวรรณ บางแว. 2558. การประเมินปริมาณสารพิษโอคราทอกซิน เอ ในเมล็ดกาแพคั่วด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 46 (3): 49-52.
- ชื่นหทัย เสริมทรัพย์ทวี. 2548. การสูญเสียไลโคพีนระหว่างกระบวนการผลิตน้ำมะเขือเทศกระป๋องและน้ำมะเขือเทศเข้มข้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 56 หน้า.
- ณัฐวิวัฒน์ หมิ่นมาณี ศุภลักษณ์ ชิตวรกุล สุรัสวดี กิจบุญชู และ ปารีชาติ เทียนจุมพล. 2562. การตรวจสอบคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของเมล็ดกาแพคั่วโดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 50 (3): 207-210.
- นฤเทพ เวชภิบาล และจารุวรรณ บางแว. 2559. การประเมินองค์ประกอบไนโบซาโดยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 47: 3 (พิเศษ): 281-284.
- นิจศิริ เรืองรังสี. 2534. เครื่องเทศ. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. หน้า 103-107.
- พัชนี สุวรรณวิศลกิจ. 2542. กาแพสกัดคาเฟอีน. วารสารเกษตร 15 (1): 1-10.
- ไพบูลย์ จันทรวิจิตร. 2547. การปลูกมะละกอ. อักษรสยามการพิมพ์. กรุงเทพฯ. 87 หน้า.
- มโนวิช เรื่องดิษฐ์ และจันทรรัตน์ จินดารัสมี. 2547. พริกใครว่าดีแต่เผ็ด. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 52 (164): 1-3.
- รุ่งนภา โบวิเชียร. 2560. พริก. สืบค้นจาก: [www.agriman.doae.go.th/home/news/year%202017/022\\_chilli.pdf](http://www.agriman.doae.go.th/home/news/year%202017/022_chilli.pdf) [พ.ย. 2560].

ศุมาพร เกษมสำราญ วราภรณ์ อภิวัดนาภิวัด พิลาณี ไฉนอมสัตย์ และ นางวารุณี ณะแพสย์. 2557. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการการตรวจสอบปริมาณเคอร์คูมินในยาสมุนไพรขมิ้นชันแบบรู้ผลเร็วด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2562ก. Caffeine/กาแฟอื่น. สืบค้นจาก:

<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4088/caffeine-กาแฟอื่น>. [พ.ย. 2562].

ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. 2562ข. Lycopene/ไลโคปีน. สืบค้นจาก:

<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2755/lycopene>. [ต.ค. 2562].

Adnan, A., D. von, E. Pawelzik and D. Mörlein. 2017. Rapid prediction of moisture content in intact green coffee beans using near infrared spectroscopy. *Foods*. 6: 38. doi: 10.3390/foods6050038.

Agarwal, S. and A.V. Rao, 2000. Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *CMAJ*. 163 (6): 739-744.

Alessandrini, L., S. Romani, G. Pinnavaia and M.D. Rosa. 2008. Near infrared spectroscopy: an analytical tool to predict coffee roasting degree. *Anal. Chim.* 625: 95-102.

Awotwe-Otoo, D., A.S. Zidan, Z. Rahman and M.J. Habib. 2012. Evaluation of anticancer drug-loaded nanoparticle characteristics by nondestructive methodologies, *AAPS Pharm. Sci. Tech.* 13: 611-622.

Azadshahraki, F., B. Jamshidi and V.R. Sharabian. 2018. Non-destructive determination of vitamin C and lycopene contents of intact cv. Newton tomatoes using NIR spectroscopy. *YYU J. Agr. Sci.* 28 (4): 389-397.

Balbaa, S.I., M.S. Karawya and A.N. Girgis. 1968. The capsaicin content of capsicum fruits at different stages of maturity. *Loloydia*. 31 (3): 272-274.

Binoy, G., C. Kaur, D.S. Khurdiya and H.C. Kapoor. 2004. Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. *Food Chem.* 84: 45-51.

Bosland, P.W. and E.J. Votava. 2000. Peppers: Vegetable and spice Capsicums. CABI Publishing, UK.

Chen, L. 2008. Non-destructive measurement of tomato quality using visible and near-infrared reflectance spectroscopy. Department of Bioresource Engineering, Macdonald Campus, McGill University Sainte Anne-de-Bellevue, Quebec, Canada. 82 p.

De Man, J.M. 1990. Principles of food chemistry. 441 p.

Dong, J. and W. Gou. 2015. Nondestructive determination of apple internal qualities using near-infrared hyperspectral reflectance imaging. *Food Anal. Methods*. 8: 2635-2646.

- Downey, G. and J. Boussion. 1996. Authentication of coffee bean variety by near-infrared reflectance spectroscopy of dried extract. *J. Sci. Food Agric.* 71: 41-49.
- D'Souza, M.C., S. Singha and M. Ingle. 1992. Lycopene concentration of tomato fruit can be estimated from chromaticity values. *HortScience.* 27: 465-466.
- Emin, Y. 2001. Oxylipin pathway in the biosynthesis of fresh tomato volatiles. *Turk. J. Biol.* 25: 351-360.
- Garrigues, J.M., Z. Bouhsain, S. Garrigues and M. de la Guardia. 2000. Fourier transform infrared determination of caffeine in roasted coffee samples. *J. Anal. Chem.* 366 (3): 319-322.
- Hagos, M., M.R. Abshiro, B.S. Chandravanshi, E. Ele, A.M. Mohammed and H. Mamo, 2018. Correlation between caffeine contents of green coffee beans and altitudes of the coffee plants grown in southwest Ethiopia. *Bull. Chem. Soc. Ethiop.* 32 (1): 13-25.
- Hisashi, S. 1999. Method for industrial purification of capsaicin. U.S. Patent 5,955,631.
- Huffman, V. L., E.R. Schadle, B. Villalon, and E.E. Burns, 1978. Volatile components and pungency in fresh and processed Jalapeno peppers. *J. Food Sci.* 43: 1809-1811.
- Huck, C.W., W. Guggenbichler and G.K. Bonn. 2005. Analysis of caffeine, theobromine and theophylline in coffee by near infrared spectroscopy (NIRS) compared to high-performance liquid chromatography (HPLC) coupled to mass spectrometry. *Anal. Chim.* 538: 195-203.
- Marla S., J.P. Coutinho, A.M. Tavares de Melo and H.T. Godoy. 2014. Fast method for capsaicinoids analysis from *Capsicum chinense* fruits. *Food Research International.* 64: 718-725.
- McGlone, V.A., R.B. Jordan and P.J. Martinsen. 2002. Vis/NIR estimation at harvest of pre- and post-storage quality indices for 'Royal Gala' apple. *Postharvest Biol. Technol.* 25: 135-144.
- Motora, K.G. and T.T. Beyene, 2017. Determination of caffeine in raw and roasted coffee beans of Iluabba Bora zone, south west Ethiopia. *Indo Am. J. Pharm. Sci.* 7(9): 463-470.
- Nagata, M. and I. Yamashita. 1992. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *J. Jap. Soc. Food Sci. Technol.* 39: 925-926.
- Neil, L. 1977. A High - Yield method for extraction and purification of capsaicin. *J. Agric FoodChem.* 25 (6): 1419-1420.

- Nicolaï, B.M., K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeys, K.I. Theron and J. Lammertyna. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biol. Technol.* 46 (2): 99-118.
- Nonnecke, I.N. 1989. Vegetable Production. Van Nostrand Reinhold, NewYork, U.S.A. 657 p.
- Osborne, B.G. 1981. Principles and practice of near infra-red (NIR) reflectance analysis. *Int. J. Food Sci. Technol.* 16: 13-19.
- Osborne, B. G., P.H. Hindle, and T. Fearn. 1986. Near infrared spectroscopy in food analysis. Longman Scientific and Technical, Essex, England.
- Osborne, B.G., T. Fearn, and P.H. Hindle. 1993. Practical NIR spectroscopy with applications in food and beverage analysis. 2<sup>nd</sup> ed. Longman Group UK limited. 227 p.
- Pandhair, V. and S. Sharma. 2008. Accumulation of capsaicin in seed, pericarp and placenta of *Capsicum annum* L. fruit. *J. Plant Biochem. Biotechnol.* 17: 23-27.
- Pizarro, C., I. Esteban-Diez, J.M. Gonzalez-Saiz and M. Forina. 2007. Use of near infrared spectroscopy and feature selection techniques for predicting the caffeine content and roasting color in roasted coffees. *J. Agric. Food Chem.* 55: 7477-7488.
- Riadh, I, H. Chafik, S.L. Marcello, T. Imen and D. Giuseppe. 2011. Phytochemical composition and antioxidant activity of high-lycopene tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars grown in Southern Italy. *Sci. Hort.* 127: 255-261.
- Reyes- Escogido M. L., E.G. Gonzalez-Mondragon and E. Vazquez-Tzompantzi. 2011. Chemical and pharmacological aspects of capsaicin. *Molecules.* 16: 1253-1270.
- Sun, T., K. Huang, H. Xu and Y. Ying. 2010. Research advances in nondestructive determination of internal quality in watermelon/melon: A review. *J. Food Eng.* 100: 569-577.
- Suzuki, T., K. Iwai. 1984. Constituents of red pepper species: chemistry, biochemistry, pharmacology, and food science of the pungent principle of *Capsicum* species. *Alkaloids Chem Pharm.* 23: 227-299.
- Szuvandzsiev, P., L. Helyes, A. Lugasi, C. Szanto, P. Baranowski and Z. Pek. 2014. Estimation of antioxidant components of tomato using VIS-NIR reflectance data by handheld portable spectrometer. *Int Agrophys.* 28: 521-527.
- Taungbodhitham, A.K., G.P. Jones, M.L. Wahlquist and D.R. Briggs. 1998. Evaluation of extraction method for the analysis of carotenoid in fruits and vegetables. *Food Chem.* 63: 577-584.
- Tawfik, E.M. 2001. Determination of lycopene content in raw tomato varieties and tomato products. Masters Abstracts International. 140 p.

- Walsha, K.B., J. Blasco, M. Zude-Sasse and X. Sun. 2020. Visible-NIR 'point' spectroscopy in postharvest fruit and vegetable assessment: The science behind three decades of commercial use. *Postharvest Biol. Technol.* 168: 111246. Retrieved December 10, 2020, from <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111246>.
- Williams, P. 2007. Application to agricultural and marine products. *In*: Ozaki Y., W.F. McClure and A.A. Christy (Eds.). *Near-Infrared Spectroscopy in Food Science and Technology*. John Wiley and Sons Inc. Publication, New Jersey, USA. pp. 165-218.
- Williams, P. and K. Norris. 2001. *Near-Infrared technology in the agricultural and food industries*. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA. 296 p.
- Youngken, W. 1950. *Pharmacognosy*. Lipin Cott Co., Philadelphia.
- Zhang X., W. Li, B. Yin, W. Chen, D.P. Kelly, X. Wang, K. Zheng and Y. Du. 2013. Improvement of near infrared spectroscopic (NIRS) analysis of caffeine in roasted Arabica coffee by variable selection method of stability competitive adaptive reweighted sampling (SCARS). *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.* 114: 350-356.

ภาคผนวก

กรมวิชาการเกษตร

Appendix Table 1 Chemical structure and bond vibration of the absorbance bands at various wavelengths within the NIR region. (Osborne et al., 1986)

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 <sub>3</sub>	1520	O-H str. first overtone	CONH <sub>2</sub>
746	C-H str. fourth overtone	CH <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub> O	1530	N-H str. first overtone	RNH <sub>2</sub>
762	C-H str. fourth overtone	CH <sub>2</sub>	1533	C-H str. first overtone	C=H
779	N-H str. third overtone	RNH <sub>2</sub>	1540	O-H str. first overtone(intramol.H-bond)	starch
790	N-H str. third overtone	ArNH <sub>2</sub>	1570	N-H str. first overtone	-CONH-
806	N-H str. third overtone	RNH <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>
815	N-H str. third overtone	RNHR'	1645	C-H str. first overtone	$\begin{array}{c} \text{R-CH-CH} \\ \backslash \quad / \\ \text{O} \end{array}$
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	$\alpha\text{-RCH=CHR}'$
880	C-H str. third overtone	CHCl <sub>3</sub>	1685	C-H str. first overtone	aromatic
900	C-H str. third overtone	CH <sub>3</sub>	1695	C-H str. first overtone	CH <sub>3</sub>
910	C-H str. third overtone	protein	1705	C-H str. first overtone	CH <sub>3</sub>
913	C-H str. third overtone	CH <sub>2</sub>	1725	C-H str. first overtone	CH <sub>2</sub>
928	C-H str. third overtone	oil	1740	S-H str. first overtone	-SH
938	C-H str. third overtone	CH <sub>2</sub>	1765	C-H str. first overtone	CH <sub>2</sub>
970	O-H str. second overtone	ROH,H <sub>2</sub> 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 <sub>3</sub>	1900	C=O str. second overtone	-CO <sub>2</sub> H
1020	2xN-H str.+2 amide I	protein	1908	O-H str. first overtone	POH
1020	N-H str. second overtone	ArNH <sub>2</sub>	1920	C=O str. second overtone	CONH
1030	N-H str. second overtone	RNH <sub>2</sub>	1940	O-H str.+O-H def.	H <sub>2</sub> O
1037	2xC-H str.+2xC-H def.+(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	oil	1950	C=O str. second overtone	-CO <sub>2</sub> R
1053	2xC-H str.+2xC-H def.+(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	CH <sub>2</sub>	1960	N-H asym.str.+amide II	CONH <sub>2</sub>
1060	N-H str. second overtone	RNH <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub> , CONHR
1143	C-H str. second overtone	aromatic	2030	C=O str. second overtone	CONH <sub>2</sub>
1152	C-H str. second overtone	CH <sub>3</sub>	2050	N-H sym.str.+amide II	protein
1170	C-H str. second overtone	HC=CH	2050	N-H asym.str.+amide III	CONH <sub>2</sub>
1195	C-H str. second overtone	CH <sub>3</sub>	2080	O-H str.+O-H def.	ROH, sucrose, starch
1215	C-H str. second overtone	CH <sub>2</sub>	2100	2xO-H def.+2xC-O str.	starch
1225	C-H str. second overtone	CH	2110	N-H sym.str.+amide III	CONH <sub>2</sub> , CONHR
1360	2xC-H str.+C-H def.	CH <sub>3</sub>	2132	N-H str.+C=O str.	amino acid
1395	2xC-H str.+C-H def.	CH <sub>2</sub>	2140	=C-H str.+C-C str.	HC=CH
1410	O-H str. first overtone	ROH	2150	2 x amidel+amidelll	CONH <sub>2</sub>
1415	2xC-H str.+C-H def.	CH <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub> asym.str.+C=O str.	HC=CH
1430	N-H str. first overtone	CONH <sub>2</sub>	2200	C-H str.+C=O str.	-CHO
1440	O-H str. first overtone	sucrose, starch	2242	N-H str.+NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> 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 <sub>2</sub> O	2280	C-H str.+C-H def.	CH <sub>3</sub>
1460	N-H str. first overtone	CONH <sub>2</sub>	2294	NH str.+C=O str.	amino acid
1471	N-H str. first overtone	CONHR	2310	C-H str.+C-H def.	CH <sub>2</sub>
1480	O-H str. first overtone(intramol.H-bond)	glucose	2323	C-H str.+C-H def.	CH <sub>2</sub>
1483	N-H str. first overtone	CONH <sub>2</sub>	2336	C-H str.+C-H def.	cellulose
1490	N-H str. first overtone	CONHR	2347	CH <sub>2</sub> sym. str.+CH <sub>2</sub> def.	HC=CH CH <sub>2</sub>
1490	N-H str. first overtone(intramol.H-bond)	CONH <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	2461	C-H str.+C-C str.	Starch