



รายงานชุดโครงการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาวิธีการตรวจสอบคุณภาพของผลิตผลการเกษตร และผลิตภัณฑ์
อาหารอย่างรวดเร็วด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้

Development in rapid methods to predict the properties of agricultural
produces and food products through near infrared spectroscopy

ผู้วิจัย

- 1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย
ผศ.ดร. บุศราภรณ์ มหาโยธี
- 2 ที่ปรึกษาของแผนงานวิจัย
คุณปภาวี สุธาวีวัฒน์
- 3 ผู้ประสานงาน/ผู้วางแผน/เลขานุการแผนงานวิจัย
ผศ.ดร. ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ

หน่วยงานที่สังกัด

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร

Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Silpakorn University

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2555 และ 2556

ดำเนินการเสร็จ ปี พ.ศ. 2558

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินโครงการขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย และให้คำปรึกษาในระหว่างการดำเนินโครงการ และขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีอาหารที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยให้กับโครงการวิจัย

ชื่อโครงการ การประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้สำหรับการประเมินปริมาณอะไมโลสในข้าวเจ้าที่ผ่านการขัดสี

ชื่อผู้วิจัย 1 ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.บัณฑิต อินดวงศ์ (หัวหน้าโครงการ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

2 ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร. บุศราภรณ์ มหาโยธี (ผู้ร่วมวิจัย)

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

แหล่งทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดินประจำปี22556

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีที่เสร็จ 2558

ประเภทการวิจัย การวิจัยประยุกต์

สาขาวิชา (อ้างอิงตามวช.) เกษตรศาสตร์และชีววิทยา กลุ่มวิชา อุตสาหกรรมอาหาร

บทคัดย่อ

ข้าวมีองค์ประกอบที่สำคัญใช้ในการกำหนดคุณลักษณะของข้าวแต่ละสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน คือ อะไมโลส สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในข้าวที่มีวิธีวิเคราะห์ที่มีความยุ่งยากซับซ้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกวิธีวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในข้าวด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถตรวจวัดตัวอย่างได้รวดเร็ว และไม่ทำลายตัวอย่าง สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส พบว่า ความชื้นและอนุภาคตัวอย่างส่งผลต่อค่าวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ ดังนั้นการทดลองนี้ศึกษาโดยมีการควบคุมความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้น นำตัวอย่างข้าวที่ผ่านการบดไปอบไล่ความชื้นเพื่อขยายช่วงของความชื้นที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส นาน 1-6 ชั่วโมง และมีการควบคุมขนาดของอนุภาคของตัวอย่าง โดยศึกษาที่ขนาดอนุภาคที่ 150, 300, 500 และ 850 ไมโครเมตร และนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบ diffuse reflectance ช่วงความยาวคลื่น 2502.5 – 1110.7 นาโนเมตร โดยเริ่มที่ความยาวคลื่นต่ำที่สุดและเพิ่มขึ้นครั้งละ 32 เลขคลื่น โดยเส้นสเปกตรัมจากการทดลองพบว่า การอบเพื่อควบคุมความชื้นที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้ผลการทดลองที่มีความแม่นยำกับค่าวิเคราะห์ทางเคมีมากที่สุด สำหรับขนาดของอนุภาค พบว่า ที่ขนาดอนุภาคแตกต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ควรจะต้องมี

ขนาดอนุภาคที่ใกล้เคียงกัน เพื่อควบคุมการกระเจิงแสงที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อความถูกต้องและความแม่นยำที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

คำสำคัญ: ข้าว, เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้, การควบคุมคุณภาพ

**Application of near infrared spectroscopy for amylose content determination
in milled rice**

Researcher Assist. Prof. Dr. Bhundit Innawong (Project Leader)

Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

Researcher Assist. Prof. Dr. Busarakorn Mahayothee (Co-Researcher)

Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

Research Grants Fiscal Budget of Year 2013.,

Research and Development Institute, Silpakorn University

Year of completion. 2015

Type of research applied research

Subjects (based NRCT). Agricultural and Biology department of Food Industry

Abstract

Amylose is major component for identify characteristics of rice. Analysis of amylose is complex. The aim of this research is to study near infrared spectroscopy (NIR) technique for estimate and predict amylose contents in rice. NIR technique can reduce analyze time and does not destroy the sample. The initial moisture content and particle size of sample was due to the analysis of amylose content. The sample has to control the initial moisture content of rice, then the sample (rice crush) was heated at 40, 50 and 60 degree celsius for 1-6 hours to decrease moisture content and also controlled particle size of sample which are 150, 300, 500, and 850 micrometer. The sample was measured by NIR technique to get the spectrums (diffuse reflectance, wave length 2502.5 – 1110.7 nm and 32 scan time) The result showed that 60 degree celsius for 1 hour was the best preparing method for accuracy and precision analyze of amylose content in rice. The preparing of particle size did not differ significant, but particles size was controlled for analysis, particles size was due to scattering of light, the effect of accuracy and precision analysis in NIRs.

Keywords: rice, Near infrared spectroscopy, Quality control

**ชื่อโครงการ การใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการตรวจสอบ
และทำนายอัตราส่วนน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมดของผลไม้แช่อิ่ม
ก่อนกระบวนการอบแห้ง**

ชื่อผู้วิจัย 1. ผศ.ดร.บุศราภรณ์ มหาโยธี (หัวหน้าโครงการ)

คณะคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

2. ผศ.ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์ไฉชาติ (ผู้ร่วมวิจัย)

คณะคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

แหล่งทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2556

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีที่เสร็จ พ.ศ.2558

ประเภทการวิจัย การวิจัยประยุกต์

สาขาวิชา ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีการผลิตและส่งออกผลไม้เขตร้อนแช่อิ่มอบแห้งในปริมาณสูงเป็นอันดับ 1 ใน 10 ของโลก โดยผลไม้แช่อิ่มอบแห้งที่ส่งออกมาได้แก่ มะละกอบแห้ง มะม่วงและสับปะรด เป็นต้น ดัชนีคุณภาพที่สำคัญในการตรวจสอบผลไม้แช่อิ่มก่อนการทำแห้งเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพคือ อัตราส่วนน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมด (RS/TS) เนื่องจากถ้าในชั้นผลไม้แช่อิ่มก่อนการทำแห้งมี RS/TS ที่สูงมากจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อบแห้งมีลักษณะไม่แห้งและความเหนียว แต่ถ้าผลิตภัณฑ์อบแห้งมีปริมาณน้ำตาลสูง จะทำให้ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมีตกผลึกน้ำตาล ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค อีกทั้งในการตรวจสอบ RS/TS ภายในโรงงานอุตสาหกรรมคือวิธี Lane-Eynon method ซึ่งเป็นวิธีที่ต้องใช้เวลานาน และไม่สามารถตรวจสอบตัวอย่างได้ทุกชิ้น ดังนั้นจึงมีความต้องการศึกษาเทคนิคที่รวดเร็ว ไม่ทำลายตัวอย่าง เพื่อใช้ในการตรวจสอบ RS/TS ในผลไม้แช่อิ่มก่อนทำแห้ง ดังนั้นการพัฒนาเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIRS) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง เพื่อประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพจึงมีความสำคัญเนื่องจากเป็นเทคนิคที่รวดเร็ว และไม่ต้องทำลายตัวอย่าง โดยในโครงการวิจัยได้มีการประยุกต์ใช้ NIRS สำหรับวิเคราะห์อัตราส่วน RS/TS ในมะม่วง สับปะรดและมะละกอบแห้งก่อนกระบวนการอบแห้งพบว่า NIRS มีประสิทธิภาพในการติดตาม RS/TS ในมะม่วงและสับปะรดแช่อิ่ม โดยมีค่า R^2 หรือค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 0.9471 และ 0.8119 ตามลำดับ ส่วน RMSEP หรือความผิดพลาดในการทำนายโดยใช้ NIRS มีค่า

เท่ากับ 0.0511 และ 0.0105 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเทคนิค NIRS มีความเป็นไปได้ที่จะใช้ในการ
ทำนายอัตราส่วน RS/TS ในชั้นผลไม้น้ำเชื่อมก่อนการทำแห้ง

คำสำคัญ : มะม่วง สับปะรด มะละกอ การเชื่อม การอบแห้ง และรังสีอินฟราเรดย่านใกล้

**Monitoring of reducing sugar and total sugar content ratio in osmotic dehydrated fruits
before drying using a near infrared spectroscopy**

Assistant Professor Busarakorn Mahayothee (Project Leader)

Faculty of Engineering and Industrial Technology Silpakorn University

Assistant Professor Prasong Siriwongwilaichat (Co-Researcher)

Faculty of Engineering And Industrial Technology Silpakorn University

Research Grants Fiscal Budget of Year 2012

Research and Development Institute, Silpakorn University

Year of completion, 2015

Type of research Applied Research

Subjects (based NRCT) Food Technology

Abstract

Osmotic dehydration is a pretreatment which is used for partial removing of water in osmo-convective dried fruit products. Thailand is a major manufacturer and exporter of dried fruits. The reducing sugar to total sugar ratio (RS/TS) of osmotic dehydrated fruit is a crucial parameter, and it has been currently used for process quality control prior to convective drying by the industry. If the RS/TS of osmotic dehydrated fruit slice is too high, the surface of dried product will be too sticky. On the other hand, if the RS/TS ratio is too low, the sugar crystallization can occur during storing. The products will be not accepted by consumers. Generally, this ratio is being checked by using a conventional Lane-Eynon method, which is the time consuming and expensive method. NIR has been found in many studies that it can be used for determining sucrose, fructose and glucose concentrations in fruits. Therefore, the aim of this study was to investigate the potential of NIR as a rapid and nondestructive method for routine analysis of RS/TS ratio in mango pineapple and papaya slices prior to air drying process. . NIRS was applied to determine the properties of many agricultural products including the ratio of reducing sugar to total sugar of osmotic dehydrated mango and pineapple was precisely determined using NIRS for mango (R^2 0.9471 and RMSEP 0.0511) and (R^2 0.8119 and RMSEP -0.0105) for

pineapple respectively. However, the model can be improved and even more reliable by increasing the number of samples which is now ongoing.

Key words : Mango Pineapple Papaya Osmotic Drying and Near Infrared Spectroscopy

ชื่อโครงการ **การพัฒนาวิธีการตรวจสอบสารพิษตกค้างในผักสดแบบรวดเร็วด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้: กรณีศึกษาพริกและถั่วฝักยาว**

ชื่อผู้วิจัย 1. ผศ.ดร.ปราโมทย์ คูวิจิตรจรัส (หัวหน้าโครงการ)
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร

2. ผศ.ดร.บุศราภรณ์ มหาโยธี (ผู้ร่วมวิจัย)
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร

แหล่งทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2556

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีที่เสร็จ พ.ศ. 2558

ประเภทการวิจัย การวิจัยประยุกต์

สาขาวิชา เกษตรศาสตร์และชีววิทยา กลุ่มวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

บทคัดย่อ

พริกและถั่วฝักยาว เป็นผักเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยนิยมบริโภคกันภายในประเทศ และมีการส่งออกไปยังต่างประเทศทั้งในรูปของผักสด การตรวจสอบคุณภาพก่อนการส่งออกมักพบปัญหาสารเคมีตกค้างเกินค่ามาตรฐาน ทั้งนี้สารคลอไพริฟอสจัดเป็นสารเฝ้าระวังสำหรับการส่งออกผักสด วิธีการที่ใช้ตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารพิษตกค้างในปัจจุบันได้แก่ การใช้ชุดตรวจสอบยาฆ่าแมลงจีที (GT-pesticide test kit) แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี ลิควิดโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรีและเครื่องโครมาโทกราฟีชนิดของเหลวประสิทธิภาพสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตรวจสอบสารพิษตกค้าง ได้แก่ คลอไพริฟอสในถั่วฝักยาวและพริกจินดาแบบรวดเร็วด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near infrared spectroscopy, NIR) การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ NIR ในการตรวจหาปริมาณสารคลอไพริฟอสในพริกจินดาและถั่วฝักยาวโดยเลือกใช้พริกจินดาและถั่วฝักยาวออร์แกนิกนำมาปั่นละเอียดแล้วเติมสารคลอไพริฟอสที่ความเข้มข้นต่างๆ จากนั้นนำตัวอย่างปั่นละเอียดและสารสกัดมาวัดสเปกตรัมด้วยเทคนิค NIR ที่เลขคลื่น 12500 – 4000 cm^{-1} และใช้เทคนิค dry-extract system for near infrared (DESIR) เพื่อทำให้สารสกัดเข้มข้นขึ้น และวิเคราะห์ปริมาณสารคลอไพริ

ฟอสด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC-MS) ส่วนการทดลองส่วนที่ 2 คือ การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการแบ่งกลุ่มถั่วฝักยาวที่มีการปนเปื้อนของสารในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ได้แก่ คลอไพริฟอส EPN และ โอเมโทเอต กลุ่มคาร์บาเมต ได้แก่ คาร์โบฟูราน และเมโทมิล จากแปลงปลูก นำมาทดสอบสารพิษตกค้างทางเคมีด้วยชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT pesticide test kit และวิเคราะห์แบบแบ่งกลุ่มถั่วฝักยาวที่มีการปนเปื้อนของสารคลอไพริฟอส EPN โอเมโทเอต คาร์โบฟูราน และ เมโทมิล ในระดับที่ไม่ปลอดภัย จากระดับที่ปลอดภัยตามการบ่งชี้ด้วยวิธีการตรวจสอบที่ใช้ชุดตรวจสอบ GT pesticide test จากการศึกษพบว่า เทคนิค NIR มีความเป็นไปได้ในการตรวจติดตามปริมาณสารคลอไพริฟอสในพริกจินดา ซึ่งการใช้เทคนิค DESIR ให้ความแม่นยำสูงที่สุดเมื่อใช้ทำนายที่ช่วงความเข้มข้นของสารคลอไพริฟอส 0.02-10 ppm โดยให้ $R^2 = 0.9776$, $RMSECV = 0.486$ ppm, $RPD = 4.86$ และ $Bias = -0.0276$ ppm สำหรับถั่วฝักยาว พบว่า สามารถใช้ NIR ในการหาปริมาณสารคลอไพริฟอสแม่นยำที่ช่วงความเข้มข้น 10-250 ppm ทั้งการวัดตัวอย่างที่บดละเอียด การวัดสารสกัด และ DESIR และเทคนิค NIR สามารถทำนายความเข้มข้นของสารคลอไพริฟอสได้แบบหยาบที่ช่วงความเข้มข้น 0.20-10 ppm นอกจากนี้ เทคนิค NIR ไม่เหมาะสมกับการวิเคราะห์สารคลอไพริฟอสในพริกจินดา และถั่วฝักยาวที่ช่วงความเข้มข้นต่ำ 0.01-0.02 ppm สำหรับการศึกษาการแบ่งกลุ่มถั่วฝักยาวที่มีการปนเปื้อนของสารคลอไพริฟอส โอเมโทเอต คาร์โบฟูราน และ เมโทมิล ในระดับที่ไม่ปลอดภัย จากระดับที่ปลอดภัยตามการบ่งชี้ด้วยวิธีการตรวจสอบที่ใช้ GT pesticide test kit นั้นพบว่า ไม่สามารถแบ่งกลุ่มของสเปกตรัมที่ได้จากการวัดถั่วฝักยาวและสารสกัดที่มีการปนเปื้อนระดับที่ปลอดภัยและระดับที่ไม่ปลอดภัยได้

คำสำคัญ : พริก ถั่วฝักยาว สารพิษตกค้าง คาร์บาเมต ออร์กาโนฟอสเฟต

**Development of a rapid method for pesticide residue determination in vegetables using
near infrared spectroscopy; chili and yard long bean**

Assistant Professor Dr. Pramote Khuwijitjaru (Project Leader)

Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

Assistant Professor Dr. Busarakorn Mahayothee (Co-Researcher)

Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

Research Grants Fiscal Budget of Year 2012

Research and Development Institute, Silpakorn University

Year of completion 2014

Type of research Applied research

Subjects (based NRCT) Agriculture and Biology, Agro-Industry

Abstract

Chili and yard long bean are major economic vegetables in Thailand for both domestic and export market. They are exported in many forms including fresh, chilled and frozen. However, the export has indicated problems with pesticide residues. Chlorpyrifos is considered surveillance for vegetables exportation. Generally, pesticide residues are determined using destructive methods such as GT - Pesticide test kit, gas chromatography and liquid chromatography with mass spectrometry, which is time consuming, costly and require technical skills. In this study, the feasibility of near infrared spectroscopy (NIR) to determine chlorpyrifos residues in Jinda chili and yard long bean was investigated. The experiment was divided into two parts: (I) NIR for quantitative measurement of chlorpyrifos residues in Jinda chili and yard long bean; (II) NIR for classification between pesticide-free and pesticide-containing yard long bean. Part I, organic samples (Jinda chilies and yard long beans) were chopped and blended into paste. Then, the paste was spiked with standard chlorpyrifos at various concentrations. Fourier Transform - near infrared spectrophotometer (FT-NIR) was used to acquire the spectra in the wavenumber of 12500-4000 cm⁻¹ from the paste and the extract fractions. Dry-extract system for near infrared spectroscopy (DESIR) was used for increasing concentration of the pesticide. The potential of NIR to determine chlorpyrifos residue was low for the concentration range of 0.01 - 0.02

ppm. However, the efficiency of NIR to determine chlorpyrifos residue was enhanced when chlorpyrifos concentration increased. Using DESIR technique at concentration of 0.02 - 10 ppm in Jinda chili provided the most accurate prediction model at $R^2 = 0.9776$, RMSECV = 0.486 ppm, RPD = 4.86 and Bias = -0.0276. Two pesticides groups i.e. organophosphate (chlorpyrifos, EPN, omethoate) and carbamate (carbofuran and methomyl) were studied. Pesticide residues were determined using GT- pesticide test kit which reported the result as pesticide-free sample, pesticide-containing sample at safe level or pesticide-containing sample. The results showed that the pesticide-containing yard long bean and extracted samples could not be discriminated by NIR.

Key words: Chili Yard long bean Pesticide Organophosphate Carbamate

**ชื่อโครงการ การตรวจสอบและทำนายคุณภาพภายในของผลไม้ผ่านการเคลือบผิว
แบบรวดเร็วด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้**

ชื่อผู้วิจัย ผศ.ดร.บุศราภรณ์ มหาโยธี (หัวหน้าโครงการ)

คณะคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

แหล่งทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดินประจำปี2556

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีที่เสร็จ พ.ศ.2558

ประเภทการวิจัยการวิจัยประยุกต์

สาขาวิชา สาขาเกษตรศาสตร์และชีววิทยา กลุ่มวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

แขนงวิชาเทคโนโลยีอาหาร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้สารเคลือบผลไม้ต่อประสิทธิภาพในการตรวจสอบคุณภาพภายในด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy, NIRS) โดยศึกษาในส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง และมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง และใช้สารเคลือบทางการค้า 4 ชนิด ได้แก่ 2.5% GUSTEC S, 10% CHITOSAN, 20% GLK และ 20% SUPERSHINE C วัดค่าการดูดกลืนแสงของผลไม้ผ่านการเคลือบผิวที่ความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร ในโหมดการสะท้อนกลับ (reflectance) ที่ค่า resolution 32 cm⁻¹ และจำนวนการวัดเท่ากับ 64 ครั้ง จากผลการศึกษาพบว่า การเคลือบผิวทำให้เกิดกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (กลิ่นหมัก) ในผลส้มที่ผ่านการเคลือบด้วย SUPERSHINE C เกิดกลิ่นหมักเร็วที่สุด (3 วัน) รองลงมาได้แก่ GUSTEC (5 วัน) GLK (5 วัน) และ CHITOSAN (7 วัน) ตามลำดับ เมื่อสร้างสมการทำนายค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณเอทานอล และปริมาณอะซิโตนได้ดีในช่วงการเก็บรักษาผลส้ม พบว่ามีความสามารถในการทำนายค่าที่ R² เท่ากับ 0.5818, 0.6556, 0.6965 และ RMSECV เท่ากับ 0.14, 658 ppm และ 646 ppm ตามลำดับ สำหรับมะม่วงเคลือบพบว่าเทคนิค NIRS สามารถใช้ในการทำนายค่าความแน่นเนื้อ TSS, TA และความเป็นกรดต่าง ได้ค่า R² เท่ากับ 0.8295, 0.8236, 0.8590, 0.7268 และมีค่า RMSEP เท่ากับ 3.55 นิวตัน, 1.29 องศา บริกซ์, 0.42 กรัมชิตริกต่อหนึ่งร้อยกรัมตัวอย่าง และ 0.636 ตามลำดับ การใช้เทคนิค NIR การติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มที่ผ่านการเคลือบ ยังมีแนวโน้มในการทำนายค่าต่ำ ซึ่งต้องมีการพัฒนาและควบคุมกระบวนการทดลองต่อไป ในขณะที่เทคนิค NIR ความสามารถ

ในการติดตามคุณภาพภายในของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองได้ เมื่อดูจากประสิทธิภาพของสมการ
การทำนายความแน่นเนื้อ TSS TA และค่า pH

คำสำคัญ สัมแมนดารีส มะม่วง สารเคสือบผิว สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

NIR as rapid method for monitoring and actuality the internal quality of coated fruits

Assistant Professor Busarakorn Mahayothee (Project Leader)

Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

Research Grants Fiscal Budget of Year 2012

Research and Development Institute, Silpakorn University

Year of completion 2015

Type of research Applied Research

Subjects (based NRCT) Agriculture and Biology, Agro-Industry

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of coating on the performance of near infrared spectroscopy (NIRS) to detect the internal quality of Mandarin cv. Sai Nam Pueng and mango cv. Nam Dokmai subcv Si thong. Four commercial coating agents i.e. 2.5% GUSTEC S, 10% CHITOSAN, 20% GLK and 20% SUPERSHINE C were used. Spectra of coated fruits were acquired using FT-NIR in reflectance mode in a wavelength region of 800-2500 nm at resolution of 32 cm⁻¹ scan 64 scans time. During storage at ambient temperature, fermentation occurred in coated mandarin whereas coated mangoes were normally ripened. The off-flavor was detected from SUPERSHINE C coated mandarin after 3 days of storage followed by GUSTEC S (after 5 days), GLK (after 5 days) and CHITOSAN (after 7 days). For coated mandarin, the result showed that pH, ethanol and ethanol+acetaldehyde content could be predicted with R² of 0.5818, 0.6556, 0.6965 and RMSEP of 0.14, 65.8 ppm and 64.6 ppm, respectively. In addition, firmness, TSS, TA and pH coated mango was precisely determined with R² of 0.8295, 0.8236, 0.8590, 0.7268 and RMSEP of 3.55, 1.29°Brix, 0.42g citric/100 g sample and 0.636.

Key words: Mandarin, Mango, Coating, NIRS

**ชื่อโครงการ การใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการวิเคราะห์
องค์ประกอบทางเคมีและการปลอมปนของน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาล
โตนด**

ชื่อผู้วิจัย ผศ.ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย (หัวหน้าโครงการ)
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร

แหล่งทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2556

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีที่เสร็จ พ.ศ.2558

ประเภทการวิจัย การวิจัยประยุกต์

สาขาวิชา เกษตรศาสตร์และชีววิทยา กลุ่มวิชา อุตสาหกรรมเกษตร

บทคัดย่อ

น้ำตาลมะพร้าวเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทย การพัฒนาวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำตาลมะพร้าวให้มีความถูกต้องแม่นยำและรวดเร็วจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการแปรรูปน้ำตาลมะพร้าว จึงได้ทำการศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR) กับการควบคุมคุณภาพน้ำตาลมะพร้าวสดและน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวในด้านองค์ประกอบทางเคมีและการปลอมปน โดยเมื่อใช้เทคนิค NIR ที่ช่วงคลื่น 12480-4000 cm^{-1} และทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคคณิตศาสตร์รวมกับการสร้างสมการด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLS) พบว่าสมการที่ใช้ทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส ค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณความชื้นของน้ำตาลมะพร้าวสดนั้นมีค่า coefficients of determination (R^2) เท่ากับ 0.956, 0.925, 0.967, 0.814, 0.937, 0.893 และ 0.957 ตามลำดับ และผลการสร้างแบบจำลองทำนายการปลอมปนน้ำเชื่อม (สารละลายซูโครส) ในน้ำตาลมะพร้าวสดที่ระดับการปลอมปน 10, 25, 50, 75 และ 100% (w/w) พบว่า เทคนิค principal component analysis (PCA) ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการแยกความแตกต่างระหว่างน้ำตาลมะพร้าวสดกับน้ำตาลมะพร้าวสดปลอมปนด้วยน้ำเชื่อมได้ แต่การใช้เทคนิค PLS นั้นสามารถแยกความแตกต่างระหว่างน้ำตาลมะพร้าวสดกับน้ำตาลมะพร้าวสดที่มีการปลอมปนด้วยน้ำเชื่อมตั้งแต่ 50% (w/w) ขึ้นไปได้ สำหรับสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส ค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณความชื้นของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่สร้างด้วยเทคนิค PLS นั้นมีค่า R^2 เท่ากับ 0.689, 0.773, 0.925, 0.881, 0.819, 0.826 และ 0.723

ตามลำดับ ส่วนการสร้างแบบจำลองทำนายการปลอมปนน้ำตาลทราย (ซูโครส) ในน้ำตาลมะพร้าว เคี้ยวที่ระดับการปลอมปน 25 และ 50% (โดยน้ำหนักของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด) พบว่า การใช้เทคนิค PCA ยังไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวแท่งและน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวปลอมปนด้วยน้ำเชื่อมได้ แต่การใช้เทคนิค PLS สามารถใช้แยกความแตกต่างระหว่างน้ำตาลมะพร้าวแท่งและน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่มีการปลอมปนน้ำตาลทรายในระดับ 25 และ 50% ได้ จากผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าเทคนิค NIR สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวได้

น้ำตาลโตนดเป็นอีกผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทย การพัฒนาวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำตาลโตนดให้มีความถูกต้องแม่นยำและรวดเร็วจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการแปรรูปน้ำตาลโตนด จึงได้ทำการศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้เทคนิค NIR กับการควบคุมคุณภาพน้ำตาลโตนดสดในด้านองค์ประกอบทางเคมี โดยเมื่อใช้เทคนิค NIR ที่ช่วงคลื่น 12480-4000 cm^{-1} และทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคคณิตศาสตร์ร่วมกับการสร้างสมการด้วยเทคนิค PLS พบว่าสมการที่ใช้ทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่า pH ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และปริมาณความชื้น มีค่า R^2 เท่ากับ 0.898, 0.737, 0.414, 0.484 และ 0.391 ตามลำดับ

คำสำคัญ : น้ำตาลสด, น้ำตาลมะพร้าว, น้ำตาลโตนด, อินฟราเรดย่านใกล้, องค์ประกอบเคมี, การปลอมปน

Using near infrared spectroscopy analysis for determination of chemical constituents and adulterations of coconut and Palmyra palm sugars

Assistant Professor Eakaphan Keowmaneechai (Project Leader)

Faculty of Engineering And Industrial Technology Silpakorn University

Research Grants Fiscal Budget of Year 2012

Research and Development Institute, Silpakorn University

Year of completion 2015

Type of research Applied Research

Subjects (based NRCT) Agriculture and Biology, Agro-Industry

Abstract

Coconut sugar is an important agricultural produce of Thailand. The development of an accurate and rapid technique for quality evaluation of coconut sugars will be useful for the coconut sugar processing industry. Therefore, application of near-infrared spectroscopy (NIR) technique for quality control of coconut jaggery and crystallized coconut sugar in terms of chemical constituents and adulterations was investigated in this study. The NIR was performed by using the wavenumber region of 12480-4000 cm^{-1} . Pretreated NIR spectra were used to develop the calibration equations by partial least squares regression (PLS). Results showed that the calibration equations for predicting total soluble solids (TSS), glucose, fructose, sucrose, pH, titratable acidity (TA) and moisture content in coconut jaggery provided the coefficients of determination (R^2) as 0.956, 0.925, 0.967, 0.814, 0.937, 0.893 and 0.957, respectively. The calibration models for discriminating adulterations with sucrose solutions in coconut jaggery at the levels of 10, 25, 50, 75 and 100% (w/w) revealed that principal component analysis (PCA) could not discriminate authentic coconut jaggery from the adulterated ones. However, PLS model was able to indicate the adulteration level of more than 50% in coconut jaggery. For crystallized coconut sugar, results showed that the calibration equations for TSS, glucose, fructose, sucrose, pH, TA and moisture content provided R^2 as 0.689, 0.773, 0.925, 0.881, 0.819, 0.826 and 0.723, respectively. The calibration models for discriminating adulterations with sucrose in crystallized coconut sugar at the levels of 25 and 50% (by weight of TSS) indicated that PCA model could not

discriminate authentic and crystallizes from the adulterated ones. However, PLS model was able to discriminate the sugars with and without the adulterations. According to all of the results, the NIR technique can be applied for inspecting quality of coconut sugar.

Palmyra palm sugar is another important agricultural produce of Thailand. The development of an accurate and rapid technique for quality evaluation of Palmyra palm sugars will be useful for the Palmyra palm processing industry. Therefore, application of NIR technique for quality control of Palmyra palm jaggery in terms of chemical constituents was investigated in this study. The NIR was performed by using the wavenumber region of 12480-4000 cm^{-1} . Pretreated NIR spectra were used to develop the calibration equations by PLS. Results showed that the calibration equations for predicting TSS, pH, reducing sugar content, TA and moisture content in Palmyra palm jaggery provided the R^2 as 0.898, 0.737, 0.414, 0.484 and 0.391, respectively.

Key word: jaggery, palm sap, coconut sugar, palm sugar, adulteration,
near infrared spectroscopy

**ชื่อโครงการ การพัฒนาวิธีการตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในมังคุดและ
มะขามป้อมด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้**

ชื่อผู้วิจัย 1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ คุวิจิตรจากรู (หัวหน้าโครงการ)

2. รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณิศา โอปะณะโสภิต (ผู้ร่วมวิจัย)

แหล่งทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2555 และ 2556.สถาบันวิจัยและ
พัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีที่เสร็จ พ.ศ. 2558

ประเภทการวิจัย การวิจัยประยุกต์

สาขาวิชา เกษตรศาสตร์และชีววิทยา กลุ่มวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรด
ย่านใกล้ (NIRS) ในการตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูล
อิสระในมังคุดและมะขามป้อม โดยวัดสเปกตรัมของมังคุดในรูปแบบทั้งผล น้ำมังคุด และสารสกัดด้วย
เมทานอล และวัดสเปกตรัมมะขามป้อมวัดในรูปแบบทั้งผลและสารสกัดด้วยเมทานอลในช่วงความ
ยาวคลื่นตั้งแต่ 800-2500 นาโนเมตร ผลการศึกษาพบว่าการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและ
ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในเปลือกมังคุด น้ำมังคุดและผลมะขามป้อมด้วย NIRS ยังมี
ประสิทธิภาพไม่เพียงพอในการนำไปใช้งานจริง แต่การใช้ NIRS ในการวิเคราะห์ตัวอย่างสารสกัดด้วย
เมทานอลให้ผลการทำนายที่น่าพอใจ โดยสมการที่ดีที่สุดการทำนายค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิก
ทั้งหมดในช่วง 499-4,656 และ 360-4,200 mg GAE/L สำหรับสารสกัดจากเปลือกมังคุดและ
มะขามป้อมมีค่า R^2 ค่า RMSECV และค่า Bias เป็น 0.98, 171 mg GAE/L, -0.676 mg GAE/L และ
0.97, 198 mg GAE/L, -1.12 mg GAE/L ตามลำดับ และ สมการที่ดีที่สุดการทำนายค่าความสามารถ
ในการต้านอนุมูลอิสระในช่วง 5-48 และ 6-67 mmol Trolox/L สำหรับสารสกัดจากเปลือกมังคุดและ
มะขามป้อมมีค่า R^2 ค่า RMSECV และค่า Bias เป็น 0.97, 2.0 mmol Trolox/L, - 0.003 mmol
Trolox/L และ 0.97, 3.54 mmol Trolox/L และ 0.00 mmol Trolox/L ตามลำดับ

คำสำคัญ: เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ สารประกอบฟีนอลิก ความสามารถในการต้าน
อนุมูลอิสระ มังคุด มะขามป้อม

Rapid method development for phenolic compounds in the fruits of mangosteen and malacca tree using near infrared spectroscopy

Project Leader Assistant Professor Pramote Khuwijitjaru

Co-Researcher Associate Professor Praneet Opanasopit

Research Grants Research and Development Institute,
Silpakorn University (FY 2011-2012)

Year of completion 2014

Type of research Applied research

Subjects (NRCT) Agriculture and Biology, Agro-Industry

Abstract

The objective of this study was to evaluate the feasibility of near infrared spectroscopy (NIRS) for determination of phenolic compounds content and free radical scavenging capacity in fruits of mangosteen (*Garcinia mangostana* Linn) and malacca tree (*Phyllanthus emblica*). In this study, NIR spectra of mangosteen were measured in intact fruit, juice and methanolic extract while the NIR spectra of malacca tree fruit were measured in intact fruit and methanolic extract in a wavelength ranged from 800 to 2500 nm. Insufficient prediction performances were found for NIRS of intact fruit and juice of mangosteen and intact fruit of malacca tree while NIRS employing methanolic extracts resulted in reliable prediction. The best prediction models for total phenolic compound contents in the ranges 499-4,656 and 360-4,200 mg GAE/L for methanolic extracts of mangosteen peel and malacca gave R^2 , RMSECV, and Bias values of 0.98, 171 mg GAE/L, -0.676 mg GAE/L and 0.97, 198 mg GAE/L, -1.12 mg GAE/L, respectively while the best prediction models for free radical scavenging capacities in the ranges 5-48 and 6-67 mmol Trolox/L for methanolic extracts of mangosteen peel and malacca gave R^2 , RMSECV, and Bias values of 0.97, 2.0 mmol Trolox/L, -0.003 mmol Trolox/L and 0.97, 3.54 mmol Trolox/L, 0.00 mmol Trolox/L, respectively.

Keywords: Analytical method, Phenolic compounds, Extraction, Mangosteen (*Garcinia mangostana* Linn), Indian gooseberry (*Phyllanthus emblica*)

ชื่อโครงการ การพัฒนาระบบอุปกรณ์วัดคุณภาพอาหารด้วยคลื่นแสงจำเพาะในช่วงอินฟราเรดย่านใกล้สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร

ชื่อผู้วิจัย 1 อาจารย์ ดร.ศราวุธ ภูไพจิตรกุล (หัวหน้าโครงการ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

2 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศราภรณ์ มหาโยธี (ผู้ร่วมวิจัย)

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

แหล่งทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2556.....

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีที่เสร็จ 2558

ประเภทการวิจัย การวิจัยประยุกต์

สาขาวิชา (อ้างอิงตามวช.) เกษตรศาสตร์และชีววิทยา กลุ่มวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพอาหารที่สามารถติดตั้งในสายการผลิตในระดับอุตสาหกรรมพร้อมพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้งาน และสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์ค่าทางเคมีเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์แบบออนไลน์ เครื่องมือต้นแบบมีองค์ประกอบคือ แหล่งกำเนิดแสง เลนส์ อุปกรณ์แยกความถี่แสง กล้องรับสัญญาณภาพที่ใช้เซนเซอร์ชนิด CCD และสายพานลำเลียงเพื่อจำลองการวิเคราะห์แบบออนไลน์ กรณีศึกษาที่ใช้เลือกมะละกอขึ้นที่มี น้ำ น้ำตาล แป้งและเซลลูโลส เป็นองค์ประกอบหลัก สร้างแบบจำลองการวิเคราะห์ค่าทางเคมีได้แก่ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solids, TSS) โดยใช้เทคนิค Partial Least Square Regression (PLS) จากค่าการดูดกลืนแสง (สเปกตรัม) ในระบบสะท้อนกลับในช่วงความยาวคลื่น 400-1000 นาโนเมตรของชิ้นมะละกอที่ได้จากเครื่องมือต้นแบบ พบว่าแบบจำลองที่สร้างโดยใช้สเปกตรัมจากเครื่องต้นแบบให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของสมการการทำนายเท่ากับ 0.92 และเมื่อทำการทวนสอบสมการด้วยสเปกตรัมที่ได้ได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.647 ขณะที่แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมตัวอย่างที่ได้จากเครื่อง Handy Spec Field 1000 (Tech 5, Germany) มีค่า R^2 ของสมการการทำนายและสมการทวนสอบเท่ากับ 0.975 และ 0.855 ตามลำดับ แสดงถึงเครื่องมือที่ออกแบบในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในระดับที่สามารถใช้งานได้ แต่ยังคงมีความแม่นยำน้อยกว่าเครื่อง Handy Spec Field 1000 เนื่องจากข้อจำกัดของกล้องรับสัญญาณภาพ มีค่า sensitivity ในช่วงคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared, NIR) ที่ต่ำกว่า แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้มี

ความเข้มแสงในช่วง NIR ที่ต่ำ เมื่อทำการทดสอบแบบสายพานเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 เซนติเมตร ต่อวินาที พบว่าเกิดความคลาดเคลื่อนในการทำนายสูงถึง 13.25% เมื่อวิเคราะห์แบบการใช้ความยาวคลื่นจำเพาะพบว่าเครื่องมือต้นแบบยังวัดสเปกตรัมได้ไม่ละเอียดพอที่จะทำนายค่าได้แม่นยำ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและปรับปรุงเครื่องมือเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนายคุณภาพของอาหารต่อไป

คำสำคัญ : อินฟราเรดย่านใกล้, แบบจำลองคุณภาพ, คุณภาพอาหาร, การวัดออนไลน์

Development of NIR system with specific wavelength source for an online quality determination in food industry.

Researcher Dr. Sarawut Phupaichitkun.....(Project Leader)

Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

Researcher Assist. Prof. Dr. Busarakorn Mahayothee (Co-Researcher)

Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

Research Grants Fiscal Budget of Year 2013 ,

Research and Development Institute, Silpakorn University

Year of completion 2015

Type of research applied research

Subjects (based NRCT) Agriculture and Biology, Agro-Industry

Abstract

The objectives of this study are to develop an online prototype instrument for determination the properties of agricultural produces and food products including software and prediction model for an online application. The instrument consists of light source, lens, grating, camera equipped with CCD sensor and conveyor. Fresh-cut papaya mainly contained water sugar and cellulose was as case study in this work. Partial Least Square Regression (PLS) prediction models were developed using reflectance spectra at 400 -1000 nm acquired from prototype instrument and Handy Spec Field 1000 (Tech5, Germany). Prediction model established using spectra from prototype provided the coefficient of determination (R^2) at 0.92 for calibration. Prediction model was validated using the spectral extracted from online image and the accuracy was shown at R^2 of 0.647. Better prediction performance was found at R^2 for calibration and validation at 0.975 and 0.855 respectively when using spectra from Handy Spec Field 1000. Using prototype prediction model for online prediction gave an error at 13.25%. High prediction error may cause by the sensitivity of the camera and the intensity of the light source which limit at NIR wavelength. No correlation was found using a set of specific-wavelength from prototype equipment, in contrast with that from Handy Spec Field. Therefore, further study is required more sensitivity and precise spectra to improve the prediction ability.

Key words: Quality model, food quality, online measurement

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อโครงการย่อยที่ 1	ข
บทคัดย่อโครงการย่อยที่ 2	จ
บทคัดย่อโครงการย่อยที่ 3	ฉ
บทคัดย่อโครงการย่อยที่ 4	ฐ
บทคัดย่อโครงการย่อยที่ 5	ณ
บทคัดย่อโครงการย่อยที่ 6	ท
บทคัดย่อโครงการย่อยที่ 7	น
บทที่ 1	1
บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของชุดโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับการวิจัย	8
1.6 รายชื่อผู้บริหารชุดโครงการวิจัย	8
บทที่ 2	11
ผลการดำเนินงาน	11
2.1 การบริหารชุดโครงการวิจัย	11
2.2 รายละเอียดผลการดำเนินงานของชุดโครงการวิจัย	11

2.2.1 โครงการที่ 1 การประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้สำหรับการประเมินปริมาณอมิโกลินในข้าวเจ้าที่ผ่านการขัดสี	11
2.2.2 โครงการที่ 2 การใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการตรวจสอบและทำนายอัตราส่วนน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมดของผลไม้แช่อิ่มก่อนกระบวนการอบแห้ง	12
2.2.3 โครงการที่ 3 การพัฒนาวิธีการตรวจสอบสารพิษตกค้างในผักสดแบบรวดเร็วด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้: กรณีศึกษาในถั่วฝักยาวและพริก	13
2.2.4 โครงการที่ 4 การตรวจสอบและทำนายคุณภาพภายในของผลไม้ที่ผ่านการเคลือบผิวแบบรวดเร็วด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้	14
2.2.5 โครงการที่ 5 การใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและการปลอมปนของน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโตนด	14
2.2.6 โครงการที่ 6 การพัฒนาวิธีการตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในมังคุดและมะขามป้อมด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้	15
2.2.7 โครงการที่ 7 การพัฒนาระบบอุปกรณ์วัดคุณภาพอาหารด้วยคลื่นแสงจำเพาะในช่วงอินฟราเรดย่านใกล้สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร	17
บทที่ 3	18
การเผยแพร่ผลงานวิจัย	18
บทที่ 4	20
เอกสารอ้างอิง	20

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของชุดโครงการวิจัย

ภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีระดับของความสามารถในการแข่งขันอยู่ในระดับต่ำ และมีการลงทุนทางด้านการวิจัยและพัฒนา (R & D) ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับประเทศที่กำลังพัฒนาอื่นๆ ในภูมิภาคเดียวกัน จึงเป็นสาเหตุให้เศรษฐกิจของไทยอยู่ในกลุ่มที่เรียกว่า resource-based growth นั่นคืออาศัยต้นทุนวัตถุดิบและต้นทุนแรงงานที่ต่ำในการแข่งขันกับประเทศต่างๆ แต่ในอนาคตนั้นความได้เปรียบในด้านต้นทุนที่ต่ำกำลังเคลื่อนไปยังประเทศอื่นๆ เช่น เวียดนาม ลาว เป็นต้น อุตสาหกรรมเกษตรและอุตสาหกรรมอาหารเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศซึ่งรัฐบาลมีนโยบายในการสนับสนุนอุตสาหกรรมเกษตรและภาคเกษตรอย่างจริงจัง (คำแถลงการณ์นโยบายรัฐบาลของนายอภิสิทธิ์ เวชชาชีวะ เมื่อวันที่ 29 ธันวาคม 2551) ในขณะที่อุตสาหกรรมเกษตรและอาหารก็ไม่แตกต่างจากอุตสาหกรรมอื่นๆ กล่าวคือโดยส่วนใหญ่ยังเป็นการแข่งขันในเชิงต้นทุน ขาดการลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ

นอกจากนี้ เทคนิคการวิเคราะห์และการตรวจสอบคุณภาพเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่อุตสาหกรรมของไทยยังไม่ได้มีการพัฒนาให้เทียบเคียงกับต่างประเทศ การวิเคราะห์และการตรวจสอบคุณภาพที่ต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อน เช่น เครื่อง High pressure liquid chromatography (HPLC), Gas chromatography (GC) มักจะถูกส่งไปยังหน่วยงานตรวจสอบกลางของรัฐ หรือบริษัทรับตรวจวิเคราะห์เป็นหลัก เนื่องจากการขาดเครื่องมือที่มีราคาแพง และขาดบุคลากรในภาคอุตสาหกรรมที่มีความชำนาญในการตรวจวิเคราะห์ การวิเคราะห์บางส่วนใช้เทคนิคอย่างง่าย ๆ เพื่อลดต้นทุนแต่ให้ผลการตรวจสอบที่มีความคลาดเคลื่อนสูง ไม่สามารถใช้ในการรับรองสินค้าเพื่อการส่งออกได้ เช่น การใช้ชุดทดสอบ (test kit) สำหรับตรวจสอบยาฆ่าแมลงตกค้างในพืชผัก

การพัฒนาการตรวจสอบแบบรวดเร็ว (Rapid analytical method) ที่มีความแม่นยำสูงสำหรับอุตสาหกรรมแขนงต่างๆ เป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งในปัจจุบันเทคนิคการตรวจสอบแบบรวดเร็วที่ได้รับการยอมรับและพัฒนาไปในอุตสาหกรรมหลายแขนง คือเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy, NIR) เช่น อุตสาหกรรมการผลิตส้มทั้งผลในประเทศญี่ปุ่นพัฒนาระบบนี้เพื่อการตรวจสอบแบบ 100 % (JA Mikkabi Orange Sorting Facility) ในด้านการประกันคุณภาพความหวานแก่ลูกค้าซึ่งให้ผลดีมาก หรือการตรวจสอบปริมาณกรดอะมิโนในใบชา (Shizuoka Tea Experiment Station) เพื่อแบ่งเกรดชาเขียวที่มีคุณภาพต่างกันสำหรับการจำหน่ายในราคาที่แตกต่างกัน

อุตสาหกรรมเกษตรและอาหารของไทยหลายแขนงที่ต้องการเทคนิคในการวิเคราะห์วัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ที่ย่างยากซับซ้อน ได้แก่

1. อุตสาหกรรมผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวหรือขนมขบเคี้ยวต้องการทราบปริมาณอิมัลซิฟิเคชันของข้าวก่อนนำไปแปรรูป
2. อุตสาหกรรมผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งต้องการทราบอัตราส่วนของน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมดของผลไม้แช่อิ่มก่อนการอบแห้งเพื่อให้ได้คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่สม่ำเสมอ
3. อุตสาหกรรมผักสดส่งออกต้องการวิเคราะห์ปริมาณสารพิษตกค้างก่อนการจัดส่ง
4. อุตสาหกรรมผลไม้ต้องการวัดคุณภาพของผลไม้ที่ผ่านการเคลือบทุกผลโดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง
5. อุตสาหกรรมน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโตนดต้องการตรวจสอบองค์ประกอบและทดสอบการปลอมปนของน้ำตาล
6. อุตสาหกรรมยาและอาหารเพื่อสุขภาพที่ใช้พืชที่มีสารประกอบฟีนอลิกเป็นวัตถุดิบต้องการทราบปริมาณสารฟีนอลิกในวัตถุดิบเริ่มต้นก่อนการผลิต

ซึ่งจากตัวอย่างการวิเคราะห์ที่จำเป็นในอุตสาหกรรมที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ล้วนแต่ต้องอาศัยเทคนิคทางเคมีที่สิ้นเปลืองสารเคมี ใช้เวลานาน และส่วนใหญ่ต้องการเครื่องมือที่มีราคาสูงมากซึ่งไม่สอดคล้องกับลักษณะธุรกิจของอุตสาหกรรมเหล่านี้ในประเทศไทย ดังนั้นชุดโครงการวิจัยนี้ซึ่งประกอบด้วย 7 โครงการย่อย ที่ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิค สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ เพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์แบบรวดเร็วสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยนอกจากทำการศึกษาเพื่อสร้างสมการต้นแบบสำหรับการสอบเทียบ (CalibrationX ระหว่างเทคนิค NIR กับวิธีทางเคมีแล้ว

7. ชุดโครงการนี้ยังมีการศึกษาการนำผลที่ศึกษาได้ไปพัฒนาอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิดที่ศึกษาในชุดโครงการนี้ด้วย ซึ่งจะทำการพัฒนาในเชิงวิศวกรรม เช่น การออกแบบอุปกรณ์ การออกแบบซอฟต์แวร์ เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

การพัฒนาและสร้างมาตรฐานกระบวนการตรวจสอบแบบรวดเร็วของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมอาหารและการเกษตรด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ เน้นกลุ่มข้าว ผักและผลไม้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

8. พัฒนาการใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR) ในการควบคุมคุณภาพข้าวก่อนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าว โดยใช้ NIR ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น ปริมาณอมิโลส เป็นต้น และการเปลี่ยนแปลงกายภาพของข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา (โครงการที่ 1)
9. พัฒนาการใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ ในการตรวจสอบและทำนายอัตราส่วนของน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมด (reducing sugar/total sugar; RS/TS) ในขึ้นผลไม้แช่อิ่มก่อนการอบแห้ง เพื่อพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพในกระบวนการแช่อิ่มผลไม้นอกการอบแห้ง ลดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา การขนส่ง และการจำหน่าย ลดการใช้สารเคมี เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และประหยัดเวลาในการวิเคราะห์ลงได้ ผลไม้ที่เลือกศึกษา ได้แก่ สับปะรด มะม่วง และมะละกอ ซึ่งเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่มีการแปรรูปเป็นผลไม้แช่อิ่มและประเทศไทยส่งออกเป็นอันดับต้นๆ ของโลก (โครงการที่ 2)
10. พัฒนาเทคนิคในการตรวจวัดการปนเปื้อนของสารพิษตกค้างจากยาฆ่าแมลงแบบรวดเร็ว (rapid method) ด้วยสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับทั้งในระดับอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกพืชผักสด และนำมาใช้กับการตรวจสอบการปนเปื้อนของสินค้าพืชผักสดในท้องตลาด โดยจะศึกษาการปนเปื้อนของสารพิษจากยาฆ่าแมลงในพืชผักสดที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจโดย คัดเลือกสารพิษตกค้างที่เป็นปัญหา ได้แก่ ถั่วฝักยาว และพริก (โครงการที่ 3)
11. ศึกษาผลของการใช้สารเคลือบผลไม้ต่อประสิทธิภาพในการตรวจสอบคุณภาพภายในด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้และพัฒนาเทคนิคนี้ เพื่อใช้ในการทำนายคุณภาพของผลไม้ ได้แก่ ส้ม และมะม่วงที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบชนิดต่างๆ เช่น สารเคลือบที่ผลิตจาก โพลีแซคคาไรด์ ไชมัน สารผสมระหว่างโพลีแซคคาไรด์กับไชมัน และแวกซีนผลไม้ เป็นต้น (โครงการที่ 4)
12. ศึกษาการใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และตรวจสอบการปลอมปนของน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโตนด ทั้งที่เป็นน้ำตาลสดและที่เป็นน้ำตาลเคี้ยว วัตถุประสงค์ที่ทำการศึกษาได้แก่ น้ำตาลมะพร้าวสดและน้ำตาลโตนดสดที่ซื้อมาจากผู้จำหน่ายน้ำตาลสดในจังหวัด ราชบุรี เพชรบุรี สมุทรสาคร และจังหวัดสมุทรสงคราม ซึ่งการทำน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโตนดถือเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนที่ดำเนินสืบทอดกันมาเป็นระยะเวลายาวนานในประเทศไทย แต่ยังไม่มีการควบคุมคุณภาพอย่างเป็นระบบ การควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าวสดได้ จะช่วยควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

น้ำตาลมะพร้าวแปรรูปได้เป็นอย่างดี อันจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการโครงการหนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์ เพื่อให้แต่ละชุมชนสามารถใช้ทรัพยากรและภูมิปัญญาท้องถิ่นในการพัฒนาสินค้า (โครงการที่ 5)

13. พัฒนาการใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ สำหรับการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกในพืช โดยจะศึกษาในพืชที่มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูง เช่น มังคุด มะขามป้อม เป็นต้น ซึ่งปัญหาสำคัญของการใช้พืชสมุนไพรในการผลิตยาหรืออาหารเพื่อสุขภาพคือการตรวจวัดปริมาณของสารสำคัญซึ่งมีความยุ่งยาก ปริมาณสารสำคัญต่างๆในพืชมักจะมีค่าแปรปรวนสูงเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ของการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการตรวจวัดปริมาณสารสำคัญเหล่านี้ในวัตถุดิบก่อนนำไปแปรรูปเป็นยาหรืออาหารเพื่อสุขภาพ (โครงการที่ 6)
14. เพื่อสร้างและทดสอบระบบการวัดคุณภาพอาหารแบบออนไลน์ในโรงงานอุตสาหกรรม จะพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้จากช่วงคลื่นจำเพาะหลายช่วงคลื่นเพื่อทดแทนใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ทั้งหมด (750-2500 นาโนเมตร) อันจะเป็นการลดต้นทุนเมื่อเทียบกับการซื้อเครื่องเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ที่มีขายในตลาดปัจจุบัน โดยจะอ้างอิงข้อมูลต่างๆ จากโครงการที่ 1-6 (โครงการที่ 7)

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่นำมาใช้ในแผนงานวิจัย

เพื่อให้งานวิจัยนี้ได้ดำเนินไปและบรรลุผลตามมุ่งหวังจึงได้จัดแผนงานให้สอดคล้องกับการดำเนินการในส่วนของโครงการย่อย แผนงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 การพัฒนาและสร้างมาตรฐานกระบวนการตรวจสอบแบบรวดเร็วของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมอาหารและการเกษตรด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ เน้นกลุ่มข้าว ผักและผลไม้ ประกอบไปด้วย 6 โครงการดังนี้

โครงการที่ 1 การประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้สำหรับการประเมินปริมาณอมิโกลสในข้าวเจ้าที่ผ่านการขัดสี

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและติดตามการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของข้าวสายพันธุ์ต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา และวิเคราะห์ปริมาณอมิโกลสมาตรฐานของข้าวเจ้าที่ผ่านการขัดสีที่นิยมนำมาใช้ในการแปรรูปในอุตสาหกรรมอาหารร่วมกับการใช้เทคนิค NIR เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของข้าวที่มีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำไปทำให้อสุก หรือแปรรูปแล้วทำให้เกิดปัญหาการปนกันระหว่างข้าวต่างคุณภาพ ซึ่งส่งผลต่อการบริโภคทั่วไป และยังก่อความยุ่งยากต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากข้าว เช่น ก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ เป็นต้น ปริมาณอมิโกลสเป็นปัจจัยที่ทำให้เมล็ดข้าวมีคุณภาพ

ข้าวสุกต่างกันและมีโมเลกุลที่ประกอบไปด้วย O-H, C-H, N-H และ C=H ดังนั้นจึงทำให้เทคนิค NIR สามารถนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของข้าวได้

โครงการที่ 2 การใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการตรวจสอบและทำนายอัตราส่วนน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมดของผลไม้แช่อิ่มก่อนกระบวนการอบแห้ง

ศึกษาประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการตรวจสอบอัตราส่วนของน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมด (reducing sugar/total sugar; RS/TS) ในชิ้นผลไม้แช่อิ่มก่อนการอบแห้งได้แก่ สับปะรด มะม่วง และมะละกอ ซึ่งเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่มีการแปรรูปเป็นผลไม้แช่อิ่มและประเทศไทยส่งออกเป็นอันดับต้นๆ ของโลก ปัจจัยที่ส่งผลให้ผลไม้แช่อิ่มอบแห้งมีลักษณะเหนียวเยิ้มคือการมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในชิ้นของผลไม้ก่อนการอบแห้งมาก หากมีอัตราส่วนของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมดที่สูงหรือต่ำก็จะส่งผลให้ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ทำให้ผลิตภัณฑ์อายุการเก็บรักษาสั้น ดังนั้นหากต้องการควบคุมคุณภาพของผลไม้แช่อิ่มอบแห้งจึงจำเป็นต้องควบคุมอัตราส่วนของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมดในชิ้นผลไม้ที่ผ่านการแช่ในสารละลายออกซิเมติกก่อนการอบแห้ง และยังเป็นปัจจัยคุณภาพที่ทุกโรงงานที่ผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้งสำหรับการส่งออกใช้ในการตรวจวิเคราะห์ในปัจจุบัน เพื่อประกันคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบแห้งและระหว่างการเก็บรักษาหรือระหว่างการขนส่งและจำหน่าย แต่กระบวนการวิเคราะห์ในปัจจุบัน ใช้การวิเคราะห์ทางเคมี ต้องทำลายชิ้นตัวอย่าง และไม่สามารถตรวจสอบชิ้นผลไม้ได้ร้อยละ 100 ดังนั้นจึงนำเทคนิค NIR มาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพในกระบวนการแช่อิ่มผลไม้ก่อนการอบแห้ง ลดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา การขนส่ง และการจำหน่าย ลดการใช้สารเคมี เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และประหยัดเวลาในการวิเคราะห์หลังได้

โครงการที่ 3 การพัฒนาวิธีการตรวจสอบสารพิษตกค้างในผักสดแบบรวดเร็วด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้: กรณีศึกษาในถั่วฝักยาวและพริก

ศึกษาการปนเปื้อนของสารพิษจากยาฆ่าแมลงในถั่วฝักยาว และพริก โดยคัดเลือกสารพิษตกค้างที่เป็นปัญหาในการส่งออก เช่น carbofuran, chlorpyrifos เป็นต้น เนื่องจากปัญหาสารพิษตกค้างจากยาฆ่าแมลงในพืชผักสดเป็นปัญหาสำคัญของประเทศที่ยังมีการพบอยู่อย่างต่อเนื่อง แม้กระทั่งในพืชผักที่ส่งออกไปจำหน่ายในต่างประเทศ สำหรับพืชผักที่จำหน่ายในประเทศนั้นมีการตรวจสอบน้อยมาก เนื่องจากการตรวจสอบสารพิษตกค้างจากยาฆ่าแมลงมีความยุ่งยาก ใช้เวลาและเครื่องมือราคาแพง ค่าใช้จ่ายสูง ส่วนชุดตรวจสอบ (ชุด Kit) นั้นยังมีข้อจำกัดของชนิดสารที่ตรวจสอบได้และมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้สูง ดังนั้นการพัฒนาเทคนิคที่สามารถตรวจสอบปริมาณสารพิษ

ตกค้างจากยาฆ่าแมลงในพืชผักสดจึงเป็นปัญหาวิจัยที่ควรได้รับการศึกษา ซึ่งเทคนิคหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูงคือเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR)

โครงการที่ 4 การตรวจสอบและทำนายคุณภาพภายในของผลไม้ผ่านการเคลือบผิวแบบรวดเร็วด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้

ศึกษาผลของการใช้สารเคลือบผลไม้ต่อประสิทธิภาพในการตรวจสอบคุณภาพภายในด้วยเทคนิค NIR และพัฒนาเทคนิค NIR เพื่อใช้ในการทำนายคุณภาพของผลไม้ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบชนิดต่างๆ เนื่องจากปัญหาด้านระยะทางทำให้ต้องใช้เวลาในการขนส่งค่อนข้างนาน อีกทั้งสถานะในการขนส่งบางครั้งไม่เหมาะสม เช่น มีอุณหภูมิในระหว่างการขนส่งที่สูงหรือต่ำเกินไปสำหรับผลไม้ชนิดนั้นๆ การกระแทกหรือลักษณะการจัดวางที่ทำให้เกิดการชำรุดหรือแผล ที่ช่วยกระตุ้นให้ผลไม้มีอัตราการหายใจ และการคายน้ำที่สูงขึ้น ทำให้ผลไม้เข้าสู่กระบวนการสุกและเสื่อมเสียได้ไวคุณภาพของผลไม้จึงลดลง (Melendez และคณะ; 2008) จากปัญหาดังกล่าวนักวิจัยจึงได้คิดค้นการเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารชนิดต่างๆ เพื่อช่วยลดอัตราการหายใจ การคายน้ำของผลไม้ จึงช่วยชะลอการสุกและยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ โดยสารเคลือบผิวนั้นมีทั้งชนิดที่ผลิตจากสารเคมีที่ไม่สามารถรับประทานได้ และสารเคลือบจากสารธรรมชาติที่รับประทานได้ได้ อย่างไรก็ตามในการเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารเคลือบในสถานะที่ไม่เหมาะสมพบว่าทำให้ผลไม้มีการเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้อ การพัฒนาของสีผิว สีเนื้อที่ช้ากว่าผลไม้ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว รสชาติ เช่น รสหวาน รสเปรี้ยว และกลิ่นรสที่ผิดปกติ เนื่องจากการเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากการเคลือบผิว ทำให้มีคุณภาพที่แตกต่างและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้โดยไม่ทำลายตัวอย่างในระหว่างการเก็บรักษาหรือจำหน่าย ซึ่งเทคนิค NIR มีความเป็นไปได้ในการตรวจสอบและทำนายคุณภาพภายในของผลไม้ผ่านการเคลือบผิวได้ เนื่องจากคุณภาพภายในของผลไม้เกี่ยวข้องกับสารประกอบที่มีหมู่ C, H, O และ N เป็นองค์ประกอบ

โครงการที่ 5 การใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและการปลอมปนของน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโตนด

ศึกษาวิธีการใช้เทคนิค NIR ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและตรวจสอบการปลอมปนของน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโตนด ทั้งที่เป็นน้ำตาลสดและที่เป็นน้ำตาลเคี้ยว ปัญหาที่พบและส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ คือ น้ำตาลสดซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตที่ได้จากการเก็บเกี่ยวนั้นมีความแปรปรวนทางด้านองค์ประกอบทำให้มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ รวมถึงพบปัญหาการปลอมปนต่างๆ เช่น น้ำและน้ำตาลซูโครสหรือน้ำตาลทรายลงในน้ำตาลมะพร้าวสด การเติมเบะแซและน้ำตาลทรายลงในน้ำตาลเคี้ยว ดังนั้น การควบคุมคุณภาพของน้ำตาลสดซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักโดยการตรวจสอบ

องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณน้ำ ซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส และปริมาณกรดทั้งหมด (total acidity) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่บ่งบอกถึงคุณภาพของวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าวสดได้ จะช่วยควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวแปรรูปได้เป็นอย่างดี โดยน้ำตาลมะพร้าวและตาลโตนดทั้งกับน้ำตาลมะพร้าวและตาลโตนดที่มีการปลอมปนจะมีสัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน คือ สัดส่วนของ น้ำ ซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส โปรตีน ไขมัน กรดอินทรีย์ และพอลิฟีนอล ซึ่งมีธาตุ C, H, N และ O เป็นองค์ประกอบ ทำให้อาจจะสามารถบ่งชี้เอกลักษณ์ได้ด้วยเทคนิค NIR

โครงการที่ 6 การพัฒนาวิธีการตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในมังคุดและมะขามป้อมด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

ประเทศไทยเป็นแหล่งของพืชสมุนไพรที่มีความหลากหลายสูงซึ่งพืชจำนวนมากมีสารพฤกษเคมี (phytochemicals) ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยเฉพาะในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกซึ่งมีฤทธิ์ด้านการเกิดออกซิเดชันนั้นช่วยป้องกันการเกิดโรคได้หลายชนิด ในปัจจุบันพืชหลายชนิด เช่น มังคุด มะขามป้อมได้ถูกนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ เช่น ในรูปของเครื่องดื่ม หรือแคปซูล เป็นต้น แต่ปัญหาสำคัญของการใช้พืชสมุนไพรในการผลิตยาหรืออาหารเพื่อสุขภาพคือการตรวจวัดปริมาณของสารสำคัญซึ่งมีความยุ่งยาก ปริมาณสารสำคัญต่างในพืชมักจะมีค่าแปรปรวนสูงเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ของการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการตรวจวัดปริมาณสารสำคัญเหล่านี้ในวัตถุดิบก่อนนำวัตถุดิบไปแปรรูปเป็นยาหรืออาหารเพื่อสุขภาพ การพัฒนาเทคนิคในการตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ด้านการเกิดออกซิเดชันแบบรวดเร็ว (rapid method) ด้วยเทคนิค NIR จึงมีความจำเป็นสำหรับการตรวจวัดวัตถุดิบเหล่านี้

ส่วนที่ 2 สร้างระบบการวัดคุณภาพอาหารแบบออนไลน์ในโรงงานอุตสาหกรรม จากช่วงคลื่นจำเพาะหลายช่วงคลื่นเพื่อทดแทนใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ทั้งหมด (750-2500 นาโนเมตร) ประกอบไปด้วย 1 โครงการดังนี้

โครงการที่ 7 การพัฒนาระบบอุปกรณ์วัดคุณภาพอาหารด้วยคลื่นแสงจำเพาะในช่วงอินฟราเรดย่านใกล้สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร

เพื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองกราฟคอเรลโลแกรมที่ได้จากช่วงคลื่นจำเพาะของสารอาหารเพื่อทำนายคุณภาพอาหารด้วยเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้ พัฒนาระบบการวัดด้วยการใช้ช่วงคลื่นจำเพาะหลายช่วงคลื่นเพื่อทดแทนการสแกนคลื่นช่วง NIR และสร้างและทดสอบระบบวัดคุณภาพของอาหารในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเครื่อง NIR ที่ใช้ในการวัดเชิงคุณภาพและปริมาณในปัจจุบันเป็นเครื่องมือที่สแกนคลื่นความถี่ตลอดช่วงส่งผลให้ตัวเครื่อง NIR มีราคาสูง จากผลงานวิจัยจำนวนมากระบุช่วงคลื่นความถี่ที่จำเพาะสำหรับสารอาหาร ดังนั้นหากมีเครื่อง NIR ที่มี

แหล่งกำเนิดคลื่นจำเพาะเพื่อวิเคราะห์สารอาหารที่มีความสำคัญต่อการติดตามการผลิต จะทำให้ได้เครื่องที่สามารถวัดคุณภาพอาหารและคำนวณคุณค่าทางอาหารแบบออนไลน์ได้ในราคาเหมาะสมกับอุตสาหกรรมของประเทศไทย

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับการวิจัย

1. สามารถนำผลวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในภาคการเกษตรและอุตสาหกรรม (โครงการที่ 1-7)
2. เพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการโครงการหนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์ ในจังหวัด ราชบุรี เพชรบุรี สมุทรสาคร และจังหวัดสมุทรสงคราม เพื่อให้แต่ละชุมชนสามารถใช้ทรัพยากร และภูมิปัญญาท้องถิ่นในการพัฒนาสินค้า โดยสามารถนำเอาเทคนิค NIR มาใช้ประโยชน์เพื่อจัดระดับชั้นคุณภาพ (grade) ของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโตนดได้ (โครงการที่ 5)
3. เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง การแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าว การเคลือบผลไม้ และการตรวจการปลอมปนหรือการปนเปื้อนในผัก ผลไม้และผลิตภัณฑ์ (โครงการที่ 1-7)
4. เกิดองค์ความรู้ใหม่ที่เป็นประโยชน์ สร้างอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ราคาถูกลง ที่เหมาะสมกับการใช้งานในภาคอุตสาหกรรม อันจะนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ (โครงการที่ 7)

1.6 รายชื่อผู้บริหารชุดโครงการวิจัย

1. ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย

ผศ.ดร. บุศราภรณ์ มหาโยธี

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

โทรศัพท์ 0-3421-9361 โทรสาร 0-3427-2194

2. ผู้ประสานงาน/ผู้วางแผน/เลขานุการแผนงานวิจัย

ผศ.ดร. ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

3. ที่ปรึกษาของแผนงานวิจัย

คุณปภาวี สุธาวิวัฒน์ กรรมการผู้จัดการบริษัท สวิฟท์ จำกัด

1.4 หัวหน้าโครงการวิจัยที่ 1-7 ประกอบด้วย

โครงการที่ 1	หัวหน้าโครงการ	ผศ.ดร. บัณฑิต อินนวงศ์ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000
โครงการที่ 2	หัวหน้าโครงการ ผู้ร่วมโครงการ	ผศ.ดร.บุศราภรณ์ มหาโยธี ผศ.ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000
โครงการที่ 3	หัวหน้าโครงการ ผู้ร่วมโครงการ ผู้ร่วมโครงการ	ผศ.ดร.ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000 ผศ.ดร.บุศราภรณ์ มหาโยธี ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000 อาจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ บรรโธเพ็ชร ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000
โครงการที่ 4	หัวหน้าโครงการ	ผศ.ดร.บุศราภรณ์ มหาโยธี ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000
โครงการที่ 5	หัวหน้าโครงการ	ผศ.ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

โครงการที่ 6	หัวหน้าโครงการ	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000 ผศ.ดร.ปราโมทย์ คุวิจิตรจารุ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร
	ผู้ร่วมโครงการ	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000 รศ.ดร. ปราณิต โอปนะโสภิต ภาควิชาเทคโนโลยีเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000
โครงการที่ 7	หัวหน้าโครงการ	อาจารย์ ดร.ศราวุธ ภูไพจิตรกุล ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ
	ผู้ร่วมโครงการ	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000 ผศ.ดร. บุศราภรณ์ มหาโยธี ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

บทที่ 2

ผลการดำเนินงาน

2.1 การบริหารชุดโครงการวิจัย

ในส่วนของแผนการบริหารชุดโครงการวิจัย ได้ดำเนินการเพื่อให้เป็นไปตามแผนการดำเนินงานวิจัยที่ได้เสนอไว้ โดยได้ดำเนินการต่อไปนี้

- ประสานงานเพื่อจัดเตรียมรายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัยทุก 6 เดือน
- ประสานงานเพื่อจัดเตรียมรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์
- จัดประชุมสัมมนาครั้งที่ 1 เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพของผลิตผลการเกษตรและผลิตภัณฑ์อาหารอย่างรวดเร็วด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ เพื่อให้ความรู้แก่นักศึกษาระดับปริญญาตรี ปริญญาโท ผู้ประกอบการ และบุคคลที่สนใจเกี่ยวข้อง โดยมีผู้เข้าร่วมอบรมทั้งหมด 48 คน
- จัดอบรมสัมมนาครั้งที่ 2 เรื่อง การใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อให้ความรู้แก่นักศึกษาระดับปริญญาตรี ปริญญาโท และบุคคลที่สนใจเกี่ยวข้อง โดยมีผู้เข้าร่วมอบรมทั้งหมด 32 คน

2.2 รายละเอียดผลการดำเนินงานของชุดโครงการวิจัย

รายละเอียดของผลการดำเนินงานของโครงการที่ได้ดำเนินการทั้ง 7 โครงการ สรุปได้ดังนี้

2.2.1 โครงการที่ 1 การประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้สำหรับการประเมินปริมาณอมิโกลในข้าวเจ้าที่ผ่านการขัดสี

การประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้สำหรับการประเมินปริมาณอมิโกลในข้าวเจ้าที่ผ่านการขัดสี มีการวัดสเปกตรัมในข้าวที่ควบคุมความชื้น โดยนำตัวอย่างข้าวที่ผ่านการบดไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส นาน 1-6 ชั่วโมง และมีการควบคุมขนาดของอนุภาคของตัวอย่าง โดยศึกษาที่ขนาดอนุภาคที่ 150, 300, 500 และ 850 ไมโครเมตร โดยจากการทดลองพบว่า จากการควบคุมความชื้นตัวอย่างขึ้นต้นพบว่า เส้นสเปกตรัมที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ จะมีความเรียบและซ้อนทับกัน ทำให้ได้ค่าสมการทำนายที่มีค่า R และค่า RPD ที่สูง หากมีการควบคุมขนาดอนุภาคควบคู่ไปกับการควบคุมความชื้นไปด้วยจะทำให้ได้ค่า R สูงถึง 0.98 เนื่องจากการควบคุมความชื้นเป็นการลดการรบกวนของช่วงคลื่นน้ำ เพราะน้ำจะมีความไวต่อช่วงคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้มาก ถ้าตัวอย่างที่นำมาทดสอบไม่ได้มีการควบคุม

ปริมาณน้ำที่เหมาะสมก็จะทำให้ค่าที่ทำนายไม่ถูกต้องและแม่นยำ ส่วนการลดขนาดจะเป็นการช่วยในเรื่องของการบรรจุตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ การบรรจุตัวอย่างที่มีความสม่ำเสมอจะช่วยให้การวัดด้วยเทคนิค สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ มีความแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การบดตัวอย่างข้าวจะทำให้ข้าวมีพื้นผิวที่ขรุขระ ซึ่งมีผลทำให้เกิดการสะท้อนของแสงอินฟราเรดย่านใกล้ได้มาก และหากคำนวณถึงความยาวที่คลื่นอินฟราเรดย่านใกล้จะส่องไปถึงก็จะพบว่า การที่ตัวอย่างมีขนาดเล็กลงจะทำให้คลื่นอินฟราเรดส่องผ่านไปได้มากเมื่อนับเป็นจำนวนอนุภาคที่คลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ส่องผ่าน ดังนั้น เทคนิคในการเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ จะต้องมีการควบคุมให้ดี นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงความสะอาดและรวดเร็วในการเตรียมตัวอย่างด้วย เพราะเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ เป็นเทคนิคที่มุ่งเน้นให้ผู้ใช้งานเกิดความสะอาดและรวดเร็วมากที่สุด

2.2.2 โครงการที่ 2 การใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการตรวจสอบและทำนายอัตราส่วนน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมดของผลไม้แช่อิ่มก่อนกระบวนการอบแห้ง

- การใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการตรวจสอบและทำนายอัตราส่วนน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมดของมะม่วงแช่อิ่มก่อนกระบวนการอบแห้ง

การใช้เทคนิค NIR ในการหาความสัมพันธ์ของน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมดในมะม่วงที่ระดับ resolution เท่ากับ 32 จำนวน scan เท่ากับ 64 วินาที ที่เลขคลื่น $12500-4000\text{ cm}^{-1}$ ผ่านการปรับเส้นสเปกตรัมด้วยวิธี First derivative + MSC พบว่ามีความสามารถในการทำนายและมีความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง เนื่องจากมีค่า R^2 (สัมประสิทธิ์ของการพิจารณา) เท่ากับ 0.9471 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การทำนายเพื่อการประกันคุณภาพมีค่า RPD เท่ากับ 4.43 ซึ่งจัดเป็นค่าที่สูง และมีค่าความผิดพลาดเช่น RMSEP เท่ากับ 0.0511 และ ค่า bias เท่ากับ 0.00966 ที่ต่ำและเป็นที่ยอมรับ

- การใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการตรวจสอบและทำนายอัตราส่วนน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมดของสับปะรดแช่อิ่มก่อนกระบวนการอบแห้ง

การใช้เทคนิค NIR ในการหาความสัมพันธ์ของน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมดในสับปะรดที่ระดับ resolution เท่ากับ 32 จำนวน scan เท่ากับ 64 วินาที ที่เลขคลื่น $12500-4000\text{ cm}^{-1}$ ผ่านการปรับเส้นสเปกตรัมด้วยวิธี SNV พบว่ามีความสามารถในการทำนายและมีความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง เนื่องจากมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9249 มีค่า RPD เท่ากับ 3.65 ซึ่งจัดเป็นค่าที่สูง และมีค่าความผิดพลาดเช่น RMSEP เท่ากับ 0.0532 และ ค่า bias เท่ากับ -0.00126 ที่ต่ำและเป็นที่ยอมรับ

- การใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการตรวจสอบและทำนายอัตราส่วนน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมดของมะละกอแช่เย็นก่อนกระบวนการอบแห้ง

ซึ่งการใช้เทคนิค NIR ในการหาความสัมพันธ์ของน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมดในมะละกอที่ระดับ resolution เท่ากับ 32 จำนวน scan เท่ากับ 64 วินาที ที่ที่เลขคลื่น $12500-4000\text{ cm}^{-1}$ พบว่าน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมดในมะละกอมีความสัมพันธ์ที่ไม่ดี มีค่า R^2 เท่ากับ 0.4775 มีค่า RPD เท่ากับ 1.39 ซึ่งจัดเป็นค่าที่น้อย ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลของน้ำตาลรีดิวซ์ต่อน้ำตาลทั้งหมดในมะละกอมีช่วงข้อมูลที่แคบคือ 0.42-0.60 ซึ่งทำให้ข้อมูลเกิดการเกาะกลุ่มกันไม่เกิดการกระจายตัว

2.2.3 โครงการที่ 3 การพัฒนาวิธีการตรวจสอบสารพิษตกค้างในผักสดแบบรวดเร็วด้วย

เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้: กรณีศึกษาในถั่วฝักยาวและพริก

การพัฒนาวิธีการตรวจสอบสารพิษตกค้างในผักสดแบบรวดเร็วด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้:กรณีศึกษาในถั่วฝักยาว ได้ทำการศึกษาถั่วฝักยาวพันธุ์เนื้อ เก็บตัวอย่างถั่วฝักยาวที่ผ่านการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืชแต่ละชนิด (กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ได้แก่ chlorpyrifos, EPN และ omethoate กลุ่มคาร์บาเมต ได้แก่ Carbofuran และ Methomyl) จากแปลงปลูก โดยทำการเก็บวันที่ 0, 1, 3, 4, 6, 7 และ 11 ภายหลังการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช หลังจากเก็บเกี่ยวนำมาวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIR ที่ช่วงความยาวคลื่น $800-2,500\text{ นาโนเมตร}$ resolution 16 cm^{-1} วัดในโหมด reflectance, โหมด transmittance และ โหมด transreflectance ที่ตำแหน่งหัว กลาง และท้าย จากนั้นนำมาทดสอบสารพิษตกค้างทางเคมีด้วยชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT test kit และวิเคราะห์แบบแบ่งกลุ่มถั่วฝักยาวที่มีการปนเปื้อนของสาร chlorpyrifos, EPN, omethoate, carbofuran และ methomyl ในระดับที่ไม่ปลอดภัย จากระดับที่ปลอดภัยตามการบ่งชี้ด้วยวิธีการตรวจสอบที่ใช้ GT test kit ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับ 0 หมายถึง ไม่พบสารพิษตกค้าง ระดับ 1 หมายถึง พบสารพิษตกค้างในปริมาณที่ปลอดภัย และ ระดับ 3 หมายถึง พบสารพิษตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัย จากการทดลองพบว่า NIR ไม่สามารถแบ่งกลุ่มของสเปกตรัมที่ได้จากการวัดถั่วฝักยาวโดยตรงและการวัดจากสารที่สกัดได้ด้วยเทคนิคการแบ่งกลุ่มแบบ PCA

2.2.4 โครงการที่ 4 การตรวจสอบและทำนายคุณภาพภายในของผลไม้ที่ผ่านการเคลือบผิว

แบบรวดเร็วด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

- การประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในของผลส้มที่ผ่านการเคลือบผิว

ส้มที่ผ่านการเคลือบด้วย 10% GUSTEC S, 10% CHITOSAN, 20% GLK และ 20% SUPERSHINE C จะเกิดกลิ่นหมักเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5, 7, 5 และ 3 วัน ตามลำดับ

จากการใช้เทคนิค NIR ในการทำนายค่า TSS TA pH ปริมาณอะซิติกไฮดรอกซี ปริมาณเอทานอล และปริมาณอะซิติกไฮดรอกซีร่วมกับปริมาณเอทานอล มีแนวโน้มในการทำนายค่าต่ำ ซึ่งต้องมีการพัฒนาและควบคุมกระบวนการทดลองต่อไป

- การประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในของมะม่วงที่ผ่านการเคลือบผิว

มะม่วงที่ผ่านการเคลือบด้วย 2.5% GUSTEC S, 10% CHITOSAN, 20% GLK และ 20% SUPERSHINE C จะไม่เกิดกลิ่นหมักเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 วัน

เทคนิค NIR ความสามารถในการติดตามคุณภาพภายในของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองได้เมื่อดูจากประสิทธิภาพของสมการการทำนายความแน่นเนื้อ TSS TA และค่า pH

2.2.5 โครงการที่ 5 การใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการวิเคราะห์

องค์ประกอบทางเคมีและการปลอมปนของน้ำตาลมะพร้าวและน้ำตาลโตนด

การใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและการปลอมปนของน้ำตาลมะพร้าว จากการสร้างสมการทำนายค่าทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าวสดพบว่าสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส ค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และความชื้นให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.956, 0.925, 0.967, 0.814, 0.937, 0.893 และ 0.957 ตามลำดับ ค่า SEP เท่ากับ 1.1°Brix, 0.17%, 0.21%, 2.12%, 0.33, $1.94 \times 10^{-2}\%$ และ 1.75% ตามลำดับ โดยค่า SEP มีค่าไม่เกินค่า unexplained error confidence limits (UECLs) และค่าจริงที่วิเคราะห์ได้กับค่าทางเคมีที่ได้จากสมการทำนายต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

การใช้เทคนิค PCA เพื่อแยกน้ำตาลมะพร้าวสดแท้และน้ำตาลมะพร้าวสดปลอมปนด้วยน้ำเชื่อมนั้นพบว่า ยังไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างน้ำตาลมะพร้าวทั้ง 2 กลุ่มออกจากกันได้ และการใช้เทคนิค PLS เพื่อทำนายปริมาณการปลอมปนน้ำเชื่อมในระดับ 0, 10, 25, 50, 75 และ 100 (w/w) ในน้ำตาลมะพร้าวสดนั้นสามารถทำได้เมื่อระดับการปลอมปนมากกว่า 50% ขึ้นไป

จากการสร้างสมการทำนายค่าทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวพบว่า สมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส ค่า pH ปริมาณกรดที่ไทเตรตได้และความชื้นให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.689, 0.773, 0.925, 0.881, 0.819, 0.826 และ 0.723 ตามลำดับ ค่า SEP เท่ากับ 0.6°Brix, 0.51%, 0.46%, 1.72%, 0.17, $4.83 \times 10^{-2}\%$ และ 0.71% ตามลำดับ สำหรับสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกลูโคส ฟรุคโตส ปริมาณกรดที่ไทเตรตได้และความชื้นมีค่า SEP ไม่เกินค่า UECLs ส่วนค่าจริงที่วิเคราะห์ได้กับค่าทางเคมีที่ได้จากสมการทำนายต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และการใช้เทคนิค PCA เพื่อแยกน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวแท้และน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวปลอมปนด้วยน้ำตาลทรายนั้นพบว่า ยังไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างน้ำตาลมะพร้าวทั้ง 2 กลุ่มออกจากกันได้ ส่วนการใช้เทคนิค PLS นั้นสามารถทำนายปริมาณการปลอมปนน้ำตาลทรายที่ระดับ 25% และ 50% ในน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวได้

2.2.6 โครงการที่ 6 การพัฒนาวิธีการตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในมังคุดและมะขามป้อมด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้

- การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเปลือกมังคุด

ปริมาณ Total Phenolic Compound ส่วนใหญ่แปรผกผันตามความแก่ของผลมังคุด โดยผลที่มีความแก่มากมีปริมาณ Total Phenolic Compound ต่ำลง สารประกอบกลุ่มกรดฟีนอลิกเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่พบมากที่สุดเปลือกมังคุดทุกระดับความแก่อ่อน

การใช้เทคนิค NIRS ในการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในรูป Total Phenolic Compound, สาร Phenolic Acids, สาร Hydroxycinnamates, สาร Flavonols โดยวัดจากผลนั้นให้ค่า R^2 และ RPD ที่ต่ำ สมการที่ได้นี้ไม่สามารถนำไปใช้ได้

- การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของน้ำมังคุด

การสร้างสมการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในน้ำมังคุด การทำนายผลในน้ำมังคุดทำได้ไม่ดี แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของน้ำมังคุดแต่ละยี่ห้อส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำนายค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

- การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกมังคุด

จากผลการทดลองในการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเปลือกมังคุดโดยวิธีทาง NIRS ปรากฏว่า สมการที่ใช้ในการทำนายนี้ยัง

ให้ผลการทำนายที่ผิดพลาดค่อนข้างสูงในตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งสมการในการทำนายที่ใช้ resolution 32cm^{-1} เป็นสมการที่ใช้ในการทำนายได้ดีที่สุดโดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.98 ค่า RMSEC เท่ากับ 171 mgGAE/L ค่า RPD เท่ากับ 7.5 และ ค่า Bias เท่ากับ -0.676 mgGAE/L สำหรับสมการของสารประกอบฟีนอลิก ส่วนสมการของความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.98 ค่า RMSEC เท่ากับ 2 mmol Trolox/L ค่า RPD เท่ากับ 5.98 และ ค่า Bias เท่ากับ 0.0043 mmol Trolox/L ทั้งนี้การที่ resolution 32cm^{-1} สามารถสร้างสมการได้ดีกว่า resolution 8 และ 16cm^{-1} เนื่องจาก resolution 32cm^{-1} นี้เป็นการวัดโดยใช้ความละเอียดที่น้อยที่สุดซึ่งสามารถลดสิ่งรบกวนหรือ noise ที่จะเกิดจากการวัดได้

สมการที่สร้างจากความเข้มข้นของตัวอย่างที่มีความหลากหลายหรือมีการกระจายสูง จะให้สมการมีความเหมาะสมแก่การนำไปใช้ทำนายมากกว่าเนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการนั้นครอบคลุมการทำนายจากภายนอกมากกว่า สมการที่สร้างจากตัวอย่างที่มีการกระจายของค่าทางเคมีต่ำ เนื่องจากจะทำให้สมการที่ได้ไม่ครอบคลุมตัวอย่าง ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงและค่าที่ทำนายโดย NIRS จึงมีค่อนข้างสูง ซึ่งความผิดพลาดของการทำนายระหว่างค่าจริงและค่าที่ทำนายโดย NIRS ของการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 20% และ 40% ตามลำดับที่ resolution 32 ของสมการการทำนายที่มีการปรับปรุงแล้ว

- สรุปผลการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของมะขามป้อม

จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่าการสร้างสมการโดยใช้ลูกมะขามป้อมสดนั้นไม่สามารถนำสมการมาทำนายค่าทางเคมีได้ การใช้สารสกัดสามารถนำมาสร้างสมการการทำนายค่าทางเคมีของค่าความสามารถในการต้านสารต้านอนุมูลอิสระได้โดยใช้ความละเอียดที่ 16cm^{-1} ซึ่งให้ได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.72 ค่า RMSEC เท่ากับ 40 mmolTrolox/L และค่า Bias เท่ากับ 0.45 mmolTrolox/L นั่นคือใช้ในการทำนายแบบหยาบได้ แต่การทำนายค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกยังทำได้ไม่ดี

- สรุปผลการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดมะขามป้อม

จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่าเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากมะขามป้อมได้ โดยพบว่า resolution มีผลต่อประสิทธิภาพของการทำนาย ซึ่งในการทดลองนี้ 8cm^{-1} มีประสิทธิภาพในการทำนายที่ดีกว่า 16 และ 32cm^{-1} ทั้งการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากมะขามป้อม

เนื่องจากความละเอียดในการเก็บข้อมูลที่ 8 cm^{-1} มีความละเอียดในการเก็บข้อมูลสูง เส้นสเปกตรัมที่ได้จึงมีความละเอียด และชัดเจน ส่งผลให้การทำนายมีความแม่นยำกว่าที่ 16 และ 32 cm^{-1} ซึ่งค่าทางสถิติที่ได้จากการสร้างสมการทำนายปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ปรับปรุงแล้วที่ 8 cm^{-1} นั้นมีค่า $R^2 = 0.97$, $RPD = 5.98$, $\text{Bias} = -1.12\text{ mg GAE/L}$ และ $\text{RMSECV} = 198\text{ mg GAE/L}$ ในส่วนของค่าทางสถิติที่ได้จากการสร้างสมการทำนายความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ปรับปรุงแล้วที่ 8 cm^{-1} นั้นมีค่า $R^2 = 0.97$, $RPD = 5.62$, $\text{Bias} = 0.00\text{ mmol Trolox/L}$ และ $\text{RMSECV} = 3.54\text{ mmol Trolox/L}$

อย่างไรก็ตามสมการทำนายที่ได้จากการสร้างสมการทำนายในการทดลองนี้ เมื่อนำไปใช้จริงกับตัวอย่างอื่นๆ พบว่าการทำนายยังคงมีความผิดพลาดสูง และการเพิ่มข้อมูลอื่นๆหนึ่งมาใช้ในการปรับปรุงสมการทำนายนั้น สามารถทำให้การทำนายมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.2.7 โครงการที่ 7 การพัฒนาระบบอุปกรณ์วัดคุณภาพอาหารด้วยคลื่นแสงจำเพาะในช่วงอินฟราเรดย่านใกล้สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร

การวัดคลื่นรังสีจากตัวอย่าง ควรควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเข้มแสง และทิศทางของแสงเป็นอย่างดี อาทิเช่น ระดับความเยิงพื้น ความโค้งของชิ้นตัวอย่าง ความเข้มแสงและการกระจายตัวของแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจากตัวแปรเหล่านี้ไม่สามารถแก้ไขได้โดยการปรับแต่งสเปกตรัมได้

การวัดค่าสเปกตรัมของตัวอย่างบนสายพาน โดยให้แสงผ่านสลิต เกรตติง และจับภาพด้วยกล้อง Sony XCEI-50 ทำการวิเคราะห์และหาเมตริกซ์ที่ใช้ทำนายตัวแปรคุณภาพ โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler และดำเนินการเขียนควบคุมและทำนายค่าพร้อมทั้งการแสดงผลบนหน้าจอด้วยโปรแกรม Labview

สามารถนำผลการวิเคราะห์ทำนายคุณภาพบนโปรแกรม The Unscrambler เพื่อใช้เป็นแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์คุณภาพแบบออนไลน์ได้ โดยในงานวิจัยนี้ใช้ปริมาณ TSS และความชื้นของชิ้นงานมะละกอกเป็นกรณีศึกษา สามารถใช้วัดค่าสเปกตรัมนำมาใช้สร้างแบบจำลอง TSS และความชื้น ที่มีค่า $R^2 = 0.787$ และ 0.463 ในการทำ Calibration และ R^2 เท่ากับ 0.411 และ 0.332 ในการทำ Validation และเมื่อนำแบบจำลองดังกล่าวไปวัดค่า TSS แบบออนไลน์จะให้ความผิดพลาดไม่เกิน 15%

บทที่ 3

การเผยแพร่ผลงานวิจัย

ชุดโครงการวิจัยได้เผยแพร่ผลงานวิจัยในรูปแบบต่างๆ ในช่วงที่ผ่านมาดังต่อไปนี้

ระดับนานาชาติ

- Busarakorn Mahayothee, Hathaichanok Pongjun, Yotaka Klatam, Pramote Khuwijitjaru. 2014. Rapid Determination of Reducing Sugar to Total Sugar Ratio in Osmotic Dehydrated Pineapple Using Near Infrared Spectroscopy. The 4th Asian NIR Symposium, June 17th to 20th, 2014, Daegu, Korea.
- Pramote Khuwijitjaru, Chutsunt Kittikanjanasophon, Palathip Amornneungwanich, Busarakorn Mahayothee, Praneet Opanasopit. 2014. Prediction of DPPH radical scavenging activity in *Phyllanthus emblica* L. fruit using near infrared spectroscopy. The 4th Asian NIR Symposium, June 17th to 20th, 2014, Daegu, Korea
- Pasinee Yuwanbun, Suthida Pongitsaraphan, Sudamas Chueawoolim, Chaiwat Bandaiphet, Pramote Khuwijitjaru and Busarakorn Mahayothee. 2014. Determination of quality of chitosan coated mango using near infrared spectroscopy. The 5 th Asian NIR Symposium, June 17th to 20th, 2015, Daegu, Korea.

วารสารระดับชาติและการประชุมระดับชาติ

- พันณิศา จรัสเพชร วิไลลักษณ์ แสงทอง ขวัญใจ กลิ่นจงกล ปราณีต โอปนะโสภิต และปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ. (2556) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเปลือกมังคุดที่ระดับความสุกต่างกัน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 44 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) หน้า 146-149.
- กรวิภา สีสพัฒน์ ดนยา ฉันทศาสตร์ ภาสินี ยุวรรณบุญ ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ และ บุศราภรณ์ มหาโยธี. (2556) การใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในของผลส้มสายน้ำผึ้งที่ผ่านการเคลือบผิว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 44 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) หน้า 406-409.

- วรรณญา ศรีสุทัศน์กุล และ เอกพันธ์ แก้วมณีชัย. 2556. การใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว. การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 3. วันที่ 9-10 พฤษภาคม 2556, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย.

บทที่ 4

เอกสารอ้างอิง

กรมการค้าต่างประเทศ. 2551. ปริมาณการส่งออกข้าวของไทย ปี 2545-2551. แหล่งที่มา:

[http://www.dft.moc.go.th/the_files/\\$\\$8/level4/Yc46.htm](http://www.dft.moc.go.th/the_files/$$8/level4/Yc46.htm), [เข้าถึงเมื่อ 20 กันยายน 2551].

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2544. ตาลโตนด ผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปและรูปแบบโรงผลิต.

กรมส่งเสริมการเกษตร. กรุงเทพฯ. 53 หน้า

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2551. สารพิษตกค้าง: ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 32.

สุชาดา นิลกำแหง และ อโนชา เปาชม. 2543. การสกัดแยกวิตามินซีจากสมุนไพรวิตยานิพนธ์ปริญญาเภสัชศาสตรบัณฑิต คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล,

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. 2544. การแปรรูปและการใช้ประโยชน์ทางด้านโภชนาการ. เข้าถึงได้จาก: <http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/mangosteen/used/index.php> (วันที่สืบค้นข้อมูล: 19 มิถุนายน 2557)

ณัฐฐิรัชยา อุดตารภรณ์. 2549. ผลของปัจจัยในการผลิตและการเก็บรักษาต่อคุณสมบัติของน้ำตาลมะพร้าว. วิตยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหารบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

Balasundram, N., Sundram, K. and Samman, S. 2006. Phenolic compounds in plants agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. Food Chemistry. 99: 191-203

Chen, C., Qian, Y., Chen, Q., Tao, C., Li, C., and Li, Y. 2011. Evaluation of pesticide residues in fruits and vegetables from Xiamen, China. Food Control. 22(7): 1114 – 1120.

doa.go.th/vichakan/news.php?newsid=39 ผลไม้ส่งออก, ระบบข้อมูลทางวิชาการ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [เข้าถึงเมื่อ 1 มีนาคม 2552].

Dang, K.T.H., Shingh, Z. and Swinny, E.E. (2008). Edible coatings influence fruit ripening quality and aroma biosynthesis in mango fruit. ,Journal of Agricultural and Food Chemistry.56, 1361–1370.

Eman A.A., Moneim, Abd. El. and Magda A. Abd El-Mageed. (2006). Effect of some oil

- emulsions and wax treatment on prolonging storage period of Washington navel orange fruits and its volatile components. *Journal of Applied Sciences Research* 2(7): 405-417
- Ferrer-Gallego, R., Hernández-Hierro, J. M., Rivas-Gonzalo, J. n. C., Escribano-Bailón, M. T. 2011. Determination of phenolic compounds of grape skins during ripening by NIR spectroscopy. *LWT - Food Science and Technology*. 44(4): 847-853.
- Gómez, A.H., He, Y. and Pereira, A.G. (2006). Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques. *Journal of Food Engineering*. 77: 313–319
- J.A. Fernández Pierna, P. Vermeulen, O. Amand, A. Tossens, P. Dardenne, V. Baeten.(2012). NIR hyperspectral imaging spectroscopy and chemometrics for the detection of undesirable substances in food and feed. *Journal of Chemoetrics and Intelligent Laboratory System*. 117:233-239
- Lenart, A. (1996). Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. *Drying Technology*, 14(2), 391–413.
- Lanza, E. and Li, B.W. 1984. Application for near infrared spectroscopy for predicting the sugar content of fruit juices. *Journal of Food Science*. 49: 995-998.
- Liu, Y., Ying, Y., Yu, H. and Fu, X. 2006. Comparison of the HPLC method and FT-NIR analysis for quantification of glucose, fructose and sucrose in intact apple fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54: 2810-2815.
- Morrison, W. R., and Karkalas, J. 1990. Starch. *Methods in plant biochemistry* (vol. 2) In P. M. Dey (ed), Carbohydrate, pp.323-352.
- Morrison, W. R., Tester, R. F., Snape, C. E., Law, R., and Gidley, M. J. 1993. Swelling and gelatinization of cereal starches. IV. Some effects of lipid-complexed amylose and free amylose in waxy and normal barley starches. *Cereal Chem*. 70: 385-391.
- Maftoonazad, N. , Ramaswamy, H.S., Moalemiyan, M. and Kushalappa, A.C. (2007).

Effect of pectin-based edible emulsion coating on changes in quality of avocado exposed to *Lasiodiplodia theobromae* infection. *Carbohydrate Polymers* 68: 341–349.

Osborne, B. G., Fearn, T. and Hindle, P. H. 1993. *Practical NIR Spectroscopy with Application in Food and Beverage Analysis*. Longman Scientific and Technical, Singapore. 227.

Siesler, H.W., Ozaki, Y., Kawata, S., Heise, H.W., 2002. *Near-infrared Spectroscopy: Principles, Instruments, Applications*. Wiley-VCH, Weinheim, p.75-84, 179-269