



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิเคราะห์สารแกมมาอะมิโนบิวทีริกแอซิดหรือสารกาบาในข้าวกล้องงอกด้วย
เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

**Evaluation of γ -aminobutyric acid (GABA) in germinated brown rice by near
infrared spectroscopy**

นางสาว ปานมนัส ศิริสมบูรณ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิเคราะห์สารแกมมาอะมิโนบิวทีริกแอซิดหรือสารกาบาในข้าวกล้องงอกด้วย
เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

**Evaluation of γ -aminobutyric acid (GABA) in germinated brown rice by near
infrared spectroscopy**

นางสาว ปานมนัส ศิริสมบูรณ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การวิเคราะห์สารแกมมาอะมิโนบิวทริกแอซิดหรือสารกาบาในข้าวกล้องงอก
ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

แหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดิน (ว.ช.)

ประจำปีงบประมาณ 2555 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 1,207,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1.8 ปี ตั้งแต่ วันที่ 1 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 ถึงวันที่ 30 เดือน มิถุนายน พ.ศ.
2556

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

หัวหน้าโครงการ น.ส. ปานมนัส ศิริสมบุญ สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์
ผู้ร่วมโครงการวิจัย -

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการวิเคราะห์ปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทริกแอซิด (สารกาบา) ในข้าวกล้องงอก โดยใช้ตัวอย่าง 3 กลุ่ม คือ 1) ข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่ข้าวเปลือกและบ่มแตกต่างกัน 2) ข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และ 3) ข้าวกล้องงอกพันธุ์ต่างๆที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบว่าเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความเป็นไปได้ในการใช้วิเคราะห์ปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทริกแอซิด (สารกาบา) ในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดโดยตรงด้วยวิธีไม่ทำลาย ทำโดยการสแกนข้าวกล้องงอกด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer ซึ่งมีการวัดแบบ Diffuse Reflectance ในช่วงจำนวนคลื่นระหว่าง 9403.8-7498.3 และ 6102-4242.9 cm^{-1} สแกนทุกๆ 8 cm^{-1} สแกนซ้ำ 64 ครั้งต่อ 1 spectrum แบบจำลองในการวิเคราะห์ปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทริกแอซิด (สารกาบา) ในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดพัฒนาจากสเปกตรัมที่ผ่านการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นแบบ vector normalization ใช้ PLS Factor 8 แพลตฟอร์ม มีสมรรถนะการทำนายดังนี้ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) เท่ากับ 91.84, ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (root mean squared error of cross validation; RMSECV) เท่ากับ 0.841, bias เท่ากับ 0.00163, RPD เท่ากับ 3.50 ผลการวิจัยที่ได้นับเป็นองค์ความรู้ใหม่ซึ่งไม่เคยมีนักวิจัยใดทำมาก่อนในการประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเพื่อการวัดปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทริกแอซิด (สารกาบา) ในข้าวกล้องงอก

คำสำคัญ : สารแกมมาอะมิโนบิวทริกแอซิด สารกาบา ข้าวกล้องงอก เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Research Title: Evaluation of γ -aminobutyric acid (GABA) in germinated brown rice by near infrared spectroscopy

Researcher: Panmanas Sirisomboon

Faculty: Engineering **Department:** Mechanical Engineering

ABSTRACT

This research objective was to study the possibility of near infrared spectroscopy (NIRS) application for evaluation of γ -aminobutyric acid (GABA) in germinated brown rice. The samples used were from 3 groups of brown rice including 1) Germinated brown rice (Khao Dok Mali 105, KDML105) of different rough rice soaking and incubating time 2) Germinated brown rice (KDML105) from the markets and 3) Germinated brown rice of various varieties from the markets. It was found that there was a possibility that the NIRS technique developed in this research could be used to non destructively evaluate the γ -aminobutyric acid (GABA) in germinated brown rice of KDML105 of various brands that sold in the markets in Thailand. The technique was done by the scanning of brown rice sample using FT-NIR Spectrometer in diffuse reflectance mode in the wavenumber range of 9403.8-7498.3 and 6102-4242.9 cm^{-1} with 8 cm^{-1} resolution. For each sample, the scanning was done 64 time to obtain one averaged spectrum. The model was developed from vector normalization spectra using 8 PLS Factors and it provided the coefficient of determination; R^2) of 91.84, root mean squared error of cross validation; RMSECV of 0.841, bias of 0.00163 and RPD of 3.50. The research result obtained is the new finding in the application of NIRS in evaluation of γ -aminobutyric acid (GABA) in germinated brown rice that has not been found before.

Keywords : γ -aminobutyric acid, GABA, Germinated brown rice, near infrared spectroscopy

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย (รศ. ดร. ปานมนัส ศิริสมบุรณ์ หัวหน้าโครงการ) และคณะผู้ช่วยวิจัย (นางสาวกรรณพต แก้วสอน นักศึกษาปริญญาเอก) ขอขอบคุณที่การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบประมาณแผ่นดิน (วช.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

รองศาสตราจารย์ ดร. ปานมนัส ศิริสมบุรณ์ (หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน)
นางสาวกรรณพต แก้วสอน (ผู้ช่วยวิจัย)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	iii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	iv
กิตติกรรมประกาศ.....	v
สารบัญ.....	vi
สารบัญตาราง.....	vii
สารบัญรูป.....	viii
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมุติฐานและกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	4
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ข้าวกล้องงอก.....	5
2.2 เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	17
3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง.....	17
3.2 การสแกนสเปกตรัมข้าวกล้องงอกด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer.....	18
3.3 การวัดปริมาณสารกาบาตามวิธีมาตรฐาน.....	18
3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	19
3.5 การวัดสเปกตรัมของสารกาบาบริสุทธิ์.....	20
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	21
4.1 ผลการตรวจวัดปริมาณสารกาบาตามวิธีมาตรฐาน.....	21
4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัม.....	23
4.3 ผลการทำนายปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกด้วยวิธี Partial Least Square Regression.....	24
บทที่ 5 สรุปผล.....	32
เอกสารอ้างอิง.....	33
ประวัตินักวิจัย.....	36

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกข้าวของไทย.....	5
ตารางที่ 2.2 ส่วนแบ่งการตลาดข้าวในตลาดโลก.....	6
ตารางที่ 2.3 ปริมาณของวิตามินของข้าวกล้องเทียบกับ 100 g ข้าวเต็มเมล็ด (mg/100g).....	7
ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารระหว่างข้าวกล้องงอกและข้าวขาว.....	7
ตารางที่ 2.5 กรดอะมิโนอิสระและสมบัติของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก.....	9
ตารางที่ 2.6 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นและกรดอะมิโนไม่จำเป็นในข้าวกล้อง (UGR), ข้าวกล้องงอก (GBR), ข้าวเปลือกงอก (GRR) และสารสกัดแป้งข้าวกล้องงอก (GRP) (mg/100 g dry weight).....	10
ตารางที่ 2.7 การใช้ประโยชน์เทคนิค NIRS ในประเทศไทย.....	12
ตารางที่ 2.8 การแปลความหมายของค่า R และ R^2	15
ตารางที่ 2.9 การอธิบายผลของค่า RPD และ RER.....	16
ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่และระยะเวลาการบ่มแตกต่างกัน.....	22
ตารางที่ 4.2 ค่าทางสถิติของปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกที่ใช้สร้างสมการทำนาย.....	25
ตารางที่ 4.3 ผลการสร้างสมการและการทำนายปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกโดยใช้วิธี Partial Least Square Regression.....	25

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารกาบาด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	4
รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของกระบวนการงอกของข้าวกล้อง	8
รูปที่ 2.2 สัดส่วนปริมาณสารอาหารในข้าวกล้องงอกเปรียบเทียบกับข้าวขัดขาวที่แสดงระดับบนเส้นจุด	8
รูปที่ 2.3 ปริมาณสารกาบา (mg/100 g ฐานแห้ง) ในเมล็ดงอกของข้าวเจ้าพันธุ์ใหม่	10
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงกรดอะมิโน (%) ในข้าวกล้อง (UGR) ,ข้าวกล้องงอก (GBR) ,ข้าวเปลือกงอก (GRR) และสารสกัดแป้งข้าวกล้องงอก (GRP)	11
รูปที่ 3.1 ข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105	17
รูปที่ 3.2 ข้าวเปลือกที่แช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง	17
รูปที่ 3.3 ข้าวเปลือกงอกที่ผ่านการแช่ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	18
รูปที่ 3.4 ข้าวกล้องงอก	18
รูปที่ 3.5 เครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany)	18
รูปที่ 3.6 โครงสร้างของ <i>gamma</i> -Aminobutyric acid	20
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ในท้องตลาด	22
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของสารกาบามาตรฐาน	23
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่ต่างกัน	24
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่และบ่มแตกต่างกันที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีกับค่าวัดจากวิธีมาตรฐาน	26
รูปที่ 4.5 Regression coefficient plot ของสมการปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่และบ่มแตกต่างกัน	27
รูปที่ 4.6 ค่า X-loading weight ของสมการปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่และบ่มแตกต่างกัน	28
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีกับค่าวัดจากวิธีมาตรฐาน	29
รูปที่ 4.8 Regression coefficient ของสมการปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	29
รูปที่ 4.9 ค่า X-loading weight ของสมการปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	30
รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ทั้งหมดทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีกับค่าวัดจากวิธีมาตรฐาน	31
รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ต่างๆที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีกับค่าวัดจากวิธีมาตรฐาน	31

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประชากรครึ่งหนึ่งของในโลกมีการบริโภคข้าวเป็นแหล่งอาหารหลัก (Shimamoto, 1995) คาร์โบไฮเดรตเป็นอาหารหลักที่พบในเมล็ดข้าวขาว แต่โปรตีน วิตามินบี วิตามินซี และแร่ธาตุหลายชนิดมีอยู่ในคัพภะ เยื่อหุ้มเมล็ด และเปลือก นอกจากนี้สารสกัดไขมันจากรำมีส่วนประกอบของวิตามินอี ไฟโตสเตอรอล แกมมาโอไรซานอล และสารต้านอนุมูลอิสระ (Karladee and Suriyong, 2012) สำหรับความต้องการข้าวเพื่อเป็นอาหารประเภทโปรตีนคาดว่าปริมาณเพิ่มขึ้นมากในอนาคต เนื่องจากประชากรของโลกจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าในปี 2030 (Mann, 1997) แต่จากข้อมูลการบริโภคข้าวในประเทศญี่ปุ่นเริ่มตั้งแต่ปี 1960 มีแนวโน้มลดลงไป 1 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ซึ่งการผลิตข้าวในประเทศญี่ปุ่นก็ได้ลดลงด้วย แนวโน้มดังกล่าวได้ถูกสังเกตในหลายประเทศในเอเชีย เช่น ไต้หวัน มาเลเซีย สิงคโปร์ และจีน โดยเฉพาะประเทศจีนการบริโภคข้าวต่อคนลดลงตั้งแต่ปี 1990 เพื่อที่จะหยุดการลดลงของการบริโภคข้าว จึงมีการเพิ่มมูลค่าของข้าวเพื่อสนับสนุนให้มีการบริโภคข้าวเพิ่มขึ้น ข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกจึงเป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ทำให้คนสนใจข้าวมากขึ้น (Shoishi, 2004)

ในระหว่างการงอกมีสารต่างๆเกิดขึ้นมากมาย คาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนแปลงเป็น oligosaccharide และน้ำตาลรีดิวซ์ การย่อยของโปรตีนในเมล็ดเป็นกรดอะมิโน, เปปไทด์ และรวมถึงการสะสมของสารต่างๆ เช่น γ -oryzanol, tocopherol, tocotrienol และ γ -aminobutyric acid (GABA) (Kayahara, and Tsukahara, 2000) ซึ่งโภชนาการของธัญพืชงอกมีการศึกษามานานกว่า 10 ปีแล้ว Finney (1978) ได้ศึกษาการเพาะงอกของข้าวสาลีและถั่วเหลือง Tkachuk (1979) ศึกษาเช่นเดียวกันในข้าวสาลี จนกระทั่งในปี 1994 Saikura, Horino and Mori ได้ค้นพบวิธีการเพิ่มปริมาณสาร γ -aminobutyric acid (GABA) โดยการนำข้าวกล้องไปแช่ในน้ำอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ถึง 24 ชั่วโมง รายงานการวิจัยหลายฉบับได้รายงานว่าสารกาบาอยู่ในเมล็ดพืชในระหว่างการงอก (Koutroubas et al., 2004; Komatsuzaki et al., 2007; Zhang et al., 2006; Oh, 2003) (นอกจากนี้ยังมีรายงานหลายฉบับที่ใช้วิธีการงอกเพื่อทำให้สารกาบาเพิ่มขึ้นในพืช เช่น การกระตุ้นการงอกในถั่วเชิงพาณิชย์ ถั่วที่มีสารกาบาได้ถูกแนะนำสู่ตลาดและร้านขายอาหารสุขภาพ ดังนั้นกระบวนการงอกจึงถูกใช้เพื่อเพิ่มมูลค่าทางอาหารในพืชอื่นๆ ได้ อาทิ อัลฟาฟา, ถั่วเขียว (Kuo, 2004) ถั่วเหลือง (Oh and Choi, 2001) ชาเขียว (Zhang et al., 2006) และข้าวสาลี (Nakaoka, 2005)

สารกาบาเป็นกรดอะมิโนอิสระ เกิดจากกระบวนการงอกที่มีปฏิกิริยาของเอนไซม์หลายชนิดในเมล็ด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเอนไซม์กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลส (GAD) ซึ่งเกิดการ catalyzes กรดแอลกลูตามิกจนเป็นสารกาบา (Koutroubas et al., 2004; Komatsuzaki et al., 2007; Zhang et al., 2006; Oh, 2003) (มีรายงานผลทางการแพทย์หลายฉบับที่รายงานถึงคุณประโยชน์ของสารกาบา คือ ลดความดันโลหิต (Akama et al., 2009) บำรุงไต ช่วยควบคุมน้ำหนัก (Zhang et al., 2002) ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดทั้งในสัตว์และมนุษย์ เป็นสารโภชนาการบำบัดรักษาและป้องกันโรคต่างๆที่เกี่ยวข้องกับโรคพิษสุราเรื้อรัง (Zhang et al., 2006; Oh, 2003) ป้องกันสมองถูกทำลายซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ ยับยั้งการกระจายตัวของเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ (Shoishi, 2004) และป้องกันโรคหัวใจได้ (Cicero et al., 2001)

ปัญหาที่สำคัญในการวิเคราะห์ปริมาณสารกาบานั้นโดยทั่วไปทำโดยใช้เครื่อง Amino acid analyzer ซึ่งมี

ขั้นตอนซับซ้อน ยุ่งยาก ใช้เวลานาน ต้นทุนสูง และผู้ตรวจสอบต้องมีความชำนาญ ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานในอุตสาหกรรม ซึ่งจะต้องตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างเป็นปริมาณมาก และต้องการความรวดเร็วในการวิเคราะห์ ปัจจุบันมีการใช้ Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) ซึ่งเป็นวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ไม่สร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว เป็นเทคนิคที่ยอมรับอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ นอกจากนี้ NIRS สามารถวัดองค์ประกอบต่างๆ โดยการวัดครั้งเดียว เป็นวิธีการวัดในอุดมคติสำหรับการแบ่งกลุ่มของคุณภาพอย่างรวดเร็ว และสามารถใช้ในโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์พืชได้ การใช้ NIRS ในการทำนายองค์ประกอบทางคุณภาพของข้าวสาร เช่น amylose, gelatinization temperature, gel consistency, alkali spread value (Bao et al., 2001), fatty acid (Li and Shaw, 1997), protein content และ retrogradation properties (Bao et al., 2007), กรดอะมิโน และไนโตรเจนในแป้งข้าวเจ้า (Jianguo et al., 2002), กรดอะมิโนในข้าวกล้อง (Zhang et al., 2011) นอกจากนี้ยังสามารถทำนายค่ากรดอะมิโนที่จำเป็นในถั่วเหลือง, อาหารที่เป็น rapeseed, เมล็ดทานตะวัน, อาหารจากปลา อาหารจากเนื้อ, อาหารจากสัตว์ปีก (Fontaine et al., 2001) ได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เทคนิค NIRS ที่ช่วงจำนวนคลื่นระหว่าง 12,500-4,000 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ในการตรวจวัดปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอก เพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการส่งออกข้าว สามารถประกันคุณภาพของข้าวกล้องงอกก่อนการเก็บรักษาและการส่งออกต่างประเทศ สร้างความมั่นใจให้กับผู้ประกอบการ ผู้ส่งออก ผู้สั่งซื้อ และผู้บริโภค ทำให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก นอกจากนี้เทคนิค NIRS ยังสามารถนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการวิจัยในหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้อีกด้วย

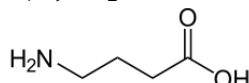
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการวิเคราะห์ปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (สารกาบา) ในข้าวกล้องงอก
2. เพื่อสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์ ปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (สารกาบา) ในข้าวกล้องงอกโดยตรงด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
3. เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ซึ่งไม่เคยมีนักวิจัยใดทำมาก่อนในการประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเพื่อการวัดปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (สารกาบา) ในข้าวกล้องงอก

1.3 สมมุติฐานและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้หรือ NIR เป็นอันตรกิริยาระหว่างรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR radiation) กับสาร สสารที่สามารถเกิดอันตรกิริยากับรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ คือ สสารที่มีโมเลกุลประกอบด้วยพันธะไฮโดรเจน (X-H) อะตอม X ได้แก่ C, O, N, S เป็นต้น ซึ่งจะทำให้เกิดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ของสารที่มีความยาวคลื่นต่างๆ จะปรากฏในสเปกตรัม NIR เพื่อนำไปประมวลผลในการวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

สารแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (gamma-aminobutyric acid) หรือที่รู้จักกันว่า “สารกาบา”(GABA) มีสูตรทางเคมี คือ $\text{C}_4\text{H}_9\text{NO}_2$ มีโครงสร้างดังรูป



คลื่นเนียร์อินฟราเรดช่วงคลื่นยาว ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของเครื่อง NIR spectrometer ที่จะนำมาใช้ในการทดลองนี้ มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 700-2500nm ซึ่งจะทำให้เกิดการดูดซับคลื่นทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของพันธะ (Bond vibration) $\text{C}=\text{O}$ stretch 4th overtone ที่ความยาวคลื่น 1160 nm และของพันธะ $\text{C}=\text{O}$ stretch 3rd overtone ที่ความยาวคลื่น 1450 nm (Shenk et al., 2001) มีการสั่นสะเทือนของพันธะของกรดอะมิโน ได้แก่ N-H stretch + $\text{C}=\text{O}$ stretch เกิดที่ 2132 และ 2294 nm (Osborne and Fearn, 1986) ดังนั้นการนำเทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดมาวิเคราะห์ค่าปริมาณสารแกมมาอะมิโน

บิวทริกแอซิดจึงมีความเป็นไปได้ เพราะสารแกมมาอะมิโนบิวทริกแอซิดหรือ สารกาบา มีสูตรทางเคมี คือ $C_4H_9NO_2$ อย่างไรก็ตามการที่จะมองเห็นความเปลี่ยนแปลงในรูปแบบการดูดกลืนแสงโดยตรงนั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากมีน้ำที่มีรูปแบบการดูดกลืนแสง (Absorption band) ขนาดใหญ่ครอบคลุมรูปแบบการดูดกลืนแสงของสารเคมีชนิดอื่น ดังนั้นจึงต้องนำหลักการทาง Chemometric ซึ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลแบบตัวแปรพหุ (Multivariate analysis) เช่น Partial Least Square Regression (PLSR) มาสร้างแบบจำลองในการทำนาย (Calibration model) ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งของเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการวิเคราะห์ปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยวิธีไม่ทำลายโดยการสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์และมีกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกตามกรรมวิธีของผู้ประกอบการ แบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

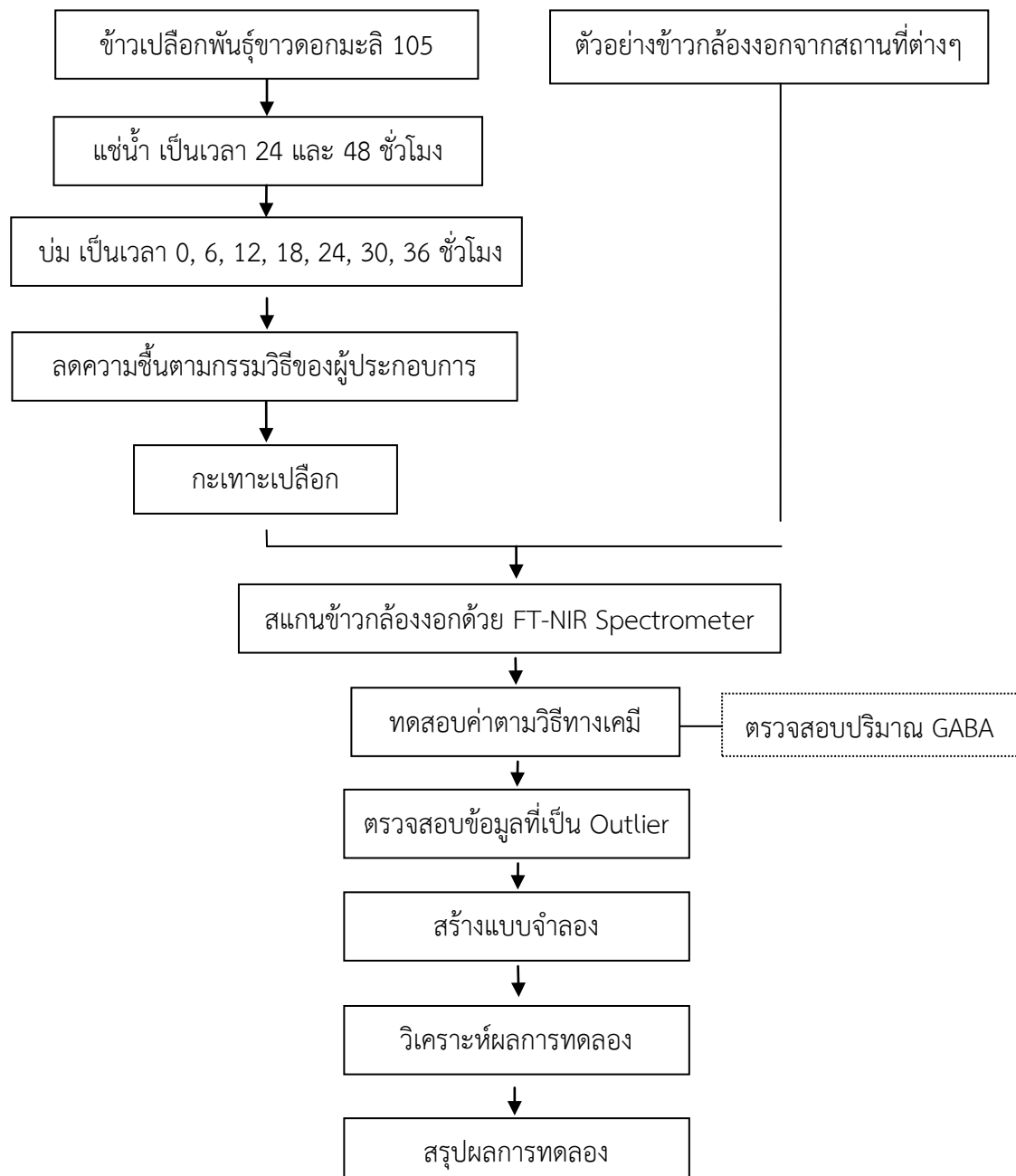
1. การใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการวิเคราะห์ปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอก โดยใช้ตัวอย่างข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แช่น้ำ เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง แล้วบ่ม เป็นเวลา 0, 6, 12, 18, 24, 30 และ 36 ชั่วโมง นำไปผ่านกระบวนการต่างๆตามกรรมวิธีของสถานประกอบการ และตัวอย่างข้าวกล้องงอกจากสถานที่ต่างๆ เก็บข้อมูลสเปกตรัมในช่วงจำนวนคลื่นระหว่าง $12,500-3,600\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น 700-2500 nm) และวิเคราะห์ปริมาณสารกาบาด้วยวิธีวิเคราะห์ทางเคมี

2. การสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์ปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยนำข้อมูลทั้งหมดมาสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างสารกาบา และข้อมูลการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี ทดสอบแบบจำลองเพื่อใช้ทำนายสารกาบาของตัวอย่างใหม่ที่ไม่ได้ใช้สำหรับการสร้างแบบจำลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบจำลองในการวิเคราะห์ปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทริกแอซิดหรือสารกาบาในข้าวกล้องงอกโดยตรงด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
2. สามารถนำแบบจำลองที่ได้ไปใช้จริงในห้วงปฏิบัติการแผนกตรวจสอบคุณภาพของโรงงานผลิตข้าวกล้องงอกหรือหน่วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตข้าวกล้องงอกเพื่อลดเวลา การใช้สารเคมี และแรงงานในการตรวจสอบซึ่งหมายถึงการลดต้นทุนในการผลิต
3. ได้องค์ความรู้ใหม่ในการประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเพื่อการตรวจวัดปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกและสามารถใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์สารกาบาในผลผลิตอื่นอีกด้วย
4. สามารถเพิ่มศักยภาพของการปรับปรุงและประกันคุณภาพของการผลิตข้าวกล้องงอกทั้งเพื่อการส่งออกและบริโภคภายในประเทศได้ ทำให้โรงงานข้าวกล้องงอกสามารถมั่นใจในคุณภาพของผลิตภัณฑ์
5. ผลงานสามารถจดสิทธิบัตร และเผยแพร่ในวารสารระดับชาติและระดับนานาชาติได้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินการ



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารกาบาด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวกล้องงอก

2.1.1 ความเป็นมาของข้าวกล้องงอก

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญทั้งเพื่อการบริโภคภายในประเทศและส่งออกยังตลาดต่างประเทศ ข้าวเป็นอาหารหลักของคนส่วนใหญ่ในภูมิภาคเอเชีย รวมถึงได้มีการนำข้าวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในหลากหลายรูปแบบทั่วโลก ซึ่งสถานการณ์ข้าวของประเทศไทยถือได้ว่าเป็นผู้ส่งออกข้าวเป็นอันดับหนึ่งของโลก ปี 2550 – 2554 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกข้าวของไทย เพิ่มขึ้นจาก 9.19 ล้านตันข้าวสาร มูลค่า 119,215 ล้านบาท ในปี 2550 เป็น 10.55 ล้านตันข้าวสาร มูลค่า 198,000 ล้านบาท ในปี 2554 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.43 และ 8.16 ต่อปี ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับปี 2553 ที่ส่งออกได้ 8.94 ล้านตันข้าวสาร มูลค่า 168,193 ล้านบาท ปริมาณและมูลค่าเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 18.01 และ 17.72 ตามลำดับ ซึ่งประเทศไทยสามารถส่งออกข้าวได้มากเป็นประวัติการณ์ เนื่องจากประเทศผู้ส่งออกและผู้นำเข้าข้าวบางประเทศประสบปัญหาภัยพิบัติทางธรรมชาติ บางประเทศยังใช้มาตรการห้ามส่งออกข้าว ประกอบกับบางประเทศผู้นำเข้าต้องนำเข้าข้าวเพื่อสำรองข้าวในสต็อกที่ลดลง ส่งผลให้สั่งซื้อข้าวจากประเทศไทยเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2.1) นอกจากนี้ประเทศไทยยังเป็นผู้ส่งออกรายใหญ่ที่สุดในขณะที่การส่งออกข้าวของประเทศเวียดนาม อินเดียและปากีสถาน เป็นผู้ส่งออกข้าวเป็นอันดับรองลงมา (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกข้าวของไทย

ปี	ปริมาณ)ล้านตันข้าวสาร(	มูลค่า)ล้านบาท(
2550	9.193	119,215
2551	10.216	203,219
2552	8.620	172,208
2553	8.940	168,193
2554	10.550	198,000
อัตราเพิ่ม)ร้อยละ(	1.43	8.61
2555*	8.50	160,000

หมายเหตุ : * ประมาณการ ณ เดือนธันวาคม 2554

ที่มา : สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร (2555a) โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร

แต่ปัจจุบันข้าวอินเดียมกำลังเป็นที่จับตามองทั้งจากประเทศผู้ส่งออกและผู้นำเข้าข้าว เนื่องจากอินเดียมกลับมาส่งออกข้าวขาวและข้าวหนึ่งอีกครั้งตั้งแต่เดือนกันยายน 2554 ส่งผลกระทบในวงกว้างต่อตลาดส่งออกข้าวของโลก เนื่องจากราคาข้าวส่งออกของอินเดียอยู่ในเกณฑ์ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับทั้งประเทศไทยและเวียดนาม ดังนั้นประเทศผู้ส่งออกข้าวจึงต้องมีการปรับราคาส่งออกเพื่อที่จะแข่งขันกับอินเดีย โดยเฉพาะข้าวหนึ่ง เนื่องจากราคาที่ต่ำกว่าไทยประมาณ 100 ดอลลาร์สหรัฐต่อดัน จากที่กล่าวมาจะส่งผลให้ปริมาณการส่งออกข้าวหนึ่งในปี 2555 ของประเทศไทยมีแนวโน้มลดลง และคาดว่าจะส่งผลกระทบต่อเนื่องต่อราคาข้าวเปลือกหน้าโรงสีเพื่อนำมาผลิตข้าวหนึ่งมีแนวโน้มลดลงด้วย และจากข้อมูลของ Shoishi (2004) ซึ่งรายงานว่า การบริโภคข้าวในประเทศญี่ปุ่นและหลายๆ

ประเทศในเอเชีย เช่น ไต้หวัน มาเลเซีย สิงคโปร์ และจีน มีแนวโน้มการบริโภคข้าวลดลงไป 1 เปอร์เซนต์ต่อปี ดังนั้นจึงมีการเพิ่มมูลค่าของข้าวเพื่อสนับสนุนให้มีการบริโภคข้าวเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.2 ส่วนแบ่งการตลาดข้าวในตลาดโลก

ประเทศ	ปี 2552/2553		ปี 2553/2554		ปี 2554/2555	
	ปริมาณ	ส่วนแบ่ง การตลาด	ปริมาณ	ส่วนแบ่ง การตลาด	ปริมาณ	ส่วนแบ่ง การตลาด
ไทย		28.28	10.55	30.70	8.50	25.82
.940						
เวียดนาม		21.31	7.00	20.37	6.70	20.35
.734						
อินเดีย		6.49	3.88	11.06	4.50	13.67
.052						
ปากีสถาน		12.66	2.80	8.15	3.75	11.39
.000						

หมายเหตุ : ปริมาณ : ล้านตันข้าวสาร , ส่วนแบ่งการตลาด : ร้อยละ

ที่มา: World Grain Situation and Outlook, USDA เดือนพฤศจิกายน 2554 จาก สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร (2555b)

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น หากเราสามารถนำ "นวัตกรรม" มาใช้ในการพัฒนาข้าวให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์นวัตกรรมที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับประเทศ ก็จะส่งผลให้ประเทศมีศักยภาพทางการแข่งขันให้กับอุตสาหกรรมข้าวไทยในตลาดโลกได้มากยิ่งขึ้น เมื่อพิจารณาจากช่องทางการตลาดของผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวแล้ว จะเห็นว่ามีโอกาสขยายตัวสูง ดังนั้นหากนำองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม มาประยุกต์ใช้กับผลผลิตด้านการเกษตร เช่น การนำข้าวมาแปรรูปเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวชนิดใหม่ที่มีมูลค่าเพิ่มสูงและเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญ จะช่วยสร้างรายได้เข้าประเทศได้มากขึ้น

นอกจากนี้ผู้ส่งออกข้าวบางรายเริ่มหันไปผลิตข้าวที่มีคุณสมบัติพิเศษ โดยไทยยังมีความได้เปรียบในการส่งออกข้าวที่มีคุณสมบัติพิเศษหรือข้าวเพื่อสุขภาพ เช่น ข้าวกล้อง ข้าวอินทรีย์ ข้าวเสริมวิตามิน ข้าวผสมสมุนไพร เป็นต้น ซึ่งแม้ว่าตลาดจะยังไม่กว้างมากนัก และยังคงหันไปควบคุมในขั้นตอนการผลิต รวมทั้งยังต้องการการสื่อสารกับผู้บริโภคให้มั่นใจในผลิตภัณฑ์ แต่ตลาดข้าวประเภทนี้ก็มีแนวโน้มเติบโตอยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งแนวทางการเจาะขยายตลาดต้องเน้นกับผู้บริโภคได้สูง และสนใจเรื่องสุขภาพ

ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว รวมถึงกระบวนการผลิตข้าวจึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีแนวโน้มการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์จากข้าวมีการพัฒนาได้หลายรูปแบบ เช่น ในยุคหนึ่งผู้บริโภคหันมานิยมรับประทานข้าวกล้อง ซึ่งข้าวกล้องก็คือ ข้าวเปลือกที่นำเปลือกออกแต่ยังคงไว้ซึ่งจมูกข้าวและไม่ผ่านการขัดสี จึงส่งผลให้ข้าวกล้องเป็นข้าวที่อุดมไปด้วยวิตามินต่างๆมากมาย ไม่ว่าจะเป็นวิตามิน B1, B2, B3 และ B6 เป็นต้น (ตารางที่ 2.3) แต่ก็มีข้อเสีย คือ ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ค่อนข้างสั้น เวลาในการหุงนานกว่าข้าวขาว อีกทั้งเนื้อสัมผัสที่เฉพาะตัว ดังนั้นจึงมีงานวิจัยเกิดขึ้นมากมายเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว อาทิ “ข้าวกล้องสด ไวทราไรซ์” ซึ่งเป็นอีกความก้าวหน้าหนึ่งของความร่วมมือกันระหว่างภาคอุตสาหกรรมและนักวิจัย เพื่อพัฒนาสิ่งที่ดีที่สุดสำหรับผู้บริโภค นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาคุณภาพของข้าวกล้องอีกประเภทหนึ่งที่มีความสนใจในปัจจุบันคือ ข้าวกล้องงอก หรือ “germinated brown rice” โดยเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารระหว่างข้าว กล้องงอกและข้าวขาว ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ปริมาณของวิตามินของข้าวกล้องเทียบกับ 100 g ข้าวเต็มเมล็ด (mg/100g)

วิตามิน	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว
Thiamin (mg/100g)	0.34	0.07
Riboflavin (mg/100g)	0.05	0.03
Niacin (mg/100g)	4.7	1.6
Vitamin B6 (mg/100g)	0.62	0.04
Folic acid (μ g/100g)	20	16
Pantothenic acid (mg/100g)	2	1
Biotin (μ g/100g)	12	5
Vitamin E (IU/100g)	2	1

ที่มา : Lockhart and Nesheim (1978)

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารระหว่างข้าวกล้องงอกและข้าวขาว

	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องงอก
Sodium	5.0 mg	11.66 mg
Potassium	116.5 mg	345.0 mg
Calcium	12 mg	18.8 mg
Magnesium	25 mg	45 mg
Iron	0.8 mg	1.8 mg
Phosphorous	130 mg	465 mg
Vitamin E	0.13 mg	0.20 mg
Vitamin B1	0.10 mg	0.31 mg
Vitamin B2	0.03 mg	0.11 mg
Vitamin B3	2.70 mg	8.25 mg
Vitamin B6	0.16 mg	0.53 mg
Folic Acid	8.0 μ g	38.1 μ g

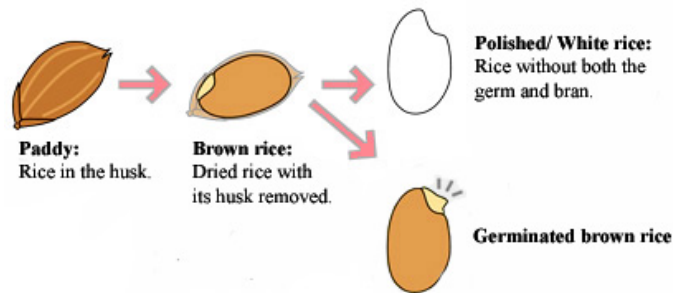
ที่มา : Bio Nutri Food (2009)

2.1.2 gamma aminobutyric acid หรือ สารกาบา

สารกาบาเป็นกรดอะมิโนอิสระ เกิดจากกระบวนการงอกที่มีปฏิกิริยาของเอนไซม์หลายชนิดในเมล็ด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเอนไซม์กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลส (Glutamate decarboxylase; GAD) ซึ่งเกิดการ catalyzes กรดแอสกลูตามิก (glutamic acid) จนเป็นสารกาบา (Koutroubas et al., 2004; Komatsuzaki et al., 2007; Zhang et al., 2006; Oh, 2003 (Liu et al. (2006) ได้ศึกษาการปฏิกิริยา glutamate decarboxylase (GAD) หลังแช่ข้าวพันธุ์ Haiminori ในน้ำเป็นเวลา 0, 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 ชั่วโมง พบว่ามีการสะสมของสารกาบาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นั่นคือปฏิกิริยา GAD เกิดมากขึ้นเมื่อแช่ข้าวกล้องในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณจมูกข้าว

กรดอะมิโนชนิดนี้มีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาท (neurotransmitter) ในระบบ

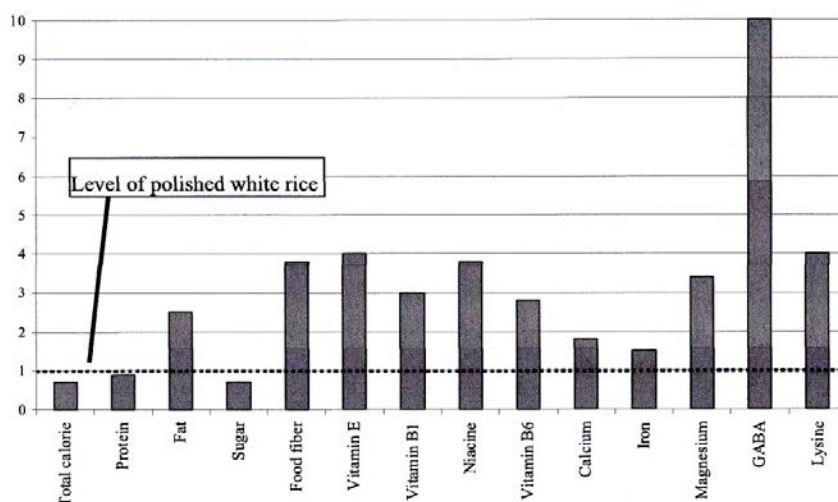
ประสาทส่วนกลาง มีรายงานทางการแพทย์หลายฉบับที่รายงานถึงคุณประโยชน์ของสารกาบา คือ ลดความดันโลหิต (Akama et al., 2009) บำรุงไต ช่วยควบคุมน้ำหนัก (Zhang et al., 2002) ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดทั้งในสัตว์และมนุษย์ เป็นสารโภชนาการบำบัดรักษาและป้องกันโรคต่างๆที่เกี่ยวข้องกับโรคพิษสุราเรื้อรัง (Zhang et al., 2006; Oh, 2003) ป้องกันสมองถูกทำลายซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ ยับยั้งการกระจายตัวของเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ (Shoishi, 2004) และป้องกันโรคหัวใจได้ (Cicero et al., 2001)



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของกระบวนการงอกของข้าวกล้อง
ที่มา : Tsukahara (2004)

2.1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากรายงานการวิจัยของ Kayahara and Tsukahara (2000) ชี้ให้เห็นว่าในระหว่างกระบวนการงอกเริ่มขึ้น สารอาหารในข้าวกล้องมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก สารอาหารสำคัญที่เพิ่มขึ้นในข้าวกล้องงอก คือ สารกาบา ไยอาหาร อินโนซิทอล กรดเพอร์รูริก โทโคโทรีนอล แมกนีเซียม โพแทสเซียม สังกะสี แกมมาโอไรซานอล และตัวยับยั้งโพลีเอนโดเปทีเดส ซึ่งปริมาณสารอาหารในข้าวกล้องงอกเปรียบเทียบกับข้าวขัดขาว มีสารกาบา 10 เท่า ไยอาหาร วิตามินอี ไนอะซิน และไลซีน มีปริมาณ 3 เท่า วิตามินB1, B2, B6 และแมกนีเซียม มีปริมาณ 3 เท่า (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 สัดส่วนปริมาณสารอาหารในข้าวกล้องงอกเปรียบเทียบกับข้าวขัดขาวที่แสดงระดับบนเส้นจุด
ที่มา : Kayahara และ Tsukahara (2000)

นอกจากนี้ Shoichi (2004) รายงานการวิเคราะห์สารอาหารในข้าวกล้องงอก ของข้าวเวียดนามเมียดยาว (พันธุ์พื้นเมืองและข้าวมะลิ (ข้าวแคลิฟอร์เนีย เมียดยาวปานกลาง) พันธุ์ Calrose และ M 401) และข้าวญี่ปุ่น (พันธุ์

Khoshihikari และ Hitomebore (พบว่า การเปลี่ยนแปลงกรดอะมิโนอิสระในข้าวกล้องงอกทุกระยะของการงอกมีความแตกต่างกันมีนัยสำคัญ สำหรับข้าวเวียดนามเม็ดยาว พันธุ์พื้นเมือง ถึงแม้ว่าจะมีอัตราการงอกต่ำ แต่มีสารกาบาเพิ่มขึ้นจาก 3.6 เป็น 6.1 ข้าวแคลิฟอร์เนียพันธุ์ Calrose มีสารกาบาเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า จาก 4.9 เป็น 10.9 และพันธุ์ M401 เพิ่มขึ้น 3 เท่า จาก 2.7 เป็น 9.8

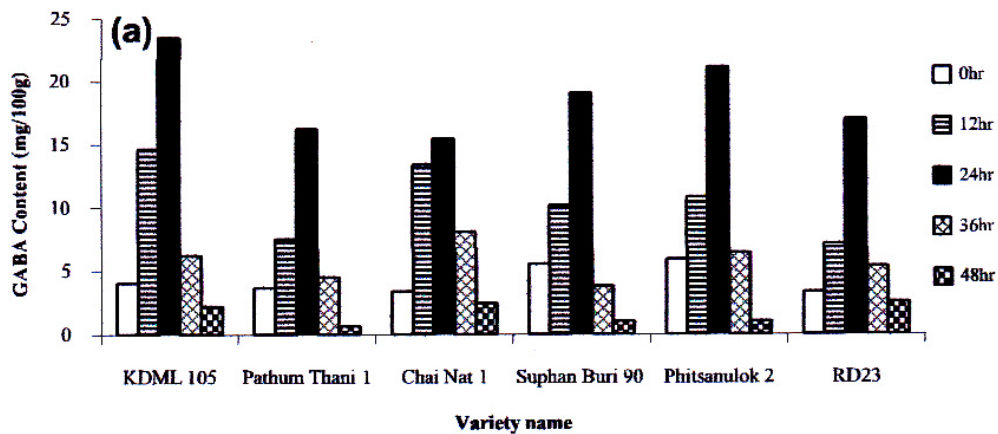
ตารางที่ 2.5 กรดอะมิโนอิสระและสมบัติของข้าวกล้องและข้าวกล้องงอก

Place harvested	Vietnam				USA				Japan			
Varieties	Long-grain brown rice				Mediun-grain brown rice				Medium-grain brown rice			
	Ordinal rice		Fragrant rice		Calrose rice		M401		Koshihikari		Hitomebore	
Harvested year	2003				2002				2002			
Analyzed date	Jan-04				Jan-03				Oct-02			
Germ. Rate (%)	10		36		90		56		93		82	
Amino acids	Not germ	Germ	Not germ	Germ	Not germ	Germ	Not germ	Germ	Not germ	Germ	Not germ	Germ
Aspartic acid	5.9	0.6	7.9	0.9	8.0	2.7	26.2	4.0	23.5	3.9	14.2	2.6
Glutamic acid	10.8	2.6	9.8	3.7	18.2	8.5	25.0	7.5	32.2	9.5	17.1	5.5
Alanine	5.8	8.8	3.6	11.1	10.2	18.9	8.9	15.8	4.2	27.9	5.4	32.3
GABA	3.6	6.1	4.1	6.4	4.9	10.9	2.7	9.8	7.6	16.6	10.5	13.6
Total	57.9	34.1	46.0	46.8	68.0	78.1	103.0	77.5	93.3	79.3	71.6	76.5

ที่มา : Shoichi (2004)

โดยมีอัตราการงอกอยู่ที่ 90 และ 56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ Khoshihikari และ Hitomebore มีสารกาบาเพิ่มขึ้นจาก 7.6 เป็น 16.6 และ 10.5 เป็น 13.6 ตามลำดับ และมีอัตราการงอกสูงด้วย (ตารางที่ 2.5)

เมื่อทราบแล้วว่าในระหว่างกระบวนการงอกของข้าวกล้องนั้น มีผลต่อปริมาณสารกาบา ซึ่งทำให้มีปริมาณสารกาบาสูงขึ้น จึงสอดคล้องกับรายงานการวิจัยหลายฉบับที่ได้ศึกษาการกระบวนการแช่ข้าวกล้องและข้าวเปลือก Karladee และ Suriyong (2012) ได้ศึกษาปริมาณสารกาบาของข้าวกล้องต่างสายพันธุ์ในระหว่างการงอก จำนวน 21 พันธุ์ คือ พันธุ์พื้นเมืองหรือข้าวสีม่วง 11 พันธุ์ และข้าวพันธุ์ใหม่ 10 พันธุ์ โดยมีระยะเวลาระหว่าง 5 ระยะ คือ 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า สารกาบามีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จาก 3.96 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมฐานแห้ง ที่ระยะบ่ม 0 ชั่วโมง (ไม่ได้บ่ม) ถึง 10.04 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมฐานแห้ง ที่ระยะบ่ม 12 ชั่วโมง จนถึงระดับสูงสุดที่ 17.87 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมฐานแห้ง เมื่อบ่มได้ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นปริมาณสารกาบาจะลดลงอย่างต่อเนื่อง จนถึง 9.91 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมฐานแห้ง และ 1.36 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมฐานแห้ง ที่ระยะบ่ม 36 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับพันธุ์ข้าวพบว่า มีปริมาณสารกาบาเฉลี่ย อยู่ในช่วง 6.50–10.10 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมฐานแห้ง มีค่าเฉลี่ยทุกสายพันธุ์ เท่ากับ 8.03 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมฐานแห้ง และพบว่าที่ระยะบ่ม 24 ชั่วโมง ข้าวกล้องงอกทุกพันธุ์มีปริมาณสารกาบาสูงสุด นอกจากนี้พบว่าข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 และพันธุ์ก่ำดอยสะเกิดสีม่วง มีปริมาณสารกาบาสูงเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์อื่น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 23.48 และ 23.63 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมฐานแห้ง ตามลำดับ สำหรับปริมาณสารกาบาในข้าว 4 ประเภท พบว่า ข้าวเหนียวพันธุ์ใหม่ มีปริมาณสารกาบาเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ ข้าวเจ้าพันธุ์ใหม่ และเมื่อเปรียบเทียบสารกาบาในข้าวเจ้าพันธุ์ใหม่ 6 สายพันธุ์ คือ ข้าวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 1, ชัยนาท 1, สุพรรณบุรี 90, พิษณุโลก 2 และ RD 23 พบว่า ข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 มีปริมาณสารกาบาสูงสุด (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 ปริมาณสารกาบา (mg/100 g ฐานแห้ง) ในเมล็ดงอกของข้าวเจ้าพันธุ์ใหม่
ที่มา : Karladee and Suriyong (2012)

ขณะทำงานวิจัยของ Moongngarn และ Saetung (2010) ได้ศึกษาเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีและส่วนประกอบของข้าวกล้อง (UGR), ข้าวกล้องงอก (GBR), ข้าวเปลือกงอก (GRR) และสารสกัดแป้งข้าวกล้องงอก (GRP) พบว่า โปรตีน, กรดอะมิโนอิสระทั้งหมด, แอลฟา-โทโคเฟอรอล, แกมมา-โอโรซานอล, โทอะมิน, ไนอะซิน และไฟริดอกซิน ในข้าวเปลือกงอกและสารสกัดแป้งข้าวกล้องงอก มีปริมาณสูงกว่าในข้าวกล้องงอกและข้าวกล้องอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 2.6) กรดอะมิโนที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ คือ สารกาบา, ไกลซีน และลิวซีน ปริมาณสารกาบามีเพิ่มขึ้นเป็น 188, 381 และ 395 เปอร์เซ็นต์ ในข้าวกล้องงอก, ข้าวเปลือกงอก และสารสกัดแป้งข้าวกล้องงอก ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาปริมาณสารกาบาระหว่างข้าวกล้องงอกและข้าวเปลือกงอก พบว่าข้าวเปลือกงอกจะมีปริมาณสารกาบาสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 2.4)

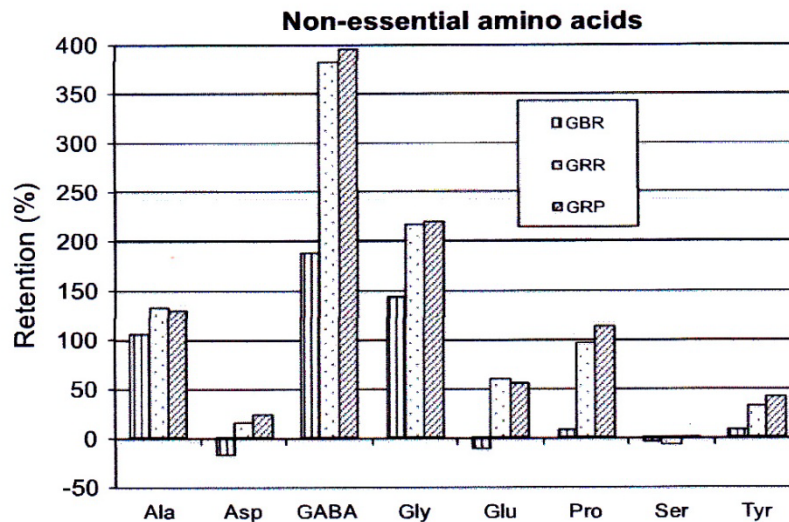
ตารางที่ 2.6 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นและกรดอะมิโนไม่จำเป็นในข้าวกล้อง (UGR), ข้าวกล้องงอก (GBR), ข้าวเปลือกงอก (GRR) และสารสกัดแป้งข้าวกล้องงอก (GRP) (mg/100 g dry weight)

Amino acids	UGR	GBR	GRR	GRP
EAA				
Histidine	221 ± 17.5 ^{ab}	204 ± 16.8 ^b	215 ± 33.8 ^b	266 ± 48.3 ^a
Isoleucine	136 ± 23.7 ^b	146 ± 54.3 ^{ab}	186 ± 22.6 ^a	195 ± 39.6 ^a
Leucine	695 ± 31.0 ^c	1210 ± 52.6 ^b	1599 ± 92.5 ^a	1523 ± 30.3 ^a
Lysine	331 ± 21.3 ^c	568 ± 52.2 ^b	788 ± 66.3 ^a	792 ± 44.3 ^a
Methionine ^{ns}	103 ± 13.9	93.4 ± 17.2	119 ± 10.5	110 ± 9.53
Phenylalanine	330 ± 14.7 ^b	360 ± 19.8 ^b	420 ± 22.8 ^a	441 ± 42.7 ^a
Threonine ^{ns}	255 ± 26.4	235 ± 13.4	245 ± 32.8	232 ± 21.1
Valine	539 ± 45.4 ^c	723 ± 35.6 ^b	1092 ± 79.9 ^a	1017 ± 46.2 ^a
NEAA				
Alanine	748 ± 82.2 ^b	1537 ± 133 ^a	1734 ± 103 ^a	1712 ± 118 ^a
Aspartic acid	731 ± 31.5 ^b	602 ± 34.9 ^c	844 ± 26.8 ^a	907 ± 51.6 ^a
GABA	23.8 ± 1.74 ^c	68.4 ± 4.43 ^b	115 ± 9.12 ^a	118 ± 14.21 ^a
Glycine	561 ± 74.5 ^c	1362 ± 100 ^b	1769 ± 257 ^a	1792 ± 162.5 ^a
Glutamic acid	961 ± 30.2 ^b	853 ± 43.2 ^c	1530 ± 128 ^a	1489 ± 159 ^a
Hydroxyproline ^{ns}	158 ± 16.5	154 ± 27.1	169 ± 15.3	178 ± 24.6
Proline	329 ± 12.8 ^b	355 ± 31.3 ^b	646 ± 44.6 ^a	699 ± 23.2 ^a
Serine ^{ns}	399 ± 19.6	384 ± 25.0	372 ± 18.7	395 ± 26.0
Tyrosine	298 ± 9.46 ^b	324 ± 21.7 ^b	398 ± 18.6 ^a	422 ± 27.8 ^a

Means within rows followed by the same letter are not significant different at $p < 0.05$.

^{ns} no significant difference.

ที่มา : Moongngarn และ Saetung (2010)



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงกรดอะมิโน (%) ในข้าวกล้อง (UGR), ข้าวกล้องงอก (GBR), ข้าวเปลือกงอก (GRR) และ สารสกัดแป้งข้าวกล้องงอก (GRP)

ที่มา : Moongngarn และ Saetung (2010)

2.2 เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (ปานมนัส, 2556)

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเป็นเทคนิคที่ใช้หลักการอันตรกิริยา (Interaction) เมื่อคลื่นเนียร์อินฟราเรด (ความยาวคลื่นระหว่าง 700-2500 nm) ที่ส่องไปยังวัสดุ เช่น ผลผลิตทางเกษตรและอาหาร ทำให้พันธะทางเคมีภายในวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพันธะ O-H, C-H และ N-H ของวัสดุ ดูดซับคลื่นและทำให้เกิดอาการสั่นสะเทือนของพันธะ โดยการเปลี่ยนระดับพลังงานข้ามขึ้นมากกว่า 1 ชั้น (Overtone) หรือเกิดจากการสั่นสะเทือนข้าม 1 ชั้น (Fundamental vibration) พร้อมกันของพันธะตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไป ทำให้ได้ผลรวมของการสั่น (Combination vibration) เครื่องมือที่ใช้เรียกว่า สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ซึ่งมีแหล่งแสงที่ให้ช่วงคลื่นเนียร์อินฟราเรด ปกติเป็นหลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten halogen) ตัวตรวจวัด (Detector) ในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ทำจากสารต่างๆ ไม่เหมือนกันขึ้นกับช่วงคลื่นที่ต้องการตรวจวัด เช่น ช่วงคลื่น 350-1100 nm ใช้ Si (Silicon) ช่วง 1100-2500 nm ใช้ PbS (Lead sulphide) หรือ InGaAs (Indium Gallium Arsenide) ช่วงแสงที่มองเห็นได้และช่วงเนียร์อินฟราเรด (400-2600 nm) ใช้ PbS ควบคู่ (Sandwiched) กับ Silicon photodiodes วิธีการจัดวางตัวอย่างเพื่อการสแกนด้วยสเปกโตรมิเตอร์ ทำได้หลายวิธี เช่น วิธีสะท้อน (Reflectance) เป็นวิธีที่ง่ายต่อการจัดวางตัวอย่าง เมื่อแสงส่องไปยังวัตถุแล้วแพร่ลงไปใ้เนื้อวัตถุบางส่วนแล้วสะท้อนกลับขึ้นมาสู่ตัวตรวจวัด บางทีเรียกว่า การสะท้อนแบบแพร่ (Diffused reflectance) โดยมีแหล่งแสงและตัวตรวจวัดอยู่ด้านล่าง ในปัจจุบันเนื่องจากมีความสะดวกในการใช้สายไฟเบอร์ออปติก การวัดสะท้อนจากวัตถุจึงเป็นแบบ Interactance ซึ่งมีสายไฟเบอร์ออปติกที่เป็นตัวนำคลื่นที่สะท้อนจากวัตถุกลับไปยังตัวตรวจวัด ซึ่งอยู่ใกล้กัน เรียกว่า Interactance-Reflectance ได้ วิธีส่องผ่านคลื่นไปในตัวอย่าง ก่อนที่จะรับแสงที่ผ่านออกมาไปวิเคราะห์ เรียกว่า วิธีส่องผ่าน (Transmittance) เป็นวิธีที่นิยมใช้กับของเหลว นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับของแข็ง เช่น ผลไม้ นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ FQA NIR GUN ซึ่งปกติเป็นแบบสะท้อนให้เป็นวิธีส่องผ่านโดยใช้ Gold cup นอกจากนี้ยังมีการวัดแบบส่องผ่านสะท้อน (Transflectance) เป็นการส่งคลื่นผ่านตัวอย่าง ซึ่งโดยปกติเป็นของเหลวที่อยู่ในภาชนะที่ทำด้วยอะลูมิเนียมที่มีความลึกละเอียด เมื่อคลื่นกระทบพื้นอะลูมิเนียมจะสะท้อนผ่านตัวอย่างขึ้นมาเข้าสู่ตัวตรวจวัด

เนื่องจากเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมจะมีค่าพิคส่วนใหญ่เป็นพิคกว้าง (Broad spectrum) บางทีมีพิคกว้างที่มีความเข้มสูง เนื่องจากการซ้อนทับกัน (Overlapping bands) บางทีอาจจะเห็นพิคที่คมชัด (แต่น้อย)

สเปกตรัมของวัสดุเกษตรและอาหารส่วนใหญ่มีพีคของน้ำเป็นพีคใหญ่และกว้างที่บริเวณ 760, 970, 1450 และ 1940 nm ลักษณะของสเปกตรัมเช่นนี้ ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุได้โดยตรง จำเป็นต้องใช้หลักทางเคมีเมตริก (Chemometric) มาใช้ โดยต้องทำสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าองค์ประกอบทางเคมีหรือสมบัติทางกายภาพหรือสมบัติอื่นที่ต้องการวิเคราะห์(เช่น ไขมันในปลา ความหวานของผลไม้ สมบัติเนื้อสัมผัสของอาหาร ปริมาณเนื้อเยื่อของน้ำยาง เป็นต้น) กับข้อมูลของสเปกตรัม ซึ่งเรียกว่าข้อมูลเชิงแสง (Optical data) เพื่อประมาณค่าองค์ประกอบหรือสมบัติที่ต้องการ

ตารางที่ 2.7 การใช้ประโยชน์เทคนิค NIRS ในประเทศไทย

อุตสาหกรรม	ชนิดของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์	องค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์
มันสำปะหลัง	มันแผ่นและมันอัดเม็ด	ความชื้น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เส้นใย ชี้เถ้า
อาหารสัตว์และสัตว์น้ำ	วัตถุดิบ)ข้าวโพด ข้าวสาลี ปลาป่น กระดูกป่น ถั่วเหลืองป่น ปลาขี้ขาว และผลิตภัณฑ์สำเร็จ)	ความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใย ชี้เถ้า
แป้ง)ข้าวสาลีและอื่นๆ(	วัตถุดิบ)สินค้านำเข้า (และผลิตภัณฑ์สำเร็จ	ความชื้น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เส้นใย ชี้เถ้า กลูเต็น
นมและผลิตภัณฑ์นม	น้ำนมดิบ นมผง นมหวาน	ความชื้น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน
น้ำมันพืช	วัตถุดิบ)ถั่วเหลือง รำข้าว(	ความชื้น โปรตีน น้ำมัน กรดไขมันอิสระ

ที่มา : วารุณี (2550)

2.2.1 ส่วนประกอบของเครื่อง NIR (นิพนธ์, 2545)

ส่วนประกอบหลักและการออกแบบเครื่องมือ Spectrometer แต่ละประเภทจะมีความคล้ายคลึงกันโดย NIR นั้นจะประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดแสง ตัวเลือกช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ ตำแหน่งที่วางตัวอย่าง

(1) แหล่งกำเนิดรังสีในช่วง NIR

โดยส่วนใหญ่จะใช้หลอดทังสเตนเพราะราคาถูกและใช้งานได้ดีทันที แล้วใช้ตัวฟิลเตอร์ช่วยกรองแสงในช่วงความถี่ที่ไม่ต้องการออกเพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างร้อนจนเกินไป หรือใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดโดยค่าความยาวคลื่นที่ได้จะขึ้นกับสารที่ใช้ทำตัว LED อย่างไรก็ตาม LED ไม่สามารถให้ความยาวคลื่นในช่วง 1,700-2,500 nm ได้ ซึ่งเป็นช่วงที่นิยมนำไปใช้งาน แต่ก็เหมาะสำหรับเครื่องมือแบบพกพาเพราะต้องการกำลังไฟฟ้าน้อย มีอายุการใช้งานที่ยาวนานและพลังงานของผลึกพีซีดีก็ไม่เพิ่มสูงขึ้นแม้จะมีการเพิ่มกำลังวัตต์ของแหล่งกำเนิด

(2) โมโนโครมาเตอร์ (Monochromator)

ช่วยในการกระจายแสงโดยอาศัยเกรตติง และควบคุมให้อยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการด้วยช่องผ่านแสงเข้า (Entrance Slit) และช่องผ่านแสงออก (Exit Slit) ตัวอย่างจะมีการดูดกลืน หรือยินยอมให้รังสีทะลุผ่านหรือสะท้อนกลับ

(3) ตำแหน่งที่วางตัวอย่าง

จะต้องได้รับการออกแบบให้มีความเหมาะสมกับรูปแบบของการวิเคราะห์และปริมาณของอนุภาคที่ใช้วิเคราะห์ เช่น ถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่างจะเหมาะสมสำหรับตัวอย่างที่เป็นตะกอนแห้งหรือในกรณีที่ตัวอย่างมีปริมาณมาก ถ้วยเหล่านี้จะมีการหมุน เป็นต้น เซลล์สำหรับใส่ตัวอย่างเหล่านี้จะต้องทำจากวัสดุที่ยอมให้แสงในช่วง NIR สามารถทะลุผ่านได้ เช่น ควอตซ์หรือแก้ว และมีระยะทางเดินของแสงที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่าง

(4) อุปกรณ์สำหรับตรวจวัด (Detector)

ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงที่ทะลุผ่านตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการทาง Photoconductive Effect การเลือกเครื่องตรวจวัดนั้นขึ้นกับช่วงความยาวคลื่นและการออกแบบตัวแปรต่างๆ ของ Spectrometer ซึ่งซิลิกอนจะเหมาะสมสำหรับแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้และ NIR ช่วงความยาวคลื่นสั้น (400-1,100 nm)

2.2.2 Spectrum pretreatment (ปานมนัส และคณะ, 2556)

สเปกตรัมของตัวอย่างที่วัดได้ด้วยเครื่อง NIR Spectrometer สามารถนำมาใช้เลยหรืออาจมีการจัดการทางคณิตศาสตร์ต่อสเปกตรัม (Spectrum pretreatment) ก่อน ซึ่งมีหลายวิธีด้วยวัตถุประสงค์ต่างกัน เช่น ทำสเปกตรัมที่มีสัญญาณรบกวนให้เรียบขึ้น โดยใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยของช่วงคลื่นสั้นๆ ต่อเนื่องกัน การปรับค่าศูนย์กลางข้อมูล (Mean centering, MC) การทำอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง (1st derivative, D1) เพื่อแก้ปัญหาการเลื่อนขึ้นของเส้นสเปกตรัม (Baseline shift) การทำอนุพันธ์ลำดับที่สอง (2nd derivative, D2) เพื่อแก้ปัญหาการเลื่อนขึ้นและการที่มีพีกซ้อนทับกัน (Overlapping peaks) การปรับเป็นค่ามาตรฐาน (Normalization) ทำเพื่อกำจัดความแปรปรวนจากปัจจัยที่ไม่ต้องการ การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (Multiplicative scatter correction, MSC) เพื่อแก้ปัญหาการกระเจิงแสงที่ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น ขนาดอนุภาคหรือผลที่ไม่เท่ากัน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแหล่งแสง เป็นต้น การปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน (Standard normal variate, SNV) และการปรับแนวโน้ม (Detrending) ซึ่งแก้ปัญหาเช่นเดียวกับ MSC การทำ Min-Max Normalization แก้ปัญหาเช่นเดียวกับการทำ Normalization

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเป็นเทคนิคการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย ใช้งานง่าย รวดเร็ว แม่นยำ เชื่อถือได้ สามารถตรวจสอบได้ในสายการผลิต ไม่ต้องการใช้สารเคมีหรือใช้น้อย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เทคนิคนี้ช่วยให้สามารถวัดองค์ประกอบหรือสมบัติต่างๆ ของผลผลิตเกษตรและอาหารในเชิงปริมาณได้ง่ายขึ้นและเป็นวิธีไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถจำแนกกลุ่มเนื้อสัมผัสของตัวอย่างได้อย่างรวดเร็ว ไม่จำเป็นต้องใช้คณะผู้ชิมที่ต้องการการฝึกฝนให้มีความชำนาญในการชิม แต่เทคนิคนี้ต้องอาศัยการสร้างแบบจำลองดังกล่าวมาแล้วด้วยวิธีการทางเคโมเมตริกแบบต่างๆ ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ โดยทั่วไปใช้วิธีการใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple linear regression, MLR) การถดถอยโดยใช้องค์ประกอบหลัก (Principle component regression, PCR) การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial least square regression, PLSR) ในการจำแนกกลุ่มเชิงคุณภาพนิยมใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle component analysis, PCA) การวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มเชิงเส้น (Linear discriminant analysis, LDA) การวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มด้วยวิธี PLS (Partial least square discriminant analysis, PLS-DA) การจำแนกกลุ่มด้วยวิธี SIMCA (Soft independent modeling of class analogy) การใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network, ANN) เป็นต้น

2.2.3 Partial least square regression (PLS-Regression) (ปานมนัส และคณะ, 2556)

Partial Least Square (PLS) Regression เป็นเทคนิคในการลดจำนวนตัวแปรเช่นเดียวกับวิธี PCR กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมจะเป็นอิสระจากกระบวนการทำสมการถดถอยของสมการทำนาย ซึ่งใน PLS ทั้งสองกระบวนการจะถูกเชื่อมโยงเข้าไว้ด้วยกัน โดยมีการนำค่าองค์ประกอบทางเคมีมาคิดในกระบวนการหาปัจจัยด้วย ซึ่ง Kasemsamran (2005) ได้อธิบายถึง PLS ว่าเป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบตัวแปรหลายตัวแปร โดยการสร้างปัจจัยแบบสมการเชิงเส้นตรงจากข้อมูลของสเปกตรัมเริ่มต้น และนำปัจจัยที่ได้ไปใช้ในการสร้างสมการ

ถดถอย โดยปัจจัยที่ได้จากการสร้างสมการด้วยวิธีสถิติ PLS ต้องสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล และเกี่ยวข้องกับการประเมินค่าทางเคมีในเวลาเดียวกัน วัตถุประสงค์ของ PLS เพื่อต้องการลดจำนวนข้อมูลสเปกตรัมให้ได้เฉพาะข้อมูลสเปกตรัมที่มีความสำคัญกับการทำนายค่าทางเคมีที่สนใจเท่านั้น เพื่อให้สามารถประเมินค่าทางเคมีได้ถูกต้องมากขึ้น

2.2.4 การทำ Validation แบบ Full cross validation

Full cross validation เป็นการทดสอบภายในกลุ่มตัวอย่าง (internal validation) โดยตัวอย่างที่นำมาทดสอบสมการ คือ ตัวอย่างชุดเดียวกับที่ใช้สร้างสมการทำนายค่าทางเคมี โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้ ตัดตัวอย่างที่ 1 ออกจากชุดตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการทำนายค่าทางเคมีจากนั้นใช้ตัวอย่างที่เหลือทำการคำนวณหาสมการ เมื่อได้สมการแล้วจึงนำตัวอย่างที่ 1 มาทดสอบสมการ ขั้นต่อไปใส่ตัวอย่างที่ 1 กลับคืน และตัดตัวอย่างที่ 2 ออกจากชุดตัวอย่าง แล้วจึงสร้างสมการทำนายค่าทางเคมี นำสมการที่ได้จากการทำนายของตัวอย่างที่ 2 ทำขั้นตอนข้างต้นซ้ำจนกระทั่งหาค่าทางเคมีของตัวอย่างครบทั้งชุด ดังนั้นตัวอย่างแต่ละความเข้มข้นจะถูกตัดออกจากชุดตัวอย่าง 1 ครั้งเท่านั้น จากนั้นทำการหาค่า RMSECV (Root Mean Square Error of cross validation)

2.2.5 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ (ปานมนัส และคณะ, 2556 อ้างจากWilliams, 2007)

1. สัมประสิทธิ์การพิจารณา (Coefficient of determination, R^2)

แสดงสัดส่วนของความแปรปรวนในข้อมูล X ที่สามารถอธิบายโดยความแปรปรวนในข้อมูล Y ค่าของ R^2 จะเป็นบวกเสมอ เช่น ถ้า $R = 0.97$ แล้ว $R^2 = 0.941$ หมายความว่า 94.1% ของความแปรปรวนในข้อมูล X และ 5.9% ของความแปรปรวนในข้อมูล X เกิดขึ้นจากตัวแปรอื่น เช่นการเตรียมตัวอย่าง วิธีการทดลองอ้างอิง และอื่นๆ ค่า R^2 เป็นบวกเสมอโดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมายของ R ในทางปฏิบัติ R^2 ให้ข้อมูลมากกว่า R และใช้กันมากกว่า R การแปลความหมายของค่า R และ R^2 แสดงดังตารางที่ 2.8

$$R^2 = \left[1 - \frac{\sum_1^n (Y_i^{meas} - Y_i^{pred})^2}{\sum_i^n (Y_i^{meas} - \bar{Y})^2} \right] \times 100 \quad 2.4$$

เมื่อ	Y^{meas}	คือ	ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี
	Y^{pred}	คือ	ค่าที่ได้จากการทำนายด้วย NIRS
	n	คือ	จำนวนตัวอย่าง

ตารางที่ 2.8 การแปลความหมายของค่า R และ R² (Williams, 2007)

R	R ²	การแปลความหมาย
ถึง +/-0.5	ถึง 0.25	ไม่สามารถใช้ใน NIR calibration
+/-0.51-0.70	0.26-0.49	เป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ดี ควรหาเหตุผล
+/-0.71-0.80	0.50-0.64	OK สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) อย่างหยาบๆ
+/-0.81-0.90	0.66-0.81	OK สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) และการประมาณค่าอย่างหยาบๆ
+/-0.91-0.95	0.83-0.90	ใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการวิจัย
+/-0.96-0.98	0.92-0.96	ใช้ในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการประกันคุณภาพ
+/-0.99+	0.98+	ดีเยี่ยม ใช้ได้กับการประยุกต์ใช้

2. ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (Root mean square error of cross validation; RMSECV)

Cross-validation สามารถใช้ตัวอย่างชุดเดียวกันกับที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อการทำนาย (Validation) สิ่งนี้ทำโดยชักตัวอย่างออกหนึ่งตัวอย่างหรือกลุ่มของหลายตัวอย่างจากชุดสร้างแบบจำลอง และสร้างแบบจำลองด้วยตัวอย่างที่เหลืออยู่ แล้วทำนายตัวอย่างที่ถูกกำจัดออกไปและบันทึกค่าความผิดพลาด แล้วนำตัวอย่างที่ถูกกำจัดออกไปนั้นกลับมาแล้วชักตัวอย่างอื่นออกไปและทำซ้ำกระบวนการจนกระทั่งตัวอย่างทั้งหมดถูกใช้ในการพัฒนาแบบจำลองและทำนาย จะไม่มีตัวอย่างที่ถูกทำนายถูกใช้ในการพัฒนาแบบจำลองซึ่งได้ใช้ในการทำนาย ถ้าเอาออกเพียงทีละ 1 ตัวอย่างจะเรียกว่า "Full" หรือ "One-out" cross-validation ถ้านำชุดตัวอย่าง (จำนวนหลายตัวอย่าง) ออกจะเรียกว่า "Segmented" cross-validation ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างระหว่างค่าที่ถูกทำนายโดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและค่าจากการวัดด้วยวิธีอ้างอิงของชุดสร้างแบบจำลอง คือ RMSECV วิธีพิสูจน์นี้เหมาะที่จะใช้กับข้อมูลที่มีจำนวนตัวอย่างน้อยๆ เช่น น้อยกว่า 100 ตัวอย่าง

$$RMSECV = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i^{meas} - Y_i^{pred})^2}$$

3. อัตราส่วนระหว่าง SEP กับ SD (Ratio of SEP to the SD, RPD)

RPD ย่อมาจาก Ratio of (Standard error of) Prediction (Validation) to (Standard) Deviation แต่เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) กับ อัตราส่วนของค่าความผิดพลาดมาตรฐานการทำนาย (SEP) ของข้อมูลของค่าอ้างอิงของชุดทำนาย ค่า SEP ควรต่ำกว่า SD มากๆ ซึ่งอัตราส่วนควรเท่ากับ 5 หรือมากกว่า บางกรณีตัวอย่างมีความสม่ำเสมอมาก ค่า SD จึงไม่สูง ซึ่ง RPD อาจจะไม่สูง ดังนั้น RPD เท่ากับ 2.5-3.0 ก็อาจแสดงถึงการวิเคราะห์ที่แม่นยำถ้า SD มีค่าเพียง 0.4-0.5 ตารางที่ 2.9 แสดงการอธิบายผลของค่า RPD และ RER

4. ความผิดพลาด (Bias)

เมื่อทำนายค่าตัวแปรที่ต้องการของข้อมูลในชุดตัวอย่างทดสอบแบบจำลอง (Validation set) ค่า Bias หมายถึงความแตกต่างระหว่างค่าจากการวัดด้วยวิธีอ้างอิงและค่าที่ทำนายโดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และเป็นการวัดความแม่นยำโดยรวมของแบบจำลอง (Calibration model) ในโลกความเป็นจริงของทางการค้าและอุตสาหกรรม Bias เป็นหนึ่งในสิ่งที่สำคัญมาก ในทางสถิติ Bias สามารถเกิดขึ้นได้แม้เมื่อค่าสถิติสัมประสิทธิ์

ความสัมพันธ์และ SEP ที่แสดงว่าแบบจำลอง นั้นดีเยี่ยม

ตารางที่ 2.9 การอธิบายผลของค่า RPD และ RER (Williams, 2007)

RPD	RER	ความหมาย	การประยุกต์ใช้
0.0-2.3	ถึง 6	ไม่ดีเลย	ไม่แนะนำ
2.4-3.0	7-12	ไม่ดี	คัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) แบบหยาบๆ
4.9-3.1	13-20	พอใช้	คัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) ได้
6.4-5.0	21-30	ดี	ควบคุมคุณภาพได้
8.0-6.5	31-40	ดีมาก	ควบคุมกระบวนการได้
+8.1	41+	ดีเยี่ยม	ได้ทุกการประยุกต์ใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง

งานวิจัยนี้มีที่มาของตัวอย่าง 2 แหล่ง คือ 1.การเตรียมตัวอย่างโดยสถานประกอบการที่จำหน่ายข้าวกล้องงอกในจังหวัดชลบุรี 2.การซื้อข้าวกล้องงอกจากสถานที่ต่างๆ สำหรับการเตรียมตัวอย่างโดยสถานประกอบการ มีวิธีการดังนี้

ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (รูปที่ 3.1) เพาะปลูกและเก็บเกี่ยวในปี พ.ศ.2555 จากอำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย โดยทำการสุ่มข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยวิธีตากแดด ประมาณ 2-3 แดด นำข้าวเปลือกที่ได้แช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 3.2) เป็นเวลา 0 (ชุดควบคุม), 24 และ 48 ชั่วโมง (ตัวอย่างข้าวเปลือกที่ใช้แช่ จำนวน 10 กิโลกรัมต่อกรรมวิธี) ในระหว่างการแช่น้ำจะมีการเปลี่ยนน้ำทุกๆ 4 ชั่วโมง และใช้มือกวนน้ำทุกครั้ง ก่อนที่จะเทน้ำทิ้ง เมื่อถึงเวลาที่กำหนด ตักเมล็ดขึ้นโดยใช้ตะแกรง ใส่ในถุง polypropylene (PP) แล้วบ่มเมล็ด เป็นเวลา 0, 6, 12, 18, 24, 30 และ 36 ชั่วโมง นำเมล็ดลดความชื้นด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Fluidized-bed Technique by Superheated Steam) อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที เมล็ดข้าวเปลือกงอก (รูปที่ 3.3)จะมีความชื้นประมาณ 19 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก นำเมล็ดผึ่งลมเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นกะเทาะเปลือกและบรรจุในถุงแบบสุญญากาศ ถุงละ 1 กิโลกรัม กรรมวิธีละ 4 กิโลกรัม ข้าวกล้องงอก (รูปที่ 3.4) ถูกนำมายังศูนย์วิจัยเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปีสำหรับผลผลิตทางการเกษตรและอาหาร หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 3.1 ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105



รูปที่ 3.2 ข้าวเปลือกที่แช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 3.3 ข้าวเปลือกงอกที่ผ่านการแช่ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.4 ข้าวกล้องงอก

3.2 การสแกนสเปกตรัมข้าวกล้องงอกด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer

การทดลองใช้ตัวอย่างเมล็ดข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เตรียมตัวอย่างโดยสถานประกอบการที่จำหน่ายข้าวกล้องงอกในจังหวัดชลบุรี และตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่ได้จากท้องตลาดต่างๆ จากนั้นนำมาวางไว้ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ (ประมาณ 25 ± 2 องศาเซลเซียส)

วิธีการทดลอง

เตรียมตัวอย่างทดลองทั้งหมด 108 ตัวอย่าง โดยทดสอบข้าวกล้องงอกที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างโดยสถานประกอบการ จำนวน 68 ตัวอย่าง และตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่จากท้องตลาดต่างๆ จำนวน 38 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างตวงให้ได้ปริมาตรของตัวอย่างเท่ากัน ตัวอย่างละ 280 กรัม เติลงในถ้วยควอทซ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany) (รูปที่ 3.5) ซึ่งมีการวัดแบบ Reflectance ที่ช่วงจำนวนคลื่นระหว่าง $12,500\text{--}4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น $800\text{--}2500\text{ nm}$) สแกนทุกๆ 8 cm^{-1} สแกนซ้ำ 64 ครั้งต่อ 1 spectrum จากนั้นนำตัวอย่างบรรจุใส่ถุงซิปล็อค แล้วนำตัวอย่างข้าวกล้องงอกตรวจวิเคราะห์สารกาบาโดยสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



รูปที่ 3.5 เครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany)

3.3 การวัดปริมาณสารกาบาตามวิธีมาตรฐาน

การวัดปริมาณสารกาบาเป็นวิธีที่ยุ่งยากโดยทั่วไปทำโดยใช้เครื่อง Amino acid analyzer แต่ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างมาฉีดที่เครื่องยุ่งยากโดยต้องทำเยือกแข็งข้าวกล้องงอกที่ $20\text{--}^{\circ}\text{C}$ แล้วทำแห้งด้วยระบบสุญญากาศ

แล้ววัดให้เป็นแบ่ง การสกัดสารกาบาทำโดยใช้ตัวอย่างแบ่งข้าวกล้องงอก 2.5 g ใส่ลงไปในหลอดทดลองฝาเกลียวที่มีเอทานอล 70 % (v/v) 25 ml เขย่าผสมกันอย่างแรงเป็นเวลา 1 นาทีที่อุณหภูมิห้อง แล้วเหวี่ยงด้วยแรงหนีศูนย์กลางที่ 8000 g ที่ 4°C เป็นเวลา 5 นาที กรองของเหลวด้านบนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 2 (Whatman) แล้วเก็บไว้ในขวดแก้วรูปชมพู่ เติมน้ำเอทานอล 70 % (v/v) 25 ml แล้วทำการสกัดเหมือนเดิม นำของเหลวที่ได้ 50 ml มาทำแห้งด้วย Rotary Evaporator แล้วละลายของแข็งที่เหลือด้วย Lithium citrate elution buffer (pH 2.2) 5 ml ซึ่งประกอบด้วย 1.5 g tri-lithium citrate, 19.8 g citric acid, 12.0 g LiCl และ 20.0 g 2,2-thiodiethanol (per) แล้วกรองด้วย 0.45 μ m Millipore filter ใช้ตัวอย่างที่ได้ 20 μ l ฉีดที่เครื่อง amino acid analyzer

3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์บางครั้งจำเป็นต้องตัดค่าบางส่วนที่มีค่านอกกลุ่ม (Outlier) ออกจากผลการทดลอง ซึ่งอาจเกิดจากตัวอย่างมีขนาดไม่สม่ำเสมอ หรือเกิดจากความผิดพลาดในกระบวนการทดลอง ซึ่งตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบค่าแล้วนั้นจะต้องมีค่าอยู่ในช่วง ± 3 หากมีค่าอยู่นอกช่วงดังกล่าวนี้ต้องตัดออกจากกลุ่มเพราะเกิดจากตัวอย่างผิดปกติ หรือเกิดจากความผิดพลาดในกระบวนการทดลอง ซึ่งจากการตรวจสอบตัวอย่างไม่พบค่านอกกลุ่มในการทดลองครั้งนี้

$$\frac{X_i - \bar{X}}{SD} \geq 3 \quad 3.1$$

เมื่อ X_i คือค่าที่หาจากวิธีมาตรฐานแต่ละตัวอย่าง

$\bar{X}$ คือค่าเฉลี่ย

SD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง

3.4.1 การวิเคราะห์ลักษณะของสเปกตรัม

การวิเคราะห์สเปกตรัมดั้งเดิม (Raw spectrum) จากการวัดค่าการดูดซับคลื่นในช่วงช่วงจำนวนคลื่นระหว่าง 12,500-4,000 cm^{-1} (ความยาวคลื่น 800-2500 nm) ด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของข้าวกล้องงอก จะวิเคราะห์จากแถบการดูดซับคลื่นที่ปรากฏในสเปกตรัม โดยพิจารณาให้สอดคล้องกับองค์ประกอบที่มีในข้าวกล้องงอก

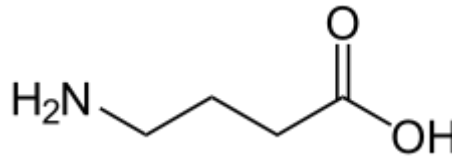
3.4.2 การสร้างสมการในการทำนาย

การสร้างสมการในการทำนาย โดยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงแสง (optical data) กับปริมาณสารกาบาที่วัดด้วยวิธีมาตรฐาน โดยวิธี Partial least squares regression (PLS) และโปรแกรม OPUS version 7.0.129 ทั้งนี้ใช้ข้อมูลเชิงแสง (สเปกตรัม) ที่ไม่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นหรือที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นโดยวิธี constant offset elimination, straight line subtraction, vector normalization (SNV), min-max normalization, multiplicative scatter correction (MSC), first derivatives, second derivatives, first derivatives+straight line subtraction, first derivatives+SNV และ first derivatives+MSC จะพิสูจน์แบบจำลองโดยวิธี full cross validation เมื่อได้แบบจำลองจะคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากค่า root mean squared error of cross validation (RMSECV) ที่ต่ำที่สุด จากนั้นจะบันทึกค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficients of determination; R^2), ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (root mean squared error of cross validation; RMSECV), อัตราส่วนระหว่างค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Ratio of standard error of validation to the standard deviation; RPD), ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias) และค่า regression coefficient และ X-loading weight ที่จำนวนคลื่นต่างๆ ทั้งนี้ใช้กลุ่มตัวอย่างดังต่อไปนี้สร้างแบบจำลอง 1) ข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่ข้าวเปลือกและบ่ม

แตกต่างกัน (Brown rice KDML105 of different rough rice soaking and incubating time) 2) ข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด (Germinated brown rice (KDML105) from the markets) 3) ข้าวกล้องงอกพันธุ์ต่างๆที่มีจำหน่ายในท้องตลาด (Germinated brown rice of different varieties from the markets) และข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 รวมทุกกลุ่ม (All germinated brown rice (KDML105))

3.5 การวัดสเปกตรัมของสารกาบาบริสุทธี

สารกาบาบริสุทธี (*gamma*-Aminobutyric acid) มีโครงสร้างดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 โครงสร้างของ *gamma*-Aminobutyric acid

ที่มา: Wikipedia (2013)

สารกาบาบริสุทธี (*gamma*-Aminobutyric acid, concentration >99%, SLUKA, China) ถูกสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer ที่ช่วงจำนวนคลื่นระหว่าง $12,500\text{--}4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น $800\text{--}2500\text{ nm}$)

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการวิเคราะห์ปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด) สารกาบา (ในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105) Khao Dawk Mali 105; KMDL 105) ที่ช่วงจำนวนคลื่นระหว่าง $12,500\text{--}4,000\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น $800\text{--}2500\text{ nm}$) ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 ผลการตรวจวัดปริมาณสารกาบาตามวิธีมาตรฐาน

4.1.1 ปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่ข้าวเปลือกและระยะเวลาการบ่มแตกต่างกัน

จากผลการตรวจวัดปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่ 24 และ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และระยะเวลาการบ่มที่ 0, 6, 12, 18, 24, 30 และ 36 ชั่วโมง แล้วเปรียบเทียบกับข้าวกล้อง ชุดควบคุม (พบว่า สารกาบาถูกตรวจพบตั้งแต่ในข้าวเปลือกไม่ได้ผ่านกระบวนการงอก (ข้าวกล้อง (ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1.30\text{ mg}/100\text{ g}$ น้ำหนักแห้ง ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกกรรมวิธี และพบสารกาบาในข้าวกล้องงอกทุกระยะเวลาการแช่และระยะการบ่ม โดยที่ระยะเวลาแช่ 24 และ 48 ชั่วโมง แล้วบ่มที่ 0 ชั่วโมง) ไม่ได้บ่ม (มีปริมาณสารกาบาเฉลี่ยเท่ากับ 2.10 และ $4.19\text{ mg}/100\text{ g}$ น้ำหนักแห้ง สารกาบาจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะการบ่มที่สูงขึ้น โดยระยะเวลาการแช่ที่ 48 ชั่วโมง แล้วบ่มที่ 24 ชั่วโมง จะมีปริมาณสารกาบาเฉลี่ยสูงสุด คือ $6.24\text{ mg}/100\text{ g}$ น้ำหนักแห้ง หลังจากนั้นจะลดลงเป็น 5.88 และ $4.86\text{ mg}/100\text{ g}$ น้ำหนักแห้ง หลังจากบ่มเป็นเวลา 30 และ 36 ชั่วโมง ตามลำดับ) ตารางที่ 4.1) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Karladee และ Suriyong (2012) ที่ศึกษาปริมาณสารกาบาของข้าวกล้องต่างสายพันธุ์ในระหว่างการงอก โดยมีระยะเวลาการบ่ม 5 ระยะ คือ 0, 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง โดยพบว่า สารกาบาจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ที่ระยะบ่ม 0 ชั่วโมง จนถึงระดับสูงสุดเมื่อบ่มได้ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่อง ที่ระยะบ่ม 36 และ 48 ชั่วโมง

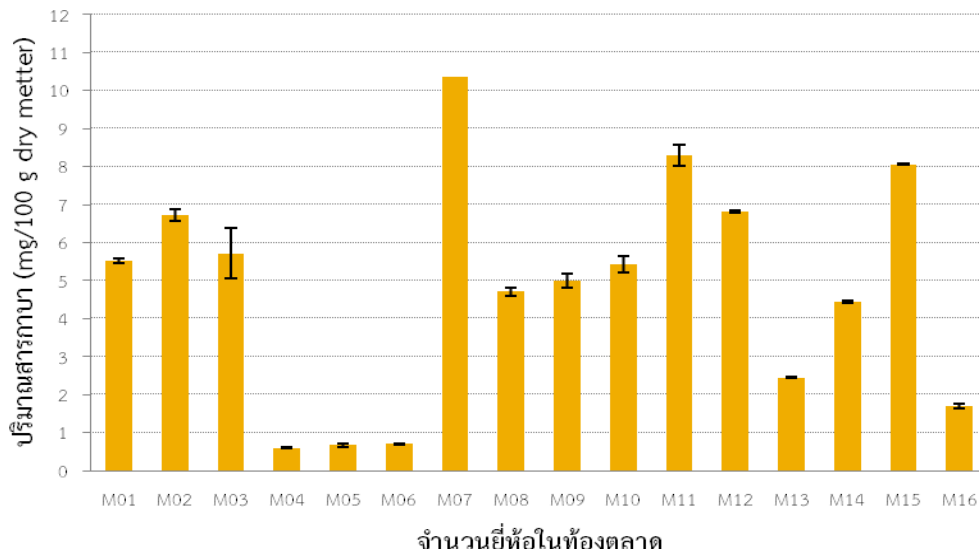
4.1.2 ปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

จากผลการตรวจวัดปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด จำนวน 16 ยี่ห้อ ตรวจสอบยี่ห้อละ 2 ซ้ำ พบว่า ยี่ห้อ M07 มีปริมาณสารกาบาเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ $10.36\text{ mg}/100\text{ g}$ น้ำหนักแห้ง ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกยี่ห้อ และยี่ห้อ M04, M05 และ M06 จะมีปริมาณสารกาบาเฉลี่ยต่ำและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 0.60 , 0.67 และ $0.70\text{ mg}/100\text{ g}$ น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) รูปที่ (4.1 นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวกล้องงอกทุกยี่ห้อจะมีปริมาณสารกาบาเฉลี่ย เท่ากับ $4.82\text{ mg}/100\text{ g}$ น้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่และระยะเวลาการบ่มแตกต่างกัน

กรรมวิธี	สารกาบา (mg/100g น้ำหนักแห้ง)
ข้าวกล้อง (ชุดควบคุม)	1.30±0.06 ^l
เวลาแช่ 24 ชั่วโมง + บ่ม 0 ชั่วโมง	2.10±0.05 ^j
เวลาแช่ 24 ชั่วโมง + บ่ม 6 ชั่วโมง	3.18±0.13 ^h
เวลาแช่ 24 ชั่วโมง + บ่ม 12 ชั่วโมง	1.94±0.05 ^k
เวลาแช่ 24 ชั่วโมง + บ่ม 18 ชั่วโมง	3.86±0.05 ^g
เวลาแช่ 24 ชั่วโมง + บ่ม 24 ชั่วโมง	2.90±0.09 ⁱ
เวลาแช่ 24 ชั่วโมง + บ่ม 30 ชั่วโมง	3.88±0.09 ^g
เวลาแช่ 24 ชั่วโมง + บ่ม 36 ชั่วโมง	4.79±0.06 ^d
เวลาแช่ 48 ชั่วโมง + บ่ม 0 ชั่วโมง	4.19±0.06 ^f
เวลาแช่ 48 ชั่วโมง + บ่ม 6 ชั่วโมง	5.14±0.07 ^c
เวลาแช่ 48 ชั่วโมง + บ่ม 12 ชั่วโมง	4.44±0.07 ^e
เวลาแช่ 48 ชั่วโมง + บ่ม 18 ชั่วโมง	5.05±0.05 ^c
เวลาแช่ 48 ชั่วโมง + บ่ม 24 ชั่วโมง	6.24±0.19 ^a
เวลาแช่ 48 ชั่วโมง + บ่ม 30 ชั่วโมง	5.88±0.04 ^b
เวลาแช่ 48 ชั่วโมง + บ่ม 36 ชั่วโมง	4.86±0.06 ^d

หมายเหตุ ตัวอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงถึงค่าที่แตกต่างกันที่ $p>0.05$

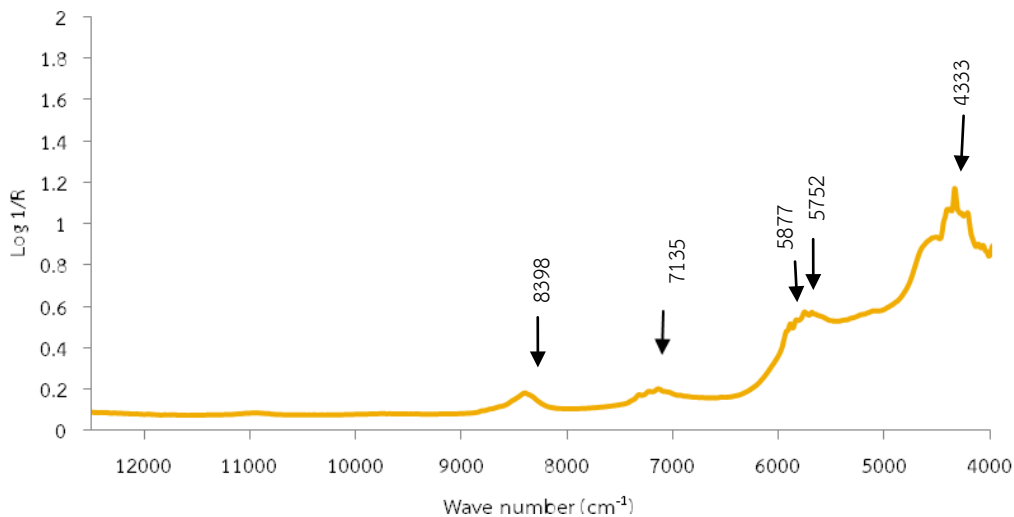


รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในท้องตลาด

4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัม

4.2.1 สเปกตรัมของสารกาบามาตรฐาน

จากการศึกษาการดูดกลืนแสงย่าน NIR ที่ wave number ระหว่าง $12500 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ (800-2500 nm) ด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany) สเปกตรัมของสารกาบามาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 4.2 พบว่า เกิดการดูดกลืนแสงชัดเจนของสารกาบามาตรฐานที่ wave number 8398, 7135, 5877, 5752, และ 4333 cm^{-1} (2308 1739 1699 1402 1191 nm)

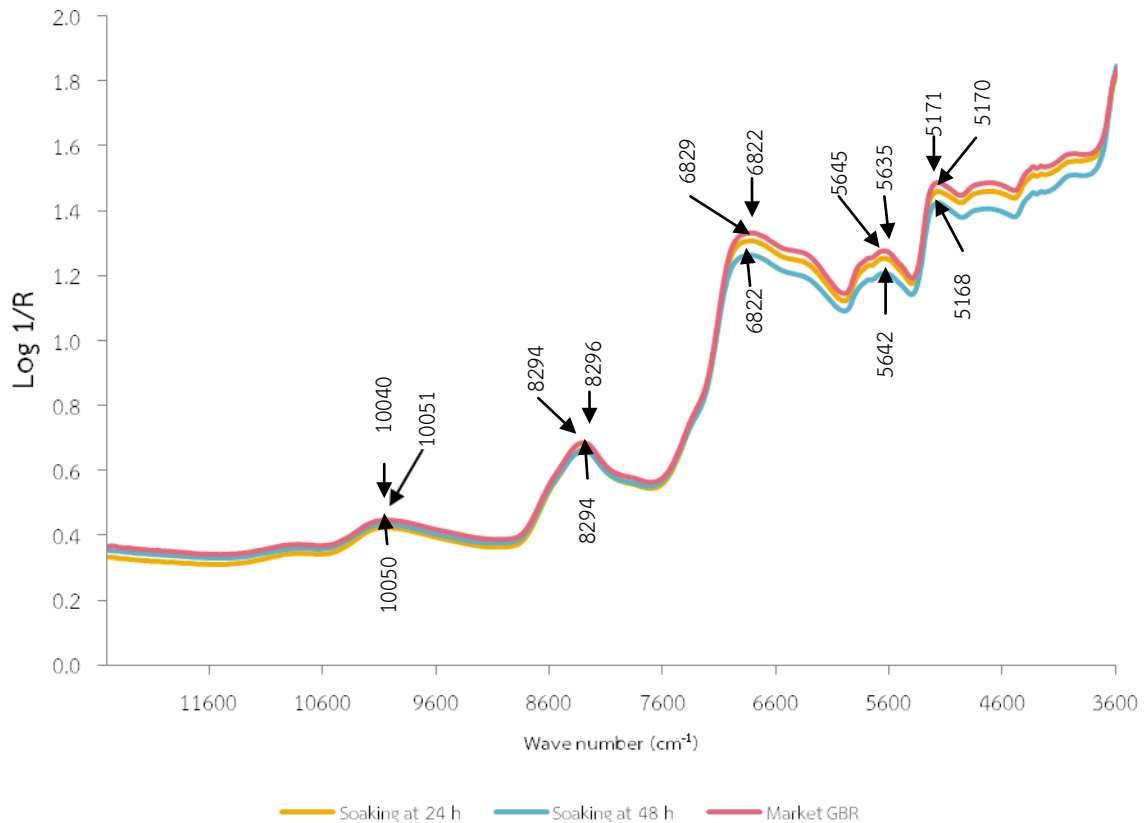


รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของสารกาบามาตรฐาน

4.2.2 สเปกตรัมของข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่ต่างกัน

จากการศึกษาการดูดกลืนแสงย่าน NIR ที่ wave number ระหว่าง $12500 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ (800-2500 nm) ด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany) สเปกตรัมเฉลี่ยของข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่แตกต่างกัน คือ ระยะเวลาการแช่ 24 ,48 ชั่วโมง และข้าวกล้องงอกที่จำหน่ายในท้องตลาด แสดงดังรูปที่ 4.3 พบว่า เกิดการดูดกลืนแสงชัดเจนของข้าวกล้องงอกที่ wave number เดียวกันที่

10040, 8296, 6822, 5635 และ 5171 cm^{-1} (996 1205 14 651774 1933 nm) พิกที่ 990 และ 1202 nm เป็นการดูดซับของ Starch พิกที่ 1450 และ 1940 nm เป็นการดูดซับคลื่นของน้ำ (O-H stretch first overtone และ O-H stretch + O-H deformation ตามลำดับ) และพิกที่ 1773 nm เป็นการดูดซับของ Starch)Osborne and Fearn, 1986(จะเห็นว่าไม่ปรากฏพิกของสารกาบา



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่ต่างกัน

4.3 ผลการทำนายปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกด้วยวิธี Partial Least Square Regression

ค่าทางสถิติของปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกที่ใช้สร้างสมการทำนายโดยใช้วิธี Partial Least Square Regression จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ แสดงดังตารางที่ 4.2 ซึ่งผลการสร้างสมการทำนายค่าความสัมพันธ์ มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.3

4.3.1 ผลการสร้างสมการทำนายปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่และบ่มแตกต่างกัน

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ผลการทำนายปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่และบ่มแตกต่างกันเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้โดยวิธีมาตรฐาน โดยมีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นแบบ Min - max normalization มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) เท่ากับ 93.18, ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (root mean squared error of cross validation; RMSECV) เท่ากับ 0.363, bias เท่ากับ 0.00576, RPD เท่ากับ 3.83

ตารางที่ 4.2 ค่าทางสถิติของปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกที่ใช้สร้างสมการทำนาย

Parameter	Number of Samples	Max	Min	Mean	SD
Germinated brown rice KDML105 of different rough rice soaking and incubating time	68	6.38	1.24	4.07	1.40
Germinated brown rice (KDML105) from the markets	39	10.36	0.60	4.94	3.02
All germinated brown rice (KDML105)	108	10.36	0.60	4.39	2.16
Germinated brown rice of various varieties from the markets	76	10.47	0.60	5.32	2.63

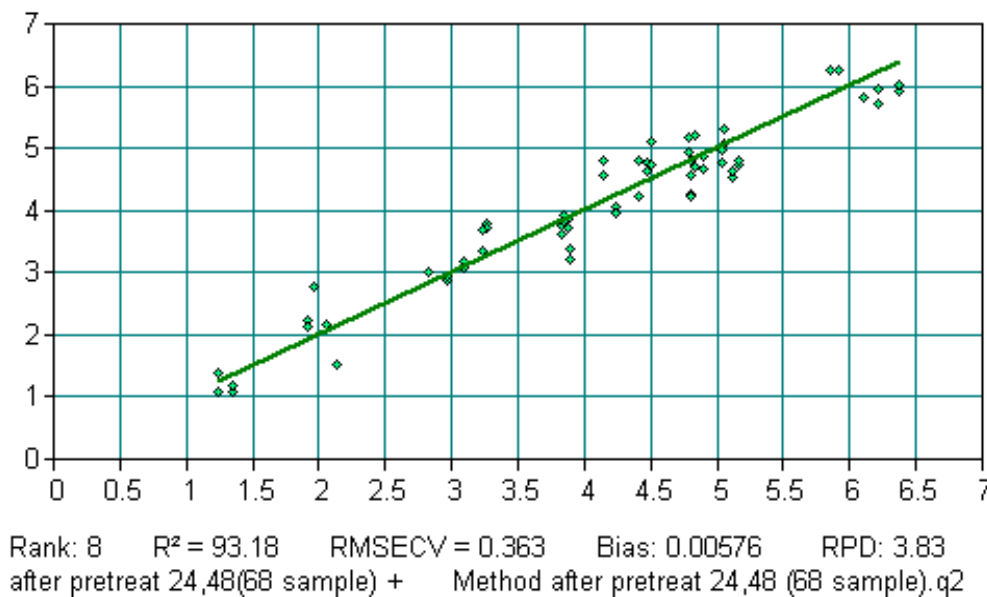
หมายเหตุ : Max = maximum, Min = minimum, SD = standard deviation

ตารางที่ 4.3 ผลการสร้างสมการและการทำนายปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกโดยใช้วิธี Partial Least Square Regression

Parameter	Wave number range	Pre-processing	Rank	R^2	RMSECV	RPD	Bias
Germinated brown rice KDML105 of different rough rice soaking and incubating time	9403.8-7498.3 6102-4597.7	Min - max normalization	8	93.18	0.363	3.83	0.00576
Germinated brown rice (KDML105) from the markets	9403.8 -7498.3 6102 - 4242.9	vector normalization (SNV)	8	91.84	0.841	3.5	0.00163
All germinated brown rice (KDML105)	7752.9 - 6094.3 5454 - 4242.9	no spectral data preprocess	9	66.05	1.25	1.72	-0.0208
Germinated brown rice of various varieties from the markets	7506-6094.3 4852.3-4242.9	vector normalization (SNV)	5	57.94	1.66	1.54	-0.063

หมายเหตุ : R^2 - Coefficient of determination, RMSECV – Root mean squared error of cross validation, RPD - Ratio of standard error of validation to the standard deviation, Bias – Average error of prediction, Rank - PLS factor

Prediction vs True / GABA [mg] / Cross Validation

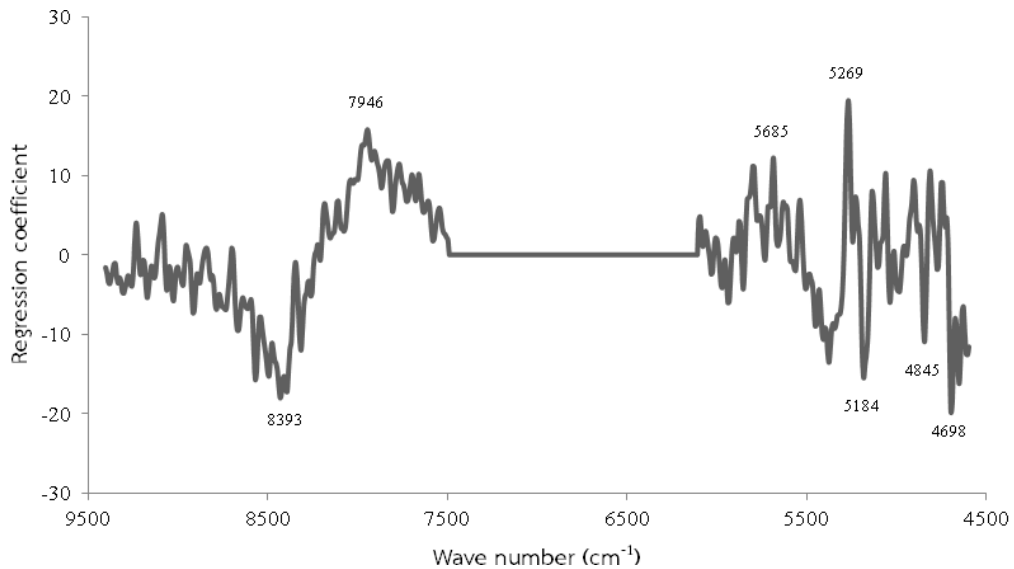


รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่และบ่มแตกต่างกันที่ทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีกับค่าวัดจากวิธีมาตรฐาน

ค่า Regression coefficient ถูกใช้เป็นพื้นฐานแรกในการตรวจผลกระทบของความยาวคลื่นต่างๆ) X-variable(ในการทำนายตัวแปรตาม (Y) และค่าสัมบูรณ์ของ Regression coefficient ที่มีค่าสูงชี้ได้ถึงความสำคัญของอิทธิพลของความยาวคลื่นนั้นต่อโมเดลอย่างมีนัยสำคัญ

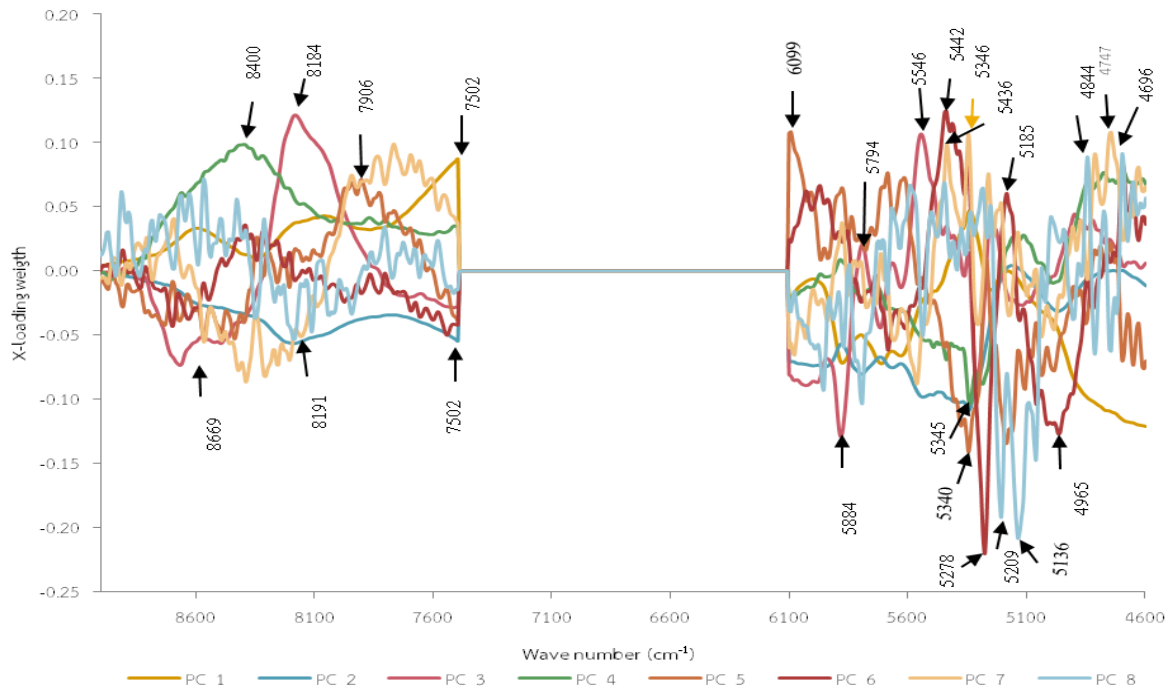
Kayahara and Tsukahara (2000) ชี้ให้เห็นว่าในระหว่างกระบวนการงอกเริ่มขึ้นนั้น มีสารต่างๆเกิดขึ้นมากมาย คาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนแปลงเป็น oligosaccharide และน้ำตาลรีดิวง ซึ่ง การย่อยของโปรตีนในเมล็ดเป็นกรดอะมิโน เปปไทด์ และรวมถึงการสะสมของสารต่างๆ เช่น γ -oryzanol, tocopherol, tocotrienol และ γ -aminobutyric acid) GABA)

จากรูปที่ 4.5 Regression coefficient plot ของปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่และบ่มแตกต่างกัน พบพิกซึ่งมีความสำคัญต่อสมการที่ wave number เท่ากับ 8398, 7946, 5685, 5269, 5184, 4845 and 4698 cm^{-1} (1191, 1258, 1759, 1898, 1929, 2064, 2129 nm) พิกที่ 1195 nm เป็นการดูดซับคลื่นของ CH_3 ซึ่งอยู่ในโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรต (C-H stretch second overtone) และพิกที่ 2129 nm เป็นการดูดซับคลื่นของ amino acid (N-H stretch+C=O stretch) (Osborne and Fearn, 1986(การดูดซับคลื่นของ amino acid นี้อาจมีความเกี่ยวข้องกับสารกาบาซึ่งมี amino acid อยู่ในโครงสร้าง



รูปที่ 4.5 Regression coefficient plot ของสมการปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่และบ่มแตกต่างกัน

สำหรับค่า X-loading weight plot นั้นถ้าความยาวคลื่นที่มีค่า X-loading weight มากแสดงว่ามีความสำคัญต่อการทำนายตัวแปรตาม รูปที่ 4.6 แสดงค่า X-loading weight ของสมการปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่และบ่มแตกต่างกันซึ่งมี 8 factor (rank) สำหรับการทำนายผล สำหรับ factor 1 พบพิกซึ่งมีความสำคัญต่อสมการสำหรับที่ wave number เท่ากับ 8064 7502 5340 cm^{-1} (1240 1333 1873 nm) factor 2 ที่ wave number เท่ากับ 8191 7502 5345 5166 cm^{-1} (1221 1333 1871 1936 nm) factor 3 ที่ wave number เท่ากับ 8669 8184 5884 5794 5546 5252 4898 cm^{-1} (1153 1222 1700 1726 1803 1904 2041 nm) factor 4 ที่ wave number เท่ากับ 8400 5886 5340 cm^{-1} (1190 1699 1873 nm) factor 5 ที่ wave number เท่ากับ 7906 6099 5345 5273 5188 cm^{-1} (1265 1640 1871 1896 1928 nm) factor 6 ที่ wave number เท่ากับ 7545 5442 5278 5185 4965 4696 cm^{-1} (1325 1838 1895 1929 2014 2130 nm) factor 7 ที่ wave number เท่ากับ 8697 7837 7769 5564 5436 5346 4747 cm^{-1} (1150 1276 1287 1797 1839 1871 2107 nm) factor 8 ที่ wave number เท่ากับ 5796 5592 5447 5209 5136 4844 4696 cm^{-1} (1725 1788 1836 1920 1947 2064 2130 nm) จาก Osborne and Fearn (1986) (พิกที่ 1940 nm เป็นการดูดซับคลื่นของน้ำ (O-H stretch + O-H deformation) พิกที่ 1152 เป็นการดูดซับของ CH_3 (C-H stretch second overtone) พิกที่ 1725 เป็นการดูดซับของ CH_2 (C-H stretch first overtone) พิกที่ 2110 เป็นการดูดซับของ protein) N-H stretch first overtone) และพิก 2 132 เป็นการดูดซับคลื่นของ amino acid (N-H stretch + C=O stretch) การดูดซับคลื่นของ amino acid นี้อาจมีความเกี่ยวข้องกับสารกาบาซึ่งมี amino acid อยู่ในโครงสร้าง

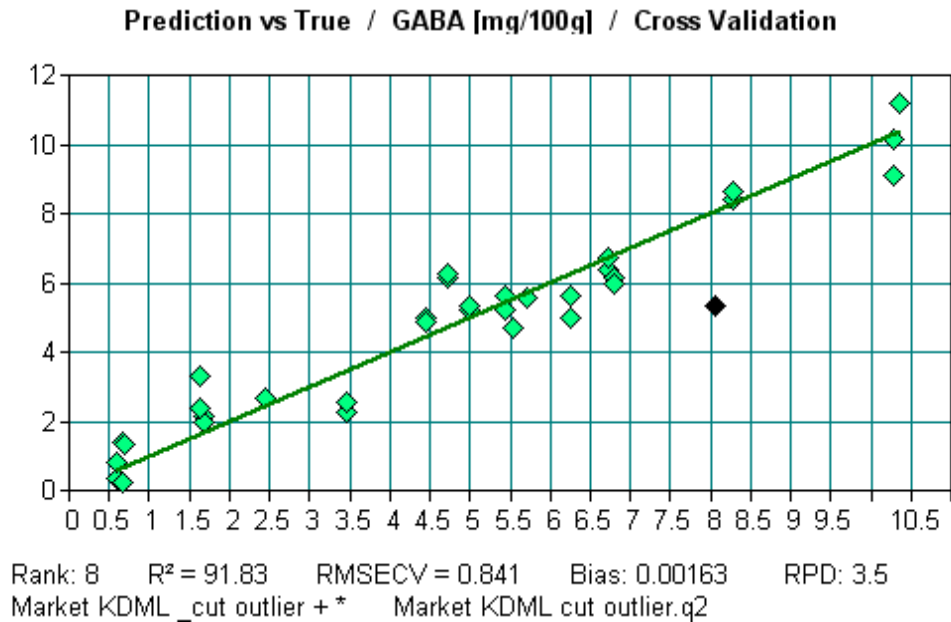


รูปที่ 4.6 ค่า X-loading weight ของสมการปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีระยะเวลาการแช่และบ่มแตกต่างกัน

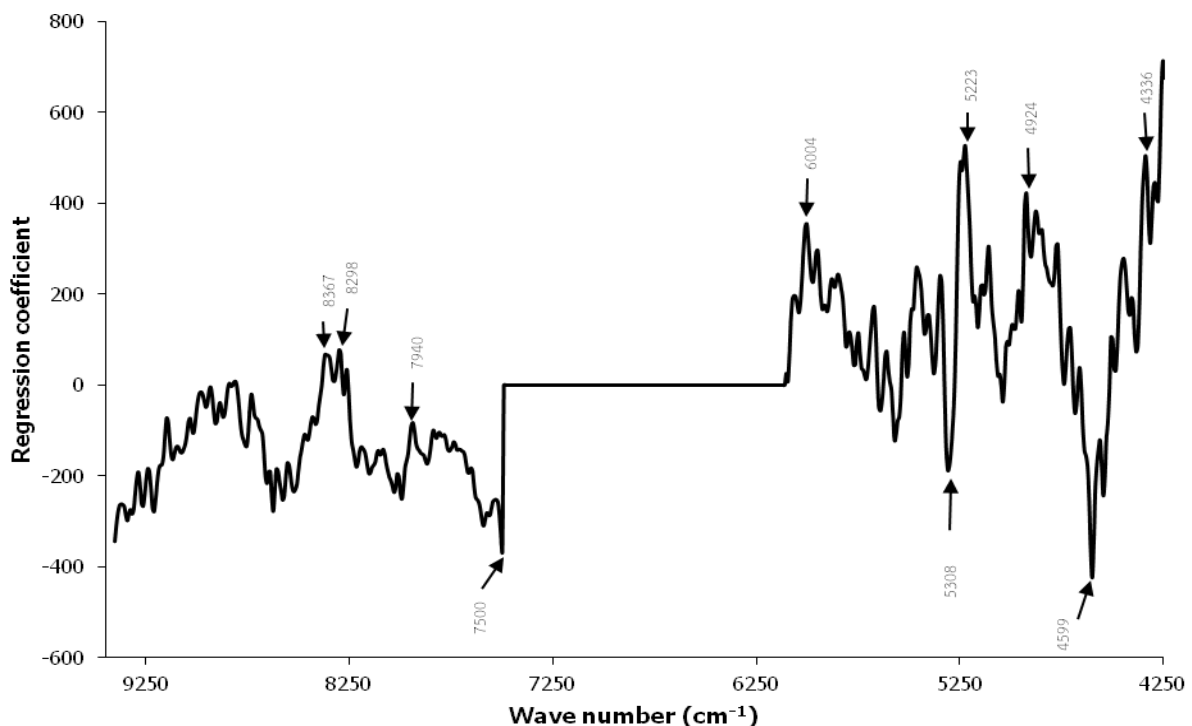
4.3.2 ผลการสร้างสมการทำนายปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.7 ผลการทำนายปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้โดยวิธีมาตรฐาน โดยมีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นแบบ vector normalization (SNV) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) เท่ากับ 91.84, ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (root mean squared error of cross validation; RMSECV) เท่ากับ 0.841, bias เท่ากับ 0.00163, RPD เท่ากับ 3.50

จากรูปที่ 4.8 Regression coefficient plot ของปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบพีคซึ่งมีความสำคัญต่อสมการที่ wave number เท่ากับ 8367, 8298, 7940, 7500, 6004, 5308, 5223, 5038, 4924, 4599, 4336 cm^{-1} (1195, 1205, 1259, 1333, 1666, 1884, 1915, 1985, 2031, 2174, 2306 nm) พีคที่ 1202 nm เป็นการดูดซับของ Starch พีคที่ 1195 nm เป็นการดูดซับคลื่นของ CH_3 ซึ่งอยู่ในโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรต (C-H stretch second overtone) และพีค 132 เป็นการดูดซับคลื่นของ amino acid (N-H stretch + C=O stretch) การดูดซับคลื่นของ amino acid นี้อาจมีความเกี่ยวข้องกับสารกาบา ซึ่งมี amino acid อยู่ในโครงสร้าง (Osborne and Fearn, 1986)



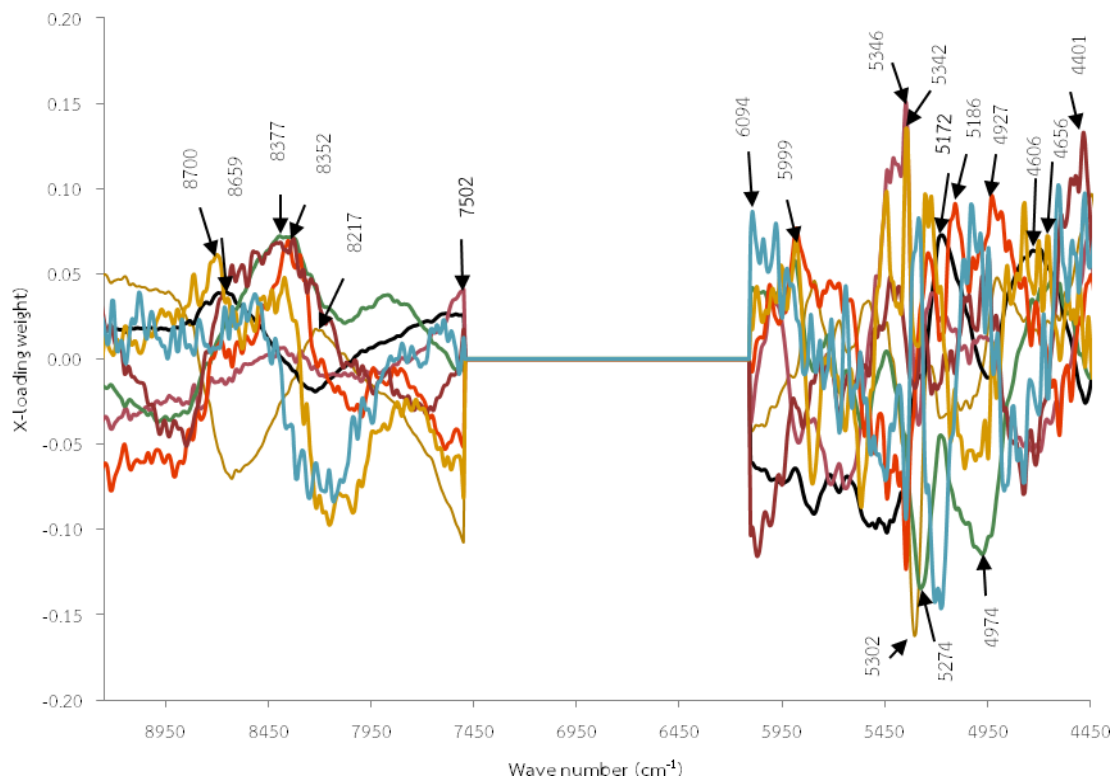
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีกับค่าวัดจากวิธีมาตรฐาน



รูปที่ 4.8 Regression coefficient ของสมการปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

สำหรับค่า X-loading weight plot นั้น ถ้าความยาวคลื่นที่มีค่า X-loading weight มากแสดงว่ามีความสำคัญต่อการทำนายตัวแปรตาม รูปที่ 4.9 แสดงค่า X-loading weight ของสมการปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งมี 8 factor (rank) สำหรับการทำนายผล สำหรับ factor 1 พบพีคซึ่งมีความสำคัญต่อสมการสำหรับที่ wave number เท่ากับ 8626, 8217, 7502, 5302, 4446, cm^{-1} (1159, 1217, 1333, 1886, 2249 nm) factor 2 ที่ wave number เท่ากับ 8659, 8221, 5172, 4694, 4377

cm^{-1} (1155, 1216, 1934, 2130, 2285 nm) factor 3 ที่ wave number เท่ากับ 7502, 5999, 5346, 5219, cm^{-1} (1333, 1667, 1871, 1916 nm) factor 4 ที่ wave number เท่ากับ 8377, 5274, 4974, cm^{-1} (1194, 1896, 2010 nm) factor 5 ที่ wave number เท่ากับ 8352, 5880, 5238, 5106, 4927, 4444 cm^{-1} (1197, 1701, 1909, 1959, 2030, 2250 nm) factor 6 ที่ wave number เท่ากับ 8328, 7500, 5422, 4944, 4481 cm^{-1} (1201, 1333, 1844, 2022, 2231 nm) factor 7 ที่ wave number เท่ากับ 8700, 5881, 5803, 5441, 5342, 5250, 4771, 4656 cm^{-1} (1149, 1700, 1723, 1838, 1872, 1905, 2096, 2148 nm) factor 8 ที่ wave number เท่ากับ 7232, 6013 cm^{-1} (1383, 1663 nm) จาก Osborne and Fearn (1986) (พีคที่ 1215 และ 1725 เป็นการดูดซับของ CH_2 (C-H stretch second overtone และ C-H stretch first overtone) พีคที่ 1152 และ 1195 เป็นการดูดซับของ CH_3 (C-H stretch second overtone) พีค 132 เป็นการดูดซับคลื่นของ amino acid (N-H stretch + C=O stretch) การดูดซับคลื่นของ amino acid นี้ อาจมีความเกี่ยวข้องกับสารกาบาซึ่งมี amino acid อยู่ในโครงสร้าง และพีคที่ 2252 เป็นการดูดซับของ starch) O-H stretch + O-H deformation) (Osborne and Fearn, 1986)



รูปที่ 4.9 ค่า X-loading weight ของสมการปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

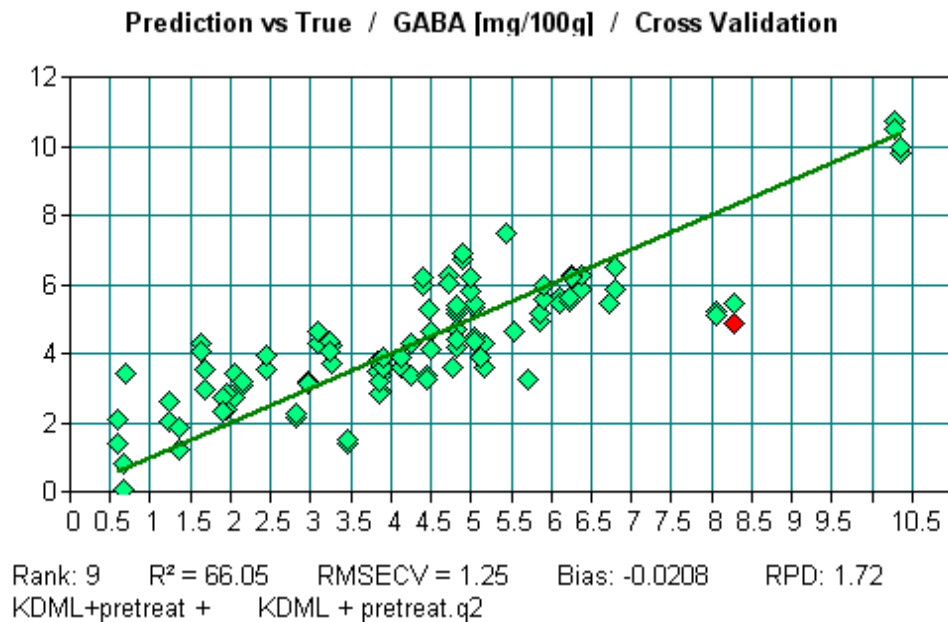
4.3.3 ผลการสร้างสมการทำนายปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ทั้งหมด
(ข้อมูลจากกลุ่มที่มีจำหน่ายในท้องตลาดและกลุ่มที่มีการแช่และบ่มแตกต่างกัน)

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.10 ผลการทำนายปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ทั้งหมดเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้โดยวิธีมาตรฐาน โดยไม่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้น มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) เท่ากับ 66.05, ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (root mean squared error of cross validation; RMSECV) เท่ากับ 1.25, bias เท่ากับ -

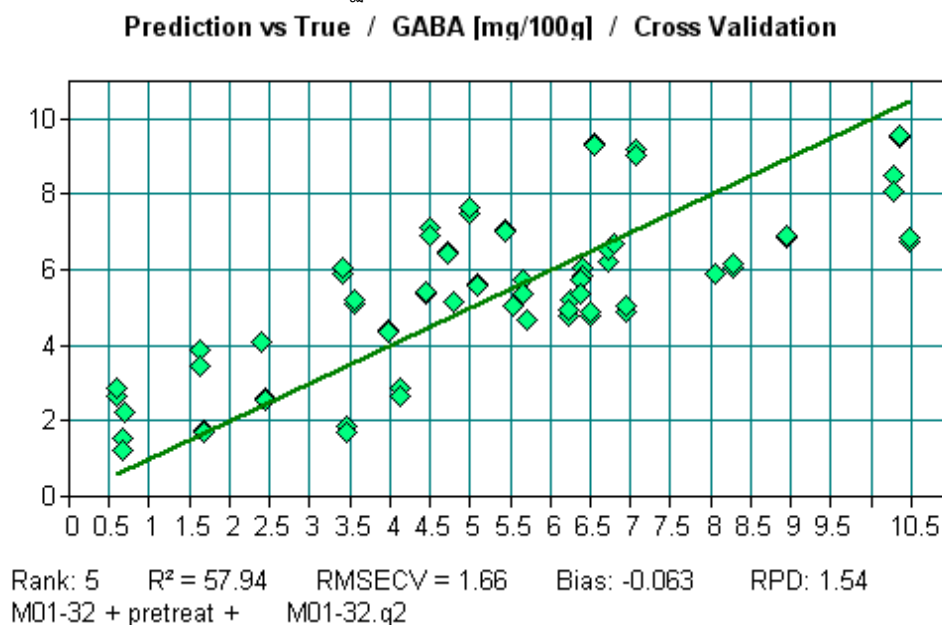
0.0208, RPD เท่ากับ 1.72

4.3.4 ผลการสร้างสมการทำนายปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ต่างๆที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.11 ผลการทำนายปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ต่างๆที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั้งหมดเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้โดยวิธีมาตรฐาน โดยมีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นแบบ vector normalization (SNV) มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) เท่ากับ 57.94, ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (root mean squared error of cross validation; RMSECV) เท่ากับ 1.66, bias เท่ากับ -0.063, RPD เท่ากับ 1.54



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ทั้งหมดทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีกับค่าวัดจากวิธีมาตรฐาน



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องงอกพันธุ์ต่างๆที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทำนายโดยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีกับค่าวัดจากวิธีมาตรฐาน

บทที่ 5

สรุปผล

ผลการวิจัยที่ได้สามารถสรุปได้ว่า

1. เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความเป็นไปได้ในการใช้วิเคราะห์ปริมาณสารแกมมาอะมีโนบิวทีริกแอซิด) สารกาบา (ในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดโดยตรงด้วยวิธีไม่ทำลาย ทำโดยการสแกนข้าวกล้องงอกด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany) ซึ่งมีการวัดแบบ Diffuse Reflectance ที่ช่วงจำนวนคลื่นระหว่าง 9403.8 -7498.3 และ 6102 - 4242.9 cm^{-1} สแกนทุกๆ 8 cm^{-1} สแกนซ้ำ 64 ครั้งต่อ 1 spectrum
2. แบบจำลองในการวิเคราะห์ปริมาณสารแกมมาอะมีโนบิวทีริกแอซิด) สารกาบา) ในข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีที่ได้ ได้จากสเปกตรัมที่ผ่านการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นแบบ vector normalization ใช้ PLS Factor 8 แพคเตอร์ มีสมรรถนะการทำนายดังนี้ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) เท่ากับ 91.84, ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (root mean squared error of cross validation; RMSECV) เท่ากับ 0.841, bias เท่ากับ 0.00163, RPD เท่ากับ 3.50
3. ผลการวิจัยนับเป็นองค์ความรู้ใหม่ซึ่งไม่เคยมีนักวิจัยใดทำมาก่อนในการประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเพื่อการวัดปริมาณสารแกมมาอะมีโนบิวทีริกแอซิด) สารกาบา) ในข้าวกล้องงอก

เอกสารอ้างอิง

- เจษฎา โพธิ์สม. 2556. การพัฒนาเทคนิคการวัดสมบัติเชิงความร้อน ความชื้น ปริมาณน้ำมันและค่าความร้อนของซีวามวลโดยวิธีไม่ทำลายด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี: กรณีศึกษา เนื้อในเมล็ดสบู่ดำ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์. 2545. “หลักการพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโทรสโกปี” การอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. หน้า 42 – 48
- ปานมนัส ศิริสมบุญญ์ เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับผลผลิตเกษตรและอาหาร-ตอนที่1- [online] Available : http://www.foodnetworksolution.com/news_and_articles/article/0298/เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับผลผลิตเกษตรและอาหาร-ตอนที่1-
- วารุณี ธนะแพสย์. “สถานการณ์และการใช้ประโยชน์ด้วยเทคนิค NIR ในประเทศไทย : แนวโน้มงานวิจัยในด้านเทคนิค NIR ในความต้องการของอุตสาหกรรมและมาตรฐานคุณภาพของสินค้า” โครงการสัมมนาวิชาการ การควบคุมมาตรฐานคุณภาพของสินค้าทางการเกษตร และอุตสาหกรรมโดยวิธีไม่ทำลาย เพื่อการแข่งขันบนเวทีการค้าโลก. 2550. หน้า 21-31
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร .2555a. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2555. [online] Available : http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร (2555b) สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2555. [online] Available : <http://www.oae.go.th/download/journal/trends2555.pdf>
- Akama, S., Kanetue, J., Shimasaki, S., Kawakami, K., Tsuchikura, S. and Takaiwa, F. “Seed-Specific Expression of Truncated OsGAD2 Produces GABA-Enriched Rice Grains that Influence A Decrease in Blood Pressure in Spontaneously Hypertensive Rats.” **Transgenic Res**, Vol. 18, 2009. Pp. 865-876.
- Bao, J. S., Cai, Y. Z. and Corke, H. “Prediction of Rice Starch Quality Parameters by Near-Infrared Reflectance Spectroscopy.” **Journal of Food Science**, Vol. 66, 2001. Pp. 936-939.
- Bao, J. S., Shen, Y. and Jin, L. “Determination of Thermal and retrogradation Properties of Rice Starch Using Near-Infrared Spectroscopy.” **Journal of Cereal Science**, Vol. 46, 2007. Pp. 75-81.
- Bio Nutri Food. 2009. Germinated Brown Rice.[online] Available : <http://www.bionutrifood.com/en/germinated-brown-rice.html>
- Cicero, AFG. and Gaddi, A. “Rice Bran Oil and γ -Oryzanal in the Treatment of Hyperlipoproteinemia and Other Conditions.” **Phytother Res**, vol. 15, 2001. Pp. 277-289.

- Finney, P. L. "Potential for The Use of Germinated Wheat and Soybeans to Enhance Human Nutrition." **Advance in Experimental Medicine and Biology**, 105 Nutr. Improv. Food Feed Protein, 1978. Pp. 681-701.
- Fontaine J., Hörr J. , Schirmer B. "Near-Infrared Reflectance Spectroscopy Enables the Fast and Accurate Prediction of the Essential Amino Acid Contents in Soy, Rapeseed Meal, Sunflower Meal, Peas, Fishmeal, Meat Meal Products, and Poultry Meal" **J. Agric. Food Chem.**, 2001, 49 (1), Pp 57–66.
- Jianguo, G., Wu, Shi, C. ang Zhang, X. "Estimating The Amino Acid Composition in Milled Rice by Near-Infrared Reflectance Spectroscopy." **Field Crop Research**, Vol. 75, 2002. Pp. 1-7.
- Karladee, D. and Suriyong, S. " γ -Aminobutyric Acid (GABA) Content in Different Varieties of Brown Rice During Germination." **ScienceAsia**, Vol. 30, February, 2012. Pp. 13-17.
- Kayahara, H. and Tsukahara, K. "Flavor, Health and Nutritional Quality of Pre-Germinated Brown Rice." **International Chemical Congress of Pacific Basin Societies in Hawaii**, December, 2000.
- Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N., and Kimura, T. "Effect of Soaking and Gaseous Treatment GABA Content in Germinated Brown Rice." **Journal of Food Engineering**, Vol.78, 2007. Pp. 556-560.
- Kuo, Y. H., Rozen, P., Lambein, F., Frias, J. and Valverde, C. V. "Effects of Different Germination Conditions on the Contents of Free protein and non-protein Amino Acids of Comercial Legume." **Food Chem**, Vol. 86, 2004. Pp. 537-545.
- Koutroubas, S. D., Mazzini, F. and Ntanos, D. A. "Grain Quality Variation and Relationship with Morphophysiological Traits in Rice (*Oryza Zativa* L.) Genetic Resource in Europe." **Field Crop res**, Vol. 86, 2004. Pp. 115-130.
- Li, W.S. and Shaw, J.T. "Determining The Fat Acidity of Rough Rice in Near-Infrared Reflectance Spectroscopy." **Cereal Chemistry**, Vol. 75(5), 1997. Pp. 556-560.
- Liu, Z., J., Gao, and J. Yu. Aflatoxins in stored maize and rice grains in Liaoning Province, China. *Journal of Stored Products Research* Vol. 42, 2006. Pp. 468–479.
- Lockhart, H. B. and Nesheim, R. O. Nutritional quality of cereal grains. In *Cereals'78: Better Nutrition for the World's Millions*. Y. Pomeranz, Ed. Am. Assoc. Cereal Chemists, St. Paul, MN, 1978.
- Mann, C. "Reseeding The Green Revolution." **Science**, Vol. 277, 1997. Pp. 1038-1043.
- Moongngarn, A. and Saetung, N. "Comparison of Chemical Copositions and Bioactive Compounds of Germinated Rough Rice and Brown Rice." **Food Chemistry**, Vol. 122, March 2010. Pp. 782-788.
- Nagaoka, H. "Treatment of Germinated Wheat to Increase Level of GABA and IP6 Catalyzed by Endogenous Enzyme." **Biotechnal. Prog**, Vol. 21, 2005. Pp. 405-410.
- Oh SH. "Stimulation of Gamma- Aminonutyric Acid Synthesis Activity in Brown Rice by a Chitosan/Glutamic Acid Germination Solution and Calcium/ Calmodulin." **J. Biochem and Mol Biol**, Vol. 36(3), 2003. Pp. 319-325.

- Oh, S. H. and Choi, W. G. "Changes in the Level of Gamma-Aminobutyric Acid and Glutamate Decarboxylase in Developing Soybean Seedling." **J. Plant research**. Vol. 114, 2001. Pp. 309-313.
- Osborne, B.G and Fearn, T. "Near Infrared Spectroscopy in Food Analysis" Longman Scientific & Technical, New York, USA. 1986. 200 p.
- Saikura, T., Horino, T. and Mori, Y. Distribution of free amino acid in rice kernels fractions and the effect on water on distribution. **J. Agri Food Chem.**, Vol. 42, 1994. Pp. 1122-1125.
- Shenk J.S., Workman, jr. J.J., Westerhaus, M.O. Application of NIR spectroscopy to agricultural products. In Handbook of Near-Infrared Analysis edited by D.A. Burns and E.W. Ciurczak. 2nd edition, revised and expanded. Marcel Dekker, Inc., 2001, p.431.
- Shoishi, I. "Marketing of Value-Added Rice Products in Japan: Germinated Brown Rice and Rice Bread." **FAO Rice Conference**, February, 2004. Pp. 1-10.
- Shimamoto, K. "The Molecular Biology of Rice." **Science**, vol. 270, 1995. Pp. 1772-1773.
- Tkachuk, R. "Free Amino Acids in Germinated Wheat." **Journal of Food Agricultural**, Vol.30, 1979. Pp. 53-58.
- Tsukahara, K., "Sprouted Brown rice", DOMER Co., Ltd., 2004.
- Wikipedia (2013). "gamma-Aminobutyric acid". [online]
Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Gamma-Aminobutyric_acid
- Williams, P. "Near-infrared Technology – Getting the best out of light". Edition 5.0. A short course in the practical implementation of near-infrared spectroscopy for the user. PDK Grain, Nanaimo, Canada. 2007.
- Zhang, B., Rong, Z. Q., Shi, Y., Wu, J.G. and Shi, C.H. "Prediction of Amino Acid Composition in Brown Rice Using Different Sample Status by Near-Infrared Reflectance Spectroscopy." **Food Chemistry**, Vol. 127, January 2011. Pp. 275-281.
- Zhang, H., Yao, H.Y. and Chen, F. " Accumulation of Gamma-Aminobutyric Acid in Rice Germ Using Protease." **Biosci, Biotechnol, Biochem**, Vol. 70, 2006. Pp. 1160-1165.
- Zhang, H., Yao, H.Y. and Jiang, Y.R. "Development of the Health Food Enriched with Gamma-Aminobutyric Acid (GABA)." **Food Ferment. Ind.**, Vol. 28, 2002. Pp. 69-72.

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล รองศาสตราจารย์ ดร. ปานมนัส ศิริสมบุญ

หน้าที่การงานปัจจุบัน (อาจารย์/เจ้าหน้าที่ /นักวิจัย /นักศึกษาระดับ...../อื่นๆ)

ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษาสูงสุด

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.บ.	วิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	พ.ศ.2523
M.Eng.	Farm machinery and management	Asian Institute of Technology (Thailand)	พ.ศ. 2527
Ph.D.	Agric. Science	United Graduate School of Kagoshima University (Saga University), Japan.	พ.ศ.2544

สถานที่ติดต่อ หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ 02-3298000 ต่อ 5120, 5008 โทรสาร 02-3298336 E-mail kspanman@kmitl.ac.th

ประสบการณ์วิจัยหรือสาขาที่ชำนาญ

สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของวัสดุเกษตรและอาหาร

สมบัติทางเนื้อสัมผัสของวัสดุเกษตรและอาหาร

การตรวจสอบคุณภาพของวัสดุเกษตรและอาหารโดยใช้ Near Infrared Spectroscopy

เทคโนโลยีการขนถ่ายวัสดุ

๑๖.๑ ผลงาน

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์/สิ่งประดิษฐ์/สิทธิบัตร (โปรดระบุให้ชัดเจน)

๑๖.๑.๑ งานวิจัย (โปรดระบุชื่อโครงการวิจัย คณะผู้ดำเนินการ แหล่งทุน งบประมาณปีที่ได้รับการสนับสนุนและปีที่แล้วเสร็จ)

ชื่อโครงการวิจัย	ปีที่เริ่มโครงการ	ระยะเวลา (ปี)	หัวหน้าโครงการ	ผู้ร่วมวิจัย	งบประมาณ (บาท)	แหล่งทุน
การวิเคราะห์อิสตามีนและความสดของปลาซาร์ดินด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	2557	1	รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์	ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์	729000	งบประมาณประจำปี2557 (วช)
การวิเคราะห์ปริมาณเกลือของปลาซาร์ดินในอุตสาหกรรมผลิตปลาซาร์ดินกระป๋องด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	2556	2	รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์	ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์	924000	ทุนพัฒนานักวิจัยกองทุนวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
การพัฒนาเทคนิคการวัดปริมาณน้ำมันและสมบัติเชิงความร้อนของชีวมวลโดยวิธีไม่ทำลายด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี: กรณีศึกษา เนื้อในเมล็ดสบู่ดำ	2556	1	รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์	นายเจษฎา โพธิสม	270000	โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
การวิเคราะห์สารแกมมาอะมิโนบิวทริกแอซิดหรือสารกาบาในข้าวกล้องงอกด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	2555	1.5	รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์		1,207,000	งบประมาณแผ่นดิน

การวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนในเนื้อแดงโมด้วยเทคนิคที่ไม่ทำลายด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี	2554	1	รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์	-	242,500	งบประมาณแผ่นดิน วช.
การวิเคราะห์ปริมาณเนื้อเยื่อแห้งในน้ำยางสดและน้ำยางข้นโดยการวัดที่ต้นยางพาราโดยตรงด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี	2553	2	รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์	นางวารุณี ธนะแพสย์	744,000	งบประมาณแผ่นดิน วช. และ สกอ.
เครื่องทำแห้งเนื้อมะพร้าวชุดด้วยความดันสุญญากาศร่วมกับคลื่นอินฟราเรดเพื่อการผลิตน้ำข้นมะพร้าวบริสุทธิ์	2553	1	รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์	ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์	59,000	เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล
การวิเคราะห์ปริมาณเนื้อเยื่อแห้งและความหนืดของน้ำยางข้นสำหรับห้องปฏิบัติการในโรงงานด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี	2552	11 เดือน	รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์	-	132,000	สกว.ฝ่ายอุตสาหกรรมในโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา
เครื่องทำแห้งเนื้อมะพร้าวชุดด้วยความดันสุญญากาศเพื่อการผลิตน้ำข้นมะพร้าวบริสุทธิ์	2552	1	รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์	ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์	100,000	เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล
เครื่องทำแห้งเนื้อมะพร้าวชุดด้วยความดันสุญญากาศเพื่อการผลิตน้ำข้นมะพร้าวบริสุทธิ์	2552	1	รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์	ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์	100,000	เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมระบบการละลายและการนึ่งปลาทุ่น้ำ เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพปลาทุ่น้ำ กระป๋อง	2552	1	ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พร เฉลิมพงศ์	รศ.ดร.ปานมนัส ศิริ สมบูรณ์ ดร.กิตติศักดิ์ วิทิตนันทกิตต์	1,788,400	สกว. ฝ่ายอุตสาหกรรม
การประเมินดัชนีคุณภาพภายในและ ภายนอกของส้มโอเพื่อการส่งออกที่ ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆกันด้วยวิธีไม่ ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปก โตรสโคปี	2551	1	รศ.ดร.ปานมนัส ศิริ สมบูรณ์	ดร. สุมาพร เกษมสำราญ	200,000	ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี
การออกแบบและพัฒนาเครื่องทำไอศกรีม โดยใช้ระบบทำความเย็นเบื้องต้นที่ความ ดันสุญญากาศ	2550	1	รศ.ดร.ปานมนัส ศิริ สมบูรณ์	ผศ.ดร. ภัทวิภา เจียรระไน วชิระ	67,060	เงินรายได้คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สจล.
การออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตเนยแข็ง ขนาดเล็ก	2550	1	รศ.ดร.ปานมนัส ศิริ สมบูรณ์	ผศ. วีระชัย ลิ้มพรชัยเจริญ	152,500	เงินรายได้คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สจล.

๑๖.๑.๒ ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ (จำแนกระดับชาติและระดับนานาชาติหรือเทียบเท่า)

1. **Panmanas Sirisomboon**: Estimation of higher heating value of biomass in tropical regions, J. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. 22 (2): 81-84 (1991)
2. Pisanu Sirivanichwong, Rachan Pullkit, **Panmanas Sirisomboon** and Pichit Kittinont: A design of orange juice extractor, Ladkrabang Engineering J. 13 (1):143-147 (1996) (in Thai)
3. **Panmanas Sirisomboon**, Munehiro Tanaka, Takayoshi Akinaga and Takayuki Kojima: Evaluation of the texture properties of Japanese pear, J. Texture Studies 31: 665-677 (2000) (be cited by Thompson A.K.: Fruit ripening conditions. In Fruit and vegetables-harvesting, handling and storage. 2nd editions. Blackwell Publishing. UK p. 88 (2003))
4. **Panmanas Sirisomboon**, Munehiro Tanaka, Shuji Fujita and Takayuki Kojima: Relationship between the texture and pectin constituents of Japanese pear, J. Texture Studies 31: 679-690. (2000)
5. **Panmanas Sirisomboon**, Munehiro Tanaka, Shuji Fujita, Takayoshi Akinaga and Takayuki Kojima: A simplified method for the determination of total oxalate soluble pectin content in Japanese pear, J. Food Composition and Analysis 14: 83-91 (2001)
6. **Panmanas Sirisomboon**, Supasomboon Ungratanakorn, Danai Panchapitayakul: Agricultural Mechanization in Mango Orchard, King Mongkut's Agricultural Journal 23(3): 28-40 (2005) (in Thai)
7. **Panmanas Sirisomboon**, Munehiro Tanaka, Shuji Fujita, Takayuki Kojima: Evaluation of pectin constituents of Japanese pear by near infrared spectroscopy, J. Food Engineering 78(2): 701-707 (2007)
8. **Panmanas Sirisomboon**, Pimpen Pornchaloempong and Teeranud Romphopk: Physical properties of green soybean: Criteria for sorting, J. Food Engineering 79: 18-22 (2007)
9. **P. Sirisomboon**, P. Kitchaiya, T. Pholpho and W. Mahuttanyavanitch: Physical and mechanical properties of *Jatropha curcas* L. fruits, nuts and kernels, Biosystems Engineering, 97: 201-207 (2007).
10. **Sirisomboon, P.**, Boonmung, S., Pornchaloempong P., and Pithuncharurnlap, M. A Preliminary Study on Classification of Mango Maturity by Compression Test. International Journal of Food Properties, 11: 206-212 (2008)
11. **P. Sirisomboon**, P. Kitchaiya, Physical properties of *Jatropha curcas* L. kernels after heat treatments. Biosystems Engineering, 102 (2), 244-250 (2009)

12. **Panmanas Sirisomboon**, Yuki Hashimoto, Munehiro Tanaka. Study on non-destructive evaluation methods for defect pods for green soybean processing by near-infrared spectroscopy. Journal of Food Engineering, 93 (4), 502-512 (2009)
13. **P. Sirisomboon**, P. Pornchaloempong. Instrumental textural properties of mango (cv Nam Doc mai) at commercial harvesting time. International Journal of Food Properties, 14, 441-449 (2011).
14. T. Pholpho, S. Pathaveerat, **P. Sirisomboon**, Classification of longan fruit bruising using visible spectroscopy. Journal of Food Engineering, 104 (1), 169-172 (2011).
15. Areerat Imsil, Ronnarit Rittiron, **Panmanas Sirisomboon** and Varipat Areekul, Classification of Hom Mali rice with different degrees of milling based on physicochemical measurements by principal component analysis. Kasetsart Journal: Natural Science, 45(5), 863-873 (2011).
16. **Panmanas Sirisomboon**, Rawiphan Chawbankrang and Apidul Keawkuptong, Evaluation of viscosity and dry rubber content of field and concentrated latex for factory laboratory by near infrared spectroscopy. Research on NR, 6, 297-308 (2011).
17. P. Sirisomboon and C. Theamprateep, Physicochemical and Textural Properties of Pomelo (Citrus maxima Merr. cv. Kao Num Peung) at Preharvest, Postharvest and During the Commercial Harvest Period. The Philippine Agricultural Scientist, 95 (1), 43-52 (2012).
18. **P. Sirisomboon**, R. Lapchareonsuk, Evaluation of the physicochemical and texture properties of pomelo fruit following storage. Fruits, 67 (6), 399-414 (2012).
19. **Panmanas Sirisomboon**, Rawiphan Chowbankrang, Phil Williams, Evaluation of apparent viscosity of Para rubber latex by diffuse reflection near infrared spectroscopy. Applied Spectroscopy, 66(5), 595-599 (2012).
20. **Panmanas Sirisomboon**, Munehiro Tanaka, Takayuki Kojima, Evaluation of tomato textural mechanical properties. Journal of Food Engineering, 111(4), 618-624, 2012.
21. Pornchaloempong, P., **Sirisomboon, P.**, Nunak, N. Mass-volume-area properties of frozen Skipjack tuna. International Journal of Food Properties, 15(3), 605-612, 2012.
22. **Panmanas Sirisomboon**, Munehiro Tanaka, Takayuki Kojima, Phil Williams, Nondestructive Estimation of Maturity and Textural Properties on Tomato 'Momotaro' by Near Infrared Spectroscopy. Journal of Food Engineering, 112(3), 218-226, 2012.
23. Panmanas **Sirisomboon**, Jetsada Posom, Thermal properties of Jatropha curcas L. kernels. Biosystems Engineering, 113(4), 402-409, 2012.
24. Tetsuya Inagaki, Panmanas Sirisomboon, Chang Liu, Warunee Thanapase, and Satoru Tsuchikawa, High accuracy in-line prediction and feasibility of on-site nondestructive

estimation of Para rubber quality by spectroscopic methods. Journal of Wood Science, 59(2), 119-126, 2013.

25. C. Dachoupan, **Sirisomboon**, R. Putthang, P. **Sirisomboon**, Application of near infrared spectroscopy to detect aflatoxigenic fungal contamination in rice. Food Control, 33(1), 207-214, 2013.

26. P. Sirisomboon, A. Kaewkuptong and P. Williams, Feasibility study on the evaluation of the dry rubber content of field and concentrated latex of Para rubber by diffuse reflectance near infrared spectroscopy. J. Near Infrared Spectrosc. 21, 81–88 (2013)

๑๖.๑.๓ ผลงานที่ได้รับการอ้างอิงในวงวิชาการ (จำแนกระดับชาติและระดับนานาชาติหรือเทียบเท่า)

Title: Nondestructive estimation of maturity and textural properties on tomato 'Momotaro' by near infrared spectroscopy

Author(s): Sirisomboon, Panmanas; Tanaka, Munehiro; Kojima, Takayuki; et al.

Source: JOURNAL OF FOOD ENGINEERING Volume: 112 Issue: 3 Pages: 218-226

DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.04.007 Published: OCT 2012

Times Cited: 3 (from Web of Science)

Title: Evaluation of tomato textural mechanical properties

Author(s): Sirisomboon, Panmanas; Tanaka, Munehiro; Kojima, Takayuki

Source: JOURNAL OF FOOD ENGINEERING Volume: 111 Issue: 4 Pages: 618-624

DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.03.007 Published: AUG 2012

Times Cited: 1 (from Web of Science)

Title: Evaluation of Apparent Viscosity of Para Rubber Latex by Diffuse Reflection Near-Infrared Spectroscopy

Author(s): Sirisomboon, Panmanas; Chowbankrang, Rawiphan; Williams, Phil

Source: APPLIED SPECTROSCOPY Volume: 66 Issue: 5 Pages: 595-599 DOI:

10.1366/11-06507 Published: MAY 2012

Times Cited: 2 (from Web of Science)

Title: Physicochemical and Textural Properties of Pomelo (Citrus maxima Merr. cv. Kao Nam Pueng) Fruit at Preharvest, Postharvest and During the Commercial Harvest Period

Author(s): Sirisomboon, Panmanas; Theamprateep, Charoonpong

Source: PHILIPPINE AGRICULTURAL SCIENTIST Volume: 95 Issue: 1 Pages: 43-52

Published: MAR 2012

Times Cited: 1 (from Web of Science)

Title: Classification of longan fruit bruising using visible spectroscopy

Author(s): Pholpho, T.; Pathaveerat, S.; Sirisomboon, P.

Source: JOURNAL OF FOOD ENGINEERING Volume: 104 Issue: 1 Pages: 169-172

DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2010.12.011 Published: MAY 2011

Times Cited: 4 (from Web of Science)

Title: Instrumental Textural Properties of Mango (cv Nam Doc Mai) at Commercial Harvesting Time

Author(s): Sirisomboon, P.; Pornchaloempong, P.

Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF FOOD PROPERTIES Volume: 14 Issue: 2

Pages: 441-449 Article Number: PII 925929434 DOI: 10.1080/10942910903226058

Published: 2011

Times Cited: 5 (from Web of Science)

Title: Study on non-destructive evaluation methods for defect pods for green soybean processing by near-infrared spectroscopy

Author(s): Sirisomboon, Panmanas; Hashimoto, Yuki; Tanaka, Munehiro

Source: JOURNAL OF FOOD ENGINEERING Volume: 93 Issue: 4 Pages: 502-512

DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2009.02.019 Published: AUG 2009

Times Cited: 8 (from Web of Science)

Title: Physical properties of Jatropha curcas L. kernels after heat treatments

Author(s): Sirisomboon, P.; Kitchaiya, P.

Source: BIOSYSTEMS ENGINEERING Volume: 102 Issue: 2 Pages: 244-250 DOI:

10.1016/j.biosystemseng.2008.11.003 Published: FEB 2009

Times Cited: 13 (from Web of Science)

Title: A preliminary study on classification of mango maturity by compression test

Author(s): Sirisomboon, Panmanas; Boonmung, Suwanee; Pornchaloempong, Pimpen; et al.

Source: INTERNATIONAL JOURNAL OF FOOD PROPERTIES Volume: 11 Issue: 1

Pages: 206-212 DOI: 10.1080/10942910701435430 Published: JAN-MAR 2008

Times Cited: 2 (from Web of Science)

Title: Physical and mechanical properties of Jatropha curcas L. fruits, nuts and kernels

Author(s): Sirisomboon, P.; Kitchaiya, P.; Pholpho, T.; et al.

Source: BIOSYSTEMS ENGINEERING Volume: 97 Issue: 2 Pages: 201-207 DOI:

10.1016/j.biosystemseng.2007.02.011 Published: JUN 2007

Times Cited: 53 (from Web of Science)

Title: Physical properties of green soybean: Criteria for sorting

Author(s): Sirisomboon, Panmanas; Pornchaloempong, Pimpen; Romphophak, Teeranud

Source: JOURNAL OF FOOD ENGINEERING Volume: 79 Issue: 1 Pages: 18-22 DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2006.01.022 Published: MAR 2007
Times Cited: 16 (from Web of Science)

Title: Evaluation of pectin constituents of Japanese pear by near infrared spectroscopy

Author(s): Sirisomboon, Panmanas; Tanaka, Munehiro; Fujita, Shuji; et al.

Source: JOURNAL OF FOOD ENGINEERING Volume: 78 Issue: 2 Pages: 701-707

DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.11.009 Published: JAN 2007

Times Cited: 13 (from Web of Science)

Title: A simplified method for the determination of total oxalate-soluble pectin content in Japanese pear

Author(s): Sirisomboon, P; Tanaka, M; Fujita, S; et al.

Source: JOURNAL OF FOOD COMPOSITION AND ANALYSIS Volume: 14 Issue: 1

Pages: 83-91 DOI: 10.1006/jfca.2000.0966 Published: FEB 2001

Times Cited: 4 (from Web of Science)

๑๖.๑.๔ ผลงานที่เป็นประโยชน์ต่อภาคประชาสังคม ภาครัฐ ภาคการผลิตและบริการ/ผลงานที่ถูกนำไปใช้ ในภาคประชาสังคม ภาครัฐ ภาคการผลิตและบริการ ทั้งระดับชาติและนานาชาติ หรือเทียบเท่า

เครื่องผลิตเนยแข็งขนาดเล็กที่ประดิษฐ์ขึ้นในการวิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตเนยแข็งขนาดเล็ก ได้ถูกนำไปใช้ที่ห้องปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สจล.

๑๖.๑.๕ การจดสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/รางวัล (ถ้ามี)

กำลังดำเนินการเพื่อขอจดสิทธิบัตร เรื่อง วิธีการสำหรับคัดแยกข้าวเปลือกของพันธุ์ข้าวที่ปลอมปน (ข้าวชัยนาท1, ข้าวสุพรรณบุรี1, ข้าวปทุมธานี1) ออกจากพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ105 (ข้าวหอมมะลิ) ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

๑๖.๑.๖ งานวิทยานิพนธ์ของนิสิตในความดูแลของศูนย์ฯ (โปรดระบุชื่อหัวข้อวิทยานิพนธ์ ชื่อนิสิต และอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก, ที่ปรึกษาร่วม, ปีที่เริ่มและปีที่สำเร็จ ทั้งที่อยู่ระหว่างดำเนินการ และที่แล้วเสร็จ โดยจำแนกกระดานการศึกษา)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ชื่อนักศึกษา	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ปีที่เริ่มและปีที่สำเร็จ	ระดับการศึกษา
การประเมินคุณภาพทางการรับประทานของข้าวอุตสาหกรรมด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	นาย วัชรวิทย์ ลากเจริญสุข	รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์		2555- กำลัง ดำเนิน อยู่	ปริญญาเอก

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ชื่อ นักศึกษา	อาจารย์ที่ ปรึกษาหลัก	อาจารย์ที่ ปรึกษา ร่วม	ปีที่เริ่ม และปีที่ สำเร็จ	ระดับ การศึกษา
การวิเคราะห์สารแกมมาอะมิโน บิวทริกแอซิดหรือสารกาบาและ องค์ประกอบทางคุณภาพอื่นในข้าว กล้องงอกด้วยเทคนิคเนียร์ อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี	นางสาว กรรณพต แก้วสอน	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์		2555- กำลัง ดำเนิน อยู่	ปริญญา เอก
การประเมินความสุกแก่ของทุเรียน พันธุ์หมอนทองเพื่อการส่งออกและ การประเมินคุณภาพการ รับประทานของเนื้อทุเรียนพันธุ์ หมอนทองเพื่อการขายใน ห้างสรรพสินค้าโดยใช้เทคนิคเนียร์ อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี	นาย พลนน อ่อนใสว	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์		2555- กำลัง ดำเนิน อยู่	ปริญญา เอก
การประเมินสมบัติเชิงความร้อน และปริมาณน้ำมันในเนื้อในเมล็ดสับ ดำด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดส เปกโตรสโกปี	นาย เจษฎา โพธิสม	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์		2554- 2556	ปริญญาโท
การประเมินเนื้อสัมผัสของข้าว อุตสาหกรรมด้วยเทคนิคเนียร์ อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี	นาย อนุรักษ์ สอนสงวน	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์		2554- กำลัง ดำเนิน อยู่	ปริญญาโท
การประเมินความชื้นและสีของข้าว อุตสาหกรรมด้วยเทคนิคเนียร์ อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี	นาย สมชาย กลัดสุข	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์		2554- กำลัง ดำเนิน อยู่	ปริญญาโท
การจำแนกระดับคุณภาพข้าว อุตสาหกรรมด้วยเทคนิคเนียร์ อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี	นางสาว ทรรศิตา กล้าการขาย	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์		2554- กำลัง ดำเนิน อยู่	ปริญญาโท
การตรวจสอบปริมาณฮิสตามีน และความสดของปลาซาร์ดีนด้วย เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรส	นางสาว กิ่ง ดาว ชนะ โชติ	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์		2555- กำลัง ดำเนิน	ปริญญาโท (4+1)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ชื่อ นักศึกษา	อาจารย์ที่ ปรึกษาหลัก	อาจารย์ที่ ปรึกษา ร่วม	ปีที่เริ่ม และปีที่ สำเร็จ	ระดับ การศึกษา
โกปี				อยู่	
การปรับปรุงแบบจำลองเนียร์ อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเพื่อ วิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนและ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (ความ หวาน) ของแตงโม (พันธุ์กินรี) ที่ตัด แต่งแล้ว ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ	นาย ศิวดล รัตนโอภา	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์		2555- กำลัง ดำเนิน อยู่	ปริญญาโท
การวิเคราะห์ค่าโปรตีนเชื่อมโยงไฮดรอก ไซด์ของน้ำยางสำหรับ ห้องปฏิบัติการในโรงงานด้วยวิธี ไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์ อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	นาย อภิชาติ สมผิว	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์		2555- กำลัง ดำเนิน อยู่	ปริญญาโท
การตรวจสอบปริมาณเกลือของปลา ชาร์ดินกระป๋องด้วยเทคนิคเนียร์ อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	นางสาว สกว พงษ์ ขวัญ และ นางสาว สโร ชา ศรีกรการ	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์		2556- กำลัง ดำเนิน อยู่	ปริญญาโท (4+1)
การศึกษาองค์ประกอบของน้ำผึ้งที่ ได้มาตรฐานโดยใช้เทคนิคเนียร์ อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	นาย ศุภกิจ หาวิมานพร	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์	รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา	2548- 2552	ปริญญาโท
การตรวจสอบความบริสุทธิ์ของส้ม โอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งโดยวิธีแบบไม่ ทำลาย ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy	นาย จรูญ พงศ์ เทียม ประทีป	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์	นางวารุณี ธนะแพสย์	2550- 2552	ปริญญาโท
การประเมินสมบัติภายในและ ภายนอกของส้มโอเพื่อการส่งออกที่ ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆกันด้วยวิธี ไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์ อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	นาย รวิภัทร ลากเจริญสุข	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์	ดร.ศุมาพร เกษม สำราญ	2550- 2552	ปริญญาโท
การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมัน หอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ ขาวน้ำผึ้งที่อายุการเก็บเกี่ยวและ	นางสาว จิต ตรา ตัวช้าง	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ		2550- 2552	ปริญญาโท

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ชื่อ นักศึกษา	อาจารย์ที่ ปรึกษาหลัก	อาจารย์ที่ ปรึกษา ร่วม	ปีที่เริ่ม และปีที่ สำเร็จ	ระดับ การศึกษา
อายุการเก็บรักษาต่างๆ โดยใช้ เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรส โคปี		สมบูรณ์			
การวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำ ยางสดและน้ำยางข้นสำหรับ ห้องปฏิบัติการในโรงงานด้วยวิธี ไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์ อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี	นางสาว รวิ พันธ์ ชาวบ้าน กว้าง	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์		2551- 2553	ปริญญาโท
การออกแบบและทดสอบการลด อุณหภูมิเบื้องต้นด้วยน้ำเย็นสำหรับ ข้าวโพดหวานและแบบจำลองการ ทำนายอุณหภูมิของข้าวโพดหวาน ขณะลดอุณหภูมิ	น.ส. พัชรี คล้ายมณี	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์	ผศ.ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิม พงศ์	2551- 2553	ปริญญาโท
แบบจำลองสำหรับการทำแห้งเนื้อ มะพร้าวชุดเพื่อผลิตน้ำมันมะพร้าว บริสุทธิ์ด้วยถังทำแห้งสุญญากาศ ร่วมกับฮีทเตอร์แบบอินฟราเรด แบบมีใบการกวน	นาย มงคล สกุลทอง อร่าม	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์		2552- 2554	ปริญญาโท
การประเมินปริมาณไลโคพีนและ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (ความ หวาน) ของแตงโม (พันธุ์กินรี) ที่ตัด แต่งแล้ว ที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปก โตรสโคปี	นาย สฤกษ์ เชื้อชาติ	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์	รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา	2552- 2555	ปริญญาโท
การวิเคราะห์ปริมาณเนื้อเยื่อแห้ง ของน้ำยางสดและน้ำยางข้นสำหรับ ห้องปฏิบัติการในโรงงานด้วยวิธี ไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์ อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี	นาย อภิดุลย์ แก้วกับทอง	รศ.ดร. ปาน มนัส ศิริ สมบูรณ์		2552- 2555	ปริญญาโท