



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การตรวจหาปริมาณไนเตรทในผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรด

Determination of Nitrate concentration of Chinese Kale's Leaves
Grown in Hydroponics by Technique Near Infrared Spectroscopy



ระจิตร์ สุวพานิช

นภณภู่ สะสมทรัพย์

RdH

ร 214ค

2556

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **140099**
วันเดือนปี **11 S.ค. 2558**

b. 12728512
i.

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชื่อโครงการ การตรวจหาปริมาณไนเตรทในผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรด

แหล่งเงินทุน เงินรายได้คณะอุตสาหกรรมเกษตร

ประจำปีงบประมาณ 2556 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 78,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ กย. 55 ถึง ตค. 56

หัวหน้าโครงการและหน่วยงานต้นสังกัด

ดร. ระจิตรสรวพานิช สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ร่วมโครงการ และหน่วยงานต้นสังกัด

นางสาวณภฎฐิ์ สะสมทรัพย์ นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทของใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์แบบไม่ทำลาย โดยใช้เครื่องฟูรีเยร์ทรานฟอร์มสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (FT-NIR) ใช้ตัวอย่างผักคะน้าที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารจำนวน 209 ตัวอย่าง เพื่อสร้างสมการทำนายปริมาณไนเตรทของใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ และเปรียบเทียบความแม่นยำของเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดกับวิธีวิเคราะห์ทางเคมี โดยสุ่มใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์มาวัดค่าการส่องผ่านของแสงในช่วงคลื่นแสง $4000-10000\text{ cm}^{-1}$ (1000-2500 nm) ด้วยเครื่อง FT-NIR จากการทดลอง พบว่าไนเตรทมีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 885 nm เมื่อนำใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์มาวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทด้วยเทคนิค Brucine method สร้างสมการถดถอยเชิงเส้นด้วยเทคนิค Partial least square regression (PLSR) พบว่าสมการที่สร้างขึ้นเพื่อทำนายปริมาณไนเตรทมีจำนวนแฟคเตอร์ (F) เท่ากับ 1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.9508ค่า RMSEP SEP และ ค่า Biasเท่ากับ 46.6146 ppm, 44.83 และ 13.84 ตามลำดับ จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด แบบ Reflectance mode มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการทำนายค่าปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์แบบไม่ทำลายได้

เอกสารนี้ **คำสำคัญ:** ไนเตรท, เครื่องฟูรีเยร์ทรานฟอร์มสเปกโทรสโกปีอินฟราเรด, ผักคะน้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Research Title : Determination of Nitrate concentration of Chinese Kale's Leaves Grown in Hydroponics by Technique Near Infrared Spectroscopy

Researcher : Dr. Rachit Suwapanich

Miss. Napanutt Sasomsub

Faculty : Agro-Industry

Department : Food process engineering

ABSTRACT

Evaluation of nitrate in hydroponic Chinese kale's leaves by Fourier-Transform Near Infrared Spectroscopy. Two hundred and nine samples were scanned by FT-NIR. The calibration equations to predict nitrate content in hydroponic Chinese kale's leaves were developed and compared the precision of NIRs reflectance mode to the reference of standard chemical analysis data. Each hydroponic Chinese kale's leaves were random and scanned by FT-NIR in the wavenumber $4000-10000\text{ cm}^{-1}$ (800–2,500 nm). Result showed that nitrate has the most absorption at wavelength of 885 nm. Chinese kale's leaves were analyzed for nitrate content by Brucine method technique. Partial least square regression (PLSR) was used to develop nitrate content calibration equations. The number of factors (F) used in calibration equations of nitrate content was 1. The correlation coefficients (R) was 0.9508 ppm. RMSEP, SEP and Bias were 46.6146 ppm, 44.83 and 13.84 respectively. Results showed that NIRs reflectance mode has possibility to apply to predict the quantity of nitrate in hydroponic Chinese kale's leaves precisely.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากพบเห็นผิดเพี้ยนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อสถาบันที่ทำการนำใบใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัย ขอขอบคุณ คณะอุตสาหกรรม
เกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัยจาก
แหล่งทุนเงินรายได้คณะ ประจำปี 2556

ขอขอบคุณบริษัทไซแอนติฟิก โปรโมชันที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง FT- NIRs และ
ขอขอบคุณพนักงานห้องปฏิบัติการเคมี แผนกเครื่องมือวิเคราะห์ บริษัทไซแอนติฟิก โปรโมชัน
ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

ดร.ระจิตร สุวพานิช



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของกรวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near infrared spectroscopy หรือ NIRs)	5
2.2 วิธีสร้างสมการ (Calibration equation)	12
2.3 วิธีทดสอบสมการ (Validation test)	15
2.4 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ	16
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้เทคนิค NIRs	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 การประยุกต์ใช้ NIRs ในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร	18
2.7 ไนเตรท และไนไตรท์	24
2.8 คະນ້າ	29
2.9 ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของผัก	30
2.10 การปลูกพืชไร้ดิน	32
2.11 ความแตกต่างระหว่างการปลูกพืชบนดินตามธรรมชาติกับปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	34
3.2 วิธีการทดลอง	35
บทที่ 4 ผลการทดลอง	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	50
บรรณานุกรม	51
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	62
ภาคผนวก ข	64
ประวัติผู้วิจัย	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด	6
ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การพิจารณาค่า R และ R ²	17
ตารางที่ 2.3 ข้อมูลผลกระทบต่อร่างกายจากสารอาหารในปริมาณสูง	24
ตารางที่ 2.4 ปริมาณ Methemoglobin ในร่างกายและลักษณะอาการของโรค Methemoglobinemia	27
ตารางที่ 2.5 คุณค่าทางโภชนาการต่อน้ำหนักสด 100 กรัม ของคะน้า	30
ตารางที่ 2.6 ปริมาณของไนเตรทในพืชผักตามข้อบังคับของสหภาพยุโรป (European Commodity, EU) ปี พ.ศ. 2536	33
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความเข้มข้นของปริมาณไนเตรทในตัวอย่างใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ จากการวิเคราะห์บางส่วน (ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ)	41
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบ สมการของการทำนายปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์	44
ตารางที่ 4.3 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้า ไฮโดรโปนิคส์ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิค ทางคณิตศาสตร์ต่าง	46
ตารางภาคผนวกที่ ข. 1 ปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 2.1 รูปแบบการวัด (a) transmittance, (b) reflectance, (c) transreflectance และ (d) interactance	7
ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัม NIRs	10
ภาพที่ 2.3 วัฏจักรไนโตรเจน	25
ภาพที่ 2.4 ผลของสารไนเตรทและไนไตรท์ต่อฮีโมโกลบิน	25
ภาพที่ 2.5 ลักษณะสีของเลือดเมื่อมีปริมาณ Methemoglobin ในร่างกายต่าง ๆ กัน	27
ภาพที่ 3.1 แสดงการวัดสเปกตรัมผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer	36
ภาพที่ 3.2 แสดงตำแหน่งการวัดสเปกตรัมผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ด้วยเครื่อง FT-NIR spectrophotometer	36
ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการสกัดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ไนเตรทและไนไตรท์ด้วยเทคนิค Brucine method	38
ภาพที่ 4.1 Linearity ของสารมาตรฐานไนเตรทความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 ppm	39
ภาพที่ 4.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยแบบ Original spectra ของกลุ่มใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ที่ใช้ในการทำนายปริมาณไนเตรท	41
ภาพที่ 4.3 แสดงลักษณะของข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่าง ๆ	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 4.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยแบบ Original spectra ของกลุ่มใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ที่ใช้ในการทำนายปริมาณไนเตรท	45
ภาพที่ 4.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยด้วยวิธี Center and scale (Mean center) ของกลุ่มใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ที่ใช้ในการทำนายปริมาณไนเตรท	45
ภาพที่ 4.6 แสดงผลการทำนายปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินหรือไฮโดรโปนิคส์ เป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นในประเทศพัฒนาซึ่งมีปัญหาพื้นที่ทำการเกษตรลดลงเนื่องจากการเจริญเติบโตของชุมชน หรือพื้นที่ที่มีอยู่ไม่เหมาะสมต่อการทำการเกษตร เป็นวิธีที่ไม่ใช้ดินเป็นวัสดุปลูกแต่พืชจะเจริญเติบโตโดยได้รับธาตุอาหารจากสารละลายธาตุอาหาร การปลูกพืชโดยวิธีนี้จึงสามารถทำได้ในทุกพื้นที่แม้จะไม่มีที่ดินสำหรับปลูกพืชหรือพื้นที่ดินที่มีอยู่ไม่สามารถใช้ปลูกพืชได้ ปัจจุบันไฮโดรโปนิคส์เป็นวิธีการปลูกพืชที่ใช้แพร่หลายในประเทศต่างๆ เช่น ไต้หวัน ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกาออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ อิสราเอล และประเทศต่างๆ ในทวีปยุโรป สำหรับประเทศไทยมีการปลูกพืชด้วยวิธีนี้เป็นเชิงพาณิชย์ไม่นานและยังไม่แพร่หลายมาก เนื่องจากเข้าใจกันโดยทั่วไปว่าการปลูกพืชด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ต้องลงทุนสูงและมีวิธีการที่ยุ่งยากซับซ้อน ต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ประกอบกับปัญหาขาดแคลนพื้นที่ทำการเกษตรยังไม่รุนแรงนัก ยังมีพื้นที่ทำการเกษตรกรรมมากมาย สามารถปลูกพืชด้วยวิธีปกติได้เพียงพอกับความต้องการ จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการอื่นมาทดแทน อย่างไรก็ตามเมื่อมีการตื่นตัวเรื่องการผลิตผักปลอดภัยจากสารพิษในระยะ 5 ปีที่ผ่านมาได้มีการปลูกพืชโดยวิธีไฮโดรโปนิคส์เป็นการค้า เพื่อผลิตพืชผักที่มีคุณภาพในปริมาณที่แน่นอน สนองความต้องการของซูเปอร์มาร์เก็ต ตลาดพืชผักปลอดภัยจากสารพิษ การปลูกพืชทดแทนพืชนำเข้าและปลูกเพื่อการส่งออก (ฐานความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการท่องเที่ยว, 2551)

การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ให้ผลดีนั้น เกษตรกรจำเป็นต้องมีความชำนาญในการดูแล

เอกสารนี้และจัดการระบบ เพราะนอกจากปัญหาภายนอกอย่างวัสดุปลูกบางชนิดไม่ย่อยสลายซึ่งส่งผลต่อระบบบ้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยรวมแล้ว ปัญหาเฉพาะที่เกิดขึ้นกับผักที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ คือ ปริมาณไนเตรทที่สะสมอยู่ในใบผักมีปริมาณสูง เนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนของผักไฮโดรโปนิคส์อยู่ในรูปไนเตรททั้งหมดหรือเกือบทั้งหมด ส่วนผักที่ปลูกในดินได้รับปุ๋ยในรูปอื่นด้วย เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียม ยูเรีย และสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบรวมทั้งผักที่ปลูกในที่ร่มครึ้มนั้นจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงน้อย ทำให้ไนเตรทไม่ได้ถูกนำไปใช้จึงสะสมอยู่ที่ใบผัก การสะสมไนเตรทนี้ถ้าไปสะสมอยู่ในร่างกายคนมาก ๆ จะจับตัวกับออกซิเจนในเม็ดเลือด (ฮีโมโกลบิน) และส่วนหนึ่งยังเปลี่ยนรูปเป็นสารที่ชื่อว่าไนโตรซามีนซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง (กิตติ, 2554)

เมื่อมองดูจากลักษณะภายนอกไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าผักไฮโดรโปนิคส์นี้มีการสะสมของไนเตรทตกค้างในปริมาณมากเกินกว่าที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ ทำให้ผู้บริโภคบางส่วนไม่ให้ความเชื่อถือในผักปลอดสารพิษที่ได้จากการปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์เท่าที่ควร รวมทั้งการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทโดยวิธีวิเคราะห์แบบมาตรฐาน AOAC เป็นวิธีที่ทำลายตัวอย่าง และใช้ระยะเวลาในการตรวจวิเคราะห์ ถ้าผู้บริโภคได้บริโภคผักที่มีการปริมาณไนเตรทสะสมอยู่สูงมีแนวโน้มที่สามารถก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้จากภาวะความเสี่ยงดังกล่าวรวมทั้งความเข้าใจที่ว่าต้องใช้เงินลงทุนสูง จึงส่งผลให้การปลูกพืชไร่นาแบบไฮโดรโปนิคส์ไม่ได้รับความสนใจจากเกษตรกรเท่าที่ควร ทำให้มีปริมาณผลผลิตน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของกลุ่มผู้บริโภคที่ให้ความสนใจในการเลือกบริโภคผักปลอดสารพิษ รวมทั้งสายการบิน โรงแรม ภัตตาคาร และตลาดส่งออก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแหล่งตลาดที่มีความแน่นอนและต้องการผลผลิตอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งผลผลิตจากการปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิคส์นี้อาจทดแทนผลผลิตที่ต้องนำเข้าตามความต้องการของตลาดดังกล่าวได้ ดังนั้นถ้าสามารถวิเคราะห์และคัดแยกผักไฮโดรโปนิคส์ที่มีไนเตรทตกค้างได้สูงกว่าที่กำหนด จะทำให้สามารถแบ่งระดับคุณภาพ และ แก้ปัญหาการบริโภคผักที่มีสารไนเตรทตกค้างในปริมาณที่สูงเกินกว่าที่กำหนดไว้ได้ และจะส่งผลให้ผักไฮโดรโปนิคส์เป็นที่ยอมรับของตลาดมากขึ้น ซึ่งอาจลดปริมาณการนำเข้าผักจากต่างประเทศที่มีราคาแพงได้รวมทั้งทำให้เกิดความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 นำเชื่อถือของผู้บริโภคอีกด้วย
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด (Near Infrared Spectroscopy: NIRs) จะช่วยวิเคราะห์ปริมาณไนเตรตตกค้างในผักไฮโดรโปนิคส์ โดยการใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงย่านความยาวคลื่นสั้นแบบทะลุผ่านสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบ พิสูจน์และศึกษาเกี่ยวกับโมเลกุลของสาร ซึ่งอาจอยู่ในสถานะของแข็งหรือของเหลวได้ โดยอาศัยหลักการสั่น (Vibration) ของโมเลกุลและดูดกลืนรังสีอินฟราเรด เทคนิค NIRs เป็นวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างโดยไม่ทำลายตัวอย่างสามารถทำนายค่าได้ รวดเร็วและแม่นยำ ประหยัดเวลา ประหยัดค่าใช้จ่าย และลดต้นทุนในการใช้สารเคมี ช่วยตรวจสอบคัดแยกผักไฮโดรโปนิคส์ที่มีปริมาณไนเตรตตกค้างสูงเกินกว่าที่กำหนด ทำให้เกิดการคัดแยกผักไฮโดรโปนิคส์แบบไม่ทำลายให้เป็นที่น่าพึงพอใจของผู้บริโภคและตลาดส่งออก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างสมการที่ใช้ในการทำนายปริมาณไนเตรตในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์โดยใช้เทคนิคการดูดกลืนพลังงานในย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด

1.2.2 เพื่อให้ได้ข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรตแบบไม่ทำลายตัวอย่าง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณไนเตรตในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ ซึ่งผลิตโดยฝ่ายเทคโนโลยีชีวภาพสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยจังหวัดปทุมธานี ด้วยเทคนิคการดูดกลืนพลังงานในย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถสร้างสมรรถนะที่ทำนายปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ได้โดยไม่ทำลายตัวอย่างเพื่อสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้บริโภค ส่งผลดีต่อการลดจำนวนการนำเข้าผักปลอดสารพิษที่มีราคาแพงจากต่างประเทศของประเทศไทย นอกจากนี้ยังได้ผลงานทางวิชาการที่สามารถตีพิมพ์เพื่อเผยแพร่เป็นความรู้ให้แก่บุคคลทั่วไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near infrared spectroscopy หรือ NIRs)

2.1.1 หลักพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้

เมื่อ ปีค.ศ.1800 Sir William Herschel ได้ศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ให้ความร้อน (Heating effect) ในช่วงต่างๆของสเปกตรัมโดยค้นพบ Heating effect สูงสุดในแถบแสงที่อยู่ถัดไปจากแสงสีแดง (Red end) แต่ไม่สามารถมองเห็นสเปกตรัม (Spectrum) ได้จึงเรียกช่วงรังสีที่ค้นพบว่ารังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) การค้นพบครั้งนี้ถือเป็นการค้นพบที่ยิ่งใหญ่เพราะรังสีอินฟราเรดประกอบไปด้วยสามช่วงความยาวคลื่นสำคัญและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่างกันหนึ่งในนั้นคือช่วงรังสีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near infrared spectroscopy, NIRs) โดยอาศัยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนในโมเลกุลของตัวอย่าง วิธีนี้ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดผลิตภัณฑ์ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ตั้งแต่การตรวจสอบวัตถุดิบไปจนถึงการตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เมื่อฉายแสงในช่วงความยาวคลื่น NIRs ลงไปบนตัวอย่างแสงที่มีพลังงานเพียงพอจะถูกดูดกลืนและกระตุ้นให้เกิดการสั่นของโมเลกุลใน Functional groups ต่างๆ (ศุมาพร, 2545)

แสงใกล้อินฟราเรด (Near infrared) เป็นคลื่นแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 780 – 2,500 นาโนเมตรเมื่อแสงส่องผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัสดุสารเกิดการดูดกลืนแสงในช่วง Near infrared ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่นที่ความถี่สูงในการสั่นของพันธะต่างๆจะเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันไปซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชันดังนั้นเมื่อโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นตรงกับพันธะในโมเลกุลจะเกิดการสั่นและดูดกลืนรังสีไว้

ทำให้มีพลังงานมากกว่าปกติจากเดิมที่โมเลกุลอยู่ในสภาวะพื้น (Ground vibration level) เมื่อได้รับเอกซอร์นี้ เป็นเอกซอร์ที่ส่งวนไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า พลังงานเพิ่มขึ้นจะอยู่ในสภาวะกระตุ้น (Excited vibration level) อย่างไรก็ตามเมื่อโมเลกุลกลับสู่

สภาวะพื้นก็จะปล่อยพลังงานที่รับเพิ่มเข้าไปออกมาในรูปพลังงานความร้อนปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสงเป็นไปตามกฎของเบียร์ - แลมเบิร์ต (Beer- Lambert) พลังงานของคลื่นแสงเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่างจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างความเข้มข้นของแสงที่ผ่านออกมาโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้น (Osborne และคณะ, 1993)

ช่วงคลื่นย่าน Near infrared spectroscopy หรือ NIRs สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงดังแสดงในตารางที่ 2.1 คือ

ตารางที่ 2.1 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด

ช่วงคลื่น	ช่วงความยาวคลื่น (nm)	Wave number (cm^{-1})
Region I	800 – 1100	12500 – 9000
Region II	1200 – 1800	8500 – 5500
Region III	1800 – 2500	5500 – 4000

ที่มา: นิพนธ์ (2545)

Region I

มีชื่อเรียกกันว่า “รังสีเนียร์อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น” (Short wavelength NIR, SWNIR) หรือ “Herschel region” จะพบโอเวอร์โทนที่สองและสาม (2^{nd} and 3^{rd} overtones) และการสั่นรวม (Combination mode) สำหรับการสั่นแบบยืด (Stretching vibration) ของหมู่ฟังก์ชัน X-H, X=C, O, N

Region II

จะพบโอเวอร์โทนที่หนึ่งและการสั่นรวมหลากหลายแบบในการสั่นแบบยืด (Stretching

vibration) ของ X-H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

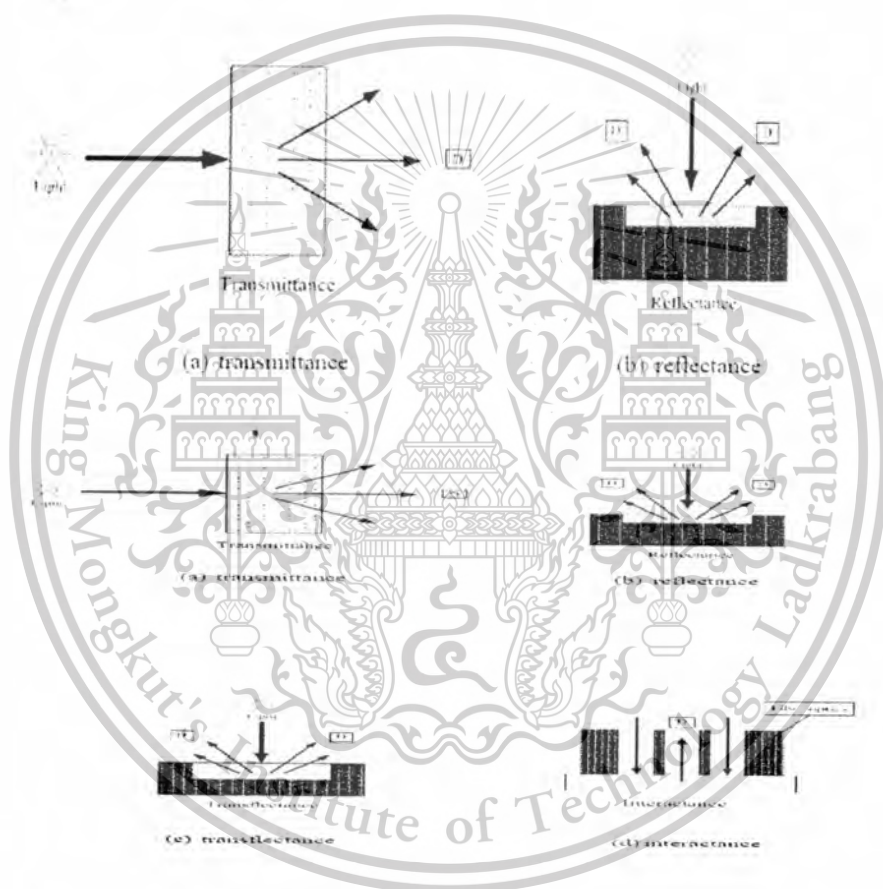
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Region III

ส่วนมากจะปรากฏการสั่นรวม (Combination mode)

2.1.2 รูปแบบที่วัดภูมิปฏิกิริยาต่อแสงเนียร์อินฟราเรด (NIRs)

เมื่อเครื่อง NIRs ปล่อยแสงผ่านลงมาตัวอย่างจะเกิดการกระทำกับกับสารได้หลายแบบ ดังนั้นควรมีการจัดการวางตัวอย่างในการใช้เทคนิค NIRs เพื่อให้ได้สเปกตรัมที่สัมพันธ์กับปริมาณค่าทางเคมีที่สนใจ ได้แก่ (ศุมาพร, 2545)



ภาพที่ 2.1 รูปแบบการวัด (a) transmittance, (b) reflectance, (c) transreflectance และ (d) interreflectance

ที่มา: Kawano (2002)

1. Transmittance แสงตกกระทบตัวอย่างด้านหนึ่งโดยที่ detector จะวัดปริมาณ

แสงที่ผ่านออกมาจากตัวอย่างในด้านตรงกันข้ามดังภาพที่ 2.1 (a) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. Reflectance แสงจะตกกระทบที่ผิวของตัวอย่างและอาจแพร่กระจายในปริมาณหนึ่งก่อน แล้ววัดปริมาณแสงสะท้อนกลับออกมาโดย detector ดังภาพที่ 2.1 (b)

3. Transflectance แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบตัวอย่างและส่องผ่านตัวอย่างลงไปตกกระทบวัตถุที่ไม่ดูดกลืนแสง (แผ่นเซรามิกทองหรืออลูมิเนียม) ที่อยู่ด้านล่างตัวอย่าง แล้วเกิดการสะท้อนกลับมายัง detector ดังภาพที่ 2.1 (c)

4. Interactance กระบวนการนี้เกิดในกรณีที่ใช้หัววัดใยแก้วนำแสง (fiber optics probe) แสงจะออกมาจากส่วนวงแหวนด้านนอกของหัววัดมาตกกระทบตัวอย่าง และแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างจะถูกส่งไปยังที่ detector บริเวณส่วนกลางของใยแก้วนำ แสงดังภาพที่ 2.1 (d) (Kawano, 2002)

โดยส่วนใหญ่นิยมวัดค่าในรูปแบบ Reflectance ที่วัดค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนออกมาเปรียบเทียบกับความเข้มแสงที่ส่องเข้าไป หรือ Transmittance ที่วัดค่าความเข้มแสงที่ทะลุผ่านตัวอย่างเปรียบเทียบกับความเข้มแสงที่ส่องเข้าไป (อาทิตย์ และคณะ, 2550) โดย Mark และคณะ (2001) กล่าวว่าเทคนิค NIRS สามารถตรวจวัดองค์ประกอบของผลผลิตได้ทั้งในรูปแบบ transmittance และ reflectance โดยให้ประสิทธิภาพของการตรวจวัดไม่ต่างกัน แต่การเลือกรูปแบบในการวัดและช่วงของสเปกตรัมที่ใช้งานให้เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญ

รุ่งนภา (2550) ได้วิเคราะห์หาไขมันและความชื้นในผลิตภัณฑ์เนยแข็งด้วย NIRS พบว่าในตัวอย่างที่มีความชื้นหรือไขมันสูง ถ้าวัดด้วยรูปแบบ reflectance จะให้ผลการวัดที่ไม่ค่อยดี เนื่องจากผิวหน้าที่เปียกของตัวอย่างจึงให้ค่าที่สูงกว่าปกติทำให้ไม่สามารถทำนายความเข้มข้นที่ถูกต้องได้ จึงเปลี่ยนรูปแบบการวัดใหม่โดยวิธี transmittance ในช่วงความยาวคลื่น 400 - 1100 นาโนเมตรซึ่งรูปแบบการวัดนี้แสง NIR สามารถส่องผ่านตัวอย่างได้มากกว่าจึงทำให้เกิดค่าผิดพลาดที่ผิวนำน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คลื่นแสง NIR แบบ reflectance ในช่วงคลื่นสั้นที่มีความยาวคลื่น 800-1100 นาโนเมตรแสงสามารถส่องผ่านตัวอย่างได้ลึกถึง 10 มิลลิเมตรส่วนช่วงคลื่นยาวที่มีความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร แสงสามารถส่องผ่านตัวอย่างได้ลึกประมาณ 1-3 มิลลิเมตรแสดงให้เห็นว่าแสงในช่วงคลื่นสั้นจะทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อสารได้ดีกว่า (อนุพันธ์, 2545)

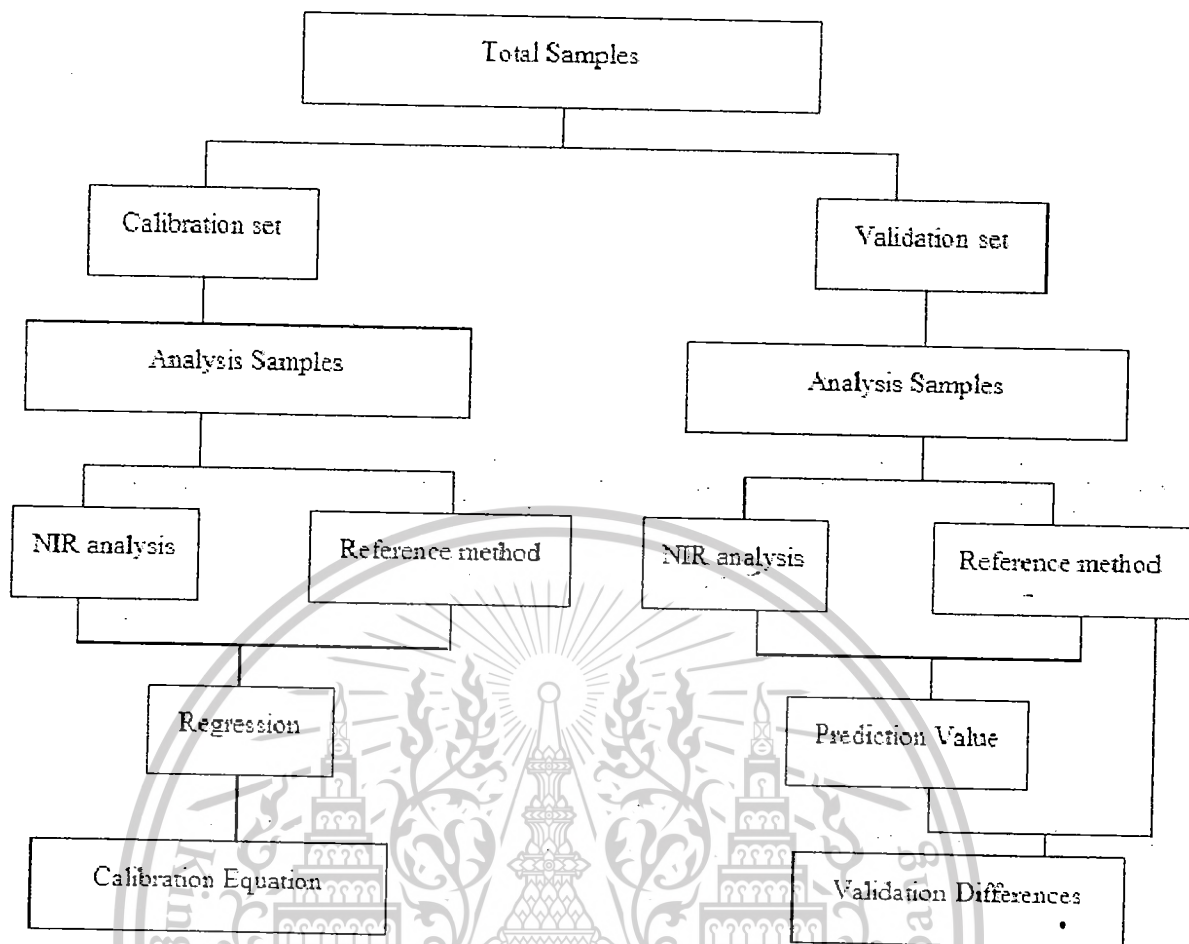
2.1.3 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล Near infrared spectra (NIRs)

การดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIRs แสดงได้ดังภาพที่ 2.2 ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอน 2 ขั้นตอนหลักเป็นอย่างน้อย คือ ขั้นตอนการสร้างสมการที่ใช้ทำนาย (Calibration set) และขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นมา (Validation set) ในการสร้างสมการที่ใช้ทำนายก็เพื่อให้ได้สมการมาตรฐานที่ใช้ในการทำนายค่าคุณลักษณะคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทราบ ต่อจากนั้นต้องมีการนำสมการมาตรฐานที่ได้จากการทำ Calibration มาตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสมการมาตรฐานในการทำนายค่าคุณภาพ ซึ่งขั้นตอนนี้ เรียกว่า การทำ Validation เพื่อทดสอบสมการที่ได้ว่ามีความแม่นยำหรือไม่เมื่อได้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือ แล้วจึงนำสมการที่ได้ไปใช้ทำนายค่าคุณลักษณะที่ต้องการศึกษา จากสเปกตรัม NIRs ที่ทำการวัดมาได้ โดยกลุ่มตัวอย่างที่ดีจะต้องมีจำนวนตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ห้อย่างพอเพียงทั้งตัวอย่างในปัจจุบันและตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์ในอนาคต โดยเฉพาะปริมาณองค์ประกอบทางเคมีจะต้องมีค่าครอบคลุมปริมาณทั้งต่ำสุดและสูงสุดของตัวอย่าง โดยมีการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) ที่ถูกต้องเพียงพอและเป็นตัวแทนที่ของประชากร การสุ่มตัวอย่างถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการที่จะได้สมการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ดี ทำให้ค่าผิดพลาดที่ได้จากการทดลองลดลง (Hruschka, 2001) นอกจากนี้ควรพิจารณาวิธีวิเคราะห์ทางเคมีซึ่งควรเป็นวิธีที่เป็นมาตรฐานและมีความแม่นยำเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องเนื่องจากส่งผลต่อสมการที่สร้างขึ้นต่อไป (Kawano, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัม NIRs

ที่มา: Kawano และคณะ (1995)

2.1.4 การปรับแต่งข้อมูลก่อนการวิเคราะห์

ปัจจัยที่มีผลต่อสเปกตรัมของตัวอย่างได้แก่ความชื้นและขนาดอนุภาค (Particle size) ซึ่งจะทำให้สเปกตรัมที่ได้มีความแตกต่างกันอันเนื่องมาจากสภาพกระเจิงแสงและความแตกต่างที่เป็นผลมาจากความเข้มข้นขององค์ประกอบที่ต้องการวัด ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความแตกต่างในผลเชิงบวก (Additive scattering) สเปกตรัมเพิ่มขึ้นตามตลอดช่วงความยาวคลื่น หรือผลเชิงคูณ (Multiplicative scattering) สเปกตรัมเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวคลื่นสูงขึ้น นอกจากนี้สเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนแสงในย่านใกล้อินฟราเรดเป็นสเปกตรัมที่มีการเหลื่อมซ้อนทับกันอยู่ (Overlapping band) ดังนั้นในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วิเคราะห์จึงนำไปปรับแต่งด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ก่อน เพื่อลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลงวิธีที่นิยมใช้ มี 2 วิธีคือ

2.1.4.1 วิธีอนุพันธ์ (Derivative)

เป็นการหาความชันของเส้นสเปกตรัม เพื่อแก้ปัญหาพีคที่มีฐานกว้าง (Broad peak) เนื่องจากการซ้อนทับกันของพีค (Overlapping) และอิทธิพลจากการยกตัวของเส้นสเปกตรัม (Baseline shift) ที่เกิดจากการกระเจิงแสง (Scattering light) เมื่อแสงตกกระทบที่ตัวอย่างทำให้แสงเปลี่ยนทิศทางซึ่งมีผลต่อการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากขนาดของตัวอย่าง ไม่สม่ำเสมอ การอัดตัว และการกระจายตัวของตัวอย่างภายในเซลล์บรรจุที่แตกต่างกัน รวมทั้งความชันภายในตัวอย่าง ที่แตกต่างกันด้วย (William และ Norris, 2001)

2.1.4.1.1 First derivative เป็นการหาความชันของสเปกตรัมซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น หรือการเลื่อนตัวของสเปกตรัมแกน Y เนื่องจากอิทธิพลของความชันและขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกัน การทำ First derivative ทำให้การแปลความหมายยากดังนั้นจึงนิยมใช้ Second derivative มากกว่า First derivative

2.1.4.1.2 Second derivative การใช้ Second derivative จะเป็นการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัมสเปกตรัมที่ได้จะมีรูปร่างที่แตกต่างจากสเปกตรัมเริ่มต้น การหาการเปลี่ยนแปลงของความชันสามารถแยกจุดยอดที่เหลื่อมซ้อนกันอยู่ สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี Second derivative ที่ได้จะมีจุดยอดที่เป็นบวกในด้านซ้ายและด้านขวา ส่วนจุดยอดตรงกลางจะอยู่ตรงด้านข้ามที่มีค่ามากที่สุดและตรงกับจุดยอดเริ่มต้น การคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัมสามารถแยกจุดยอดของสเปกตรัมที่เหลื่อมซ้อนกันของสเปกตรัมเริ่มต้นได้ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Second derivative จึงเป็นที่นิยมมากกว่าวิธี First derivative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.4.2 Multiplicative scatter correction (MSC) สเปกตรัมที่ได้จากการวัดการดูดกลืนย่านแสง NIRs แบบ Diffuse reflectance และแบบ Transmission มักจะเกิดการกระเจิงแสง (Scatter light) ดังนั้น ได้มีการใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า MSC มาปรับแต่งสเปกตรัม เป็นการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งสเปกตรัมเพื่อลดอิทธิพลของการกระเจิงของแสง ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการลดค่าผิดพลาด Barnes และคณะ (1989) ใช้ NIRs แบบวัดการสะท้อนกลับของแสง เพื่อหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดพืช โดยแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี MSC พบว่ามีค่าผิดพลาดของสมการต่ำกว่าสมการของสเปกตรัมดั้งเดิม (Original spectrum)

2.1.4.3 วิธี Smoothing เป็นการหาค่าเฉลี่ยคลื่นโดยมีการแทนค่าการดูดกลืนแสงแต่ละความยาวคลื่นด้วยค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มีจุดศูนย์กลางของช่วงความยาวคลื่นตรงกับจุดที่ถูกแทนที่ ต่อจากนั้นเลื่อนช่วงไปหนึ่งความยาวคลื่น แล้วคำนวณซ้ำจนครบตลอดช่วงความยาวคลื่น ซึ่งสามารถลดปัญหาของสัญญาณรบกวนต่อค่าการดูดกลืนแสง โดยจะได้สเปกตรัมที่มีลักษณะเหมือนสเปกตรัมดั้งเดิมแต่จะเรียบสม่ำเสมอมากกว่า (Siesler และคณะ 2002)

2.2 วิธีการสร้างสมการ (Calibration equation)

สมการ Calibration ประกอบไปด้วยตัวแปร 2 ชนิด คือ ตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) การหาตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรตามเป็นสิ่งสำคัญของการสร้างสมการ Calibration ซึ่งแบ่งได้ 2 วิธีหลัก คือ

2.2.1 Wavelength selection เป็นการเลือกความยาวคลื่นเฉพาะซึ่งเป็นตัวแปรอิสระให้ความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรตามนั้น โดยการพิจารณาจากข้อมูลทางสถิติ ดังนี้

2.2.1.1 Simple linear regression (SLR) เป็นการสร้างสมการที่ประกอบด้วยตัวแปรสองชนิดที่มีความสัมพันธ์กัน คือ ตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) SLR เป็นการเลือกพิจารณาความสัมพันธ์เชิงปริมาณของตัวอย่างที่ความยาวคลื่นเพียงความยาวคลื่นเดียว (Single

wavelength) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย NIRs เป็นไปไม่ได้ที่จะใช้ความยาวคลื่นใด ความยาวคลื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาวคลื่นหนึ่งในการหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างได้ เนื่องจากตัวอย่าง ประกอบด้วย องค์ประกอบทางเคมีหลายชนิดด้วยกัน ดังนั้นจึงต้องใช้ข้อมูลจากหลายความยาวคลื่น (Multiple wavelengths) เพื่อทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของผลผลิต (ศุมาพร, 2545) สมการ SLR สามารถเขียนได้ดังนี้คือ

$$Y = b_0 + b_1X$$

เมื่อ $Y =$ ค่าองค์ประกอบทางเคมี

$X =$ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นตำแหน่งเดียว

$b_0 =$ ค่าคงที่จุดตัดแกน Y เมื่อ X มีค่าเท่ากับศูนย์

$b_1 =$ ค่าคงที่การถดถอย

2.2.1.2 Multiple linear regression (MLR) เป็นวิธีการวิเคราะห์ผลทางสถิติที่นำ ตัวแปรอิสระ (ตัวแปร X) มากกว่าหนึ่งตัวมาใช้ในการประมาณค่าตัวแปรตาม (ตัวแปร Y) การนำ เทคนิค MLR มาใช้ในการวิเคราะห์ผลมีข้อดีมากกว่าวิธี SLR หลายประการ เช่นสมการที่สร้างขึ้น สามารถนำไปใช้กับตัวอย่างที่มีองค์ประกอบซับซ้อนได้ อย่างไรก็ตามการสร้างสมการด้วยวิธี MLR มี ข้อเสียคือการคัดเลือกตัวแปรอิสระหรือค่าการดูดกลืนแสงที่แต่ละความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับ ข้อมูลทางเคมีต้องใช้เวลาาน จำนวนของตัวแปรอิสระหรือจำนวนของความยาวคลื่นที่นำมาใช้ในการ สมการจะถูกจำกัด โดยจำนวนของตัวอย่างที่นำมาทำการทดสอบต้องมีตัวอย่างจำนวนมากเพื่อให้ สมการที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องและแม่นยำ การคัดเลือกตัวแปรอิสระหรือความยาวคลื่นที่เหมาะสม จากความยาวคลื่นทั้งหมดมาสร้างสมการอาจได้ข้อมูลที่ไม่ครอบคลุมมากพอ ทำให้ค่าที่ทำนายได้จาก วิธีนี้มีค่าต่ำกว่าหรือสูงกว่าค่าที่แท้จริง (Osborne และคณะ, 1993) สมการ MLR สามารถเขียนได้ ดังนี้คือ

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 \dots + b_nX_n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เมื่อ $X_1, X_2, \dots, X_n =$ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น n ตำแหน่ง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$b_0, b_1, b_2, \dots, b_n =$ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ความยาวคลื่น n ตำแหน่ง

2.2.2 Full spectrum method การที่จะพิจารณาเลือกความยาวคลื่นที่มี

ความสัมพันธ์กับค่าองค์ประกอบที่ศึกษานั้นค่อนข้างทำได้ยาก เกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย การใช้ข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมดหรือในช่วงความยาวคลื่นที่สนใจจะช่วยให้สมการ Calibration ที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น Full spectrum method เป็นการเลือกช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมจากความยาวคลื่นทั้งหมดในสเปกตรัม (Full spectrum) มาสร้างสมการโดยทำการลดจำนวนตัวแปรอิสระ (X) และสร้างตัวแปรกลุ่มใหม่ขึ้นมา วิธีทางสถิติที่นิยมใช้ได้แก่ 2 วิธีคือ Principle component regression (PCR) และ Partial least square regression (PLSR) ทั้งสองวิธีนี้ต้องใช้ในการสร้างตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า Factor หรือองค์ประกอบ

2.2.2.1 Principle component regression (PCR) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการลด

จำนวนของตัวแปรอิสระ ในกรณีที่ตัวแปรอิสระมีจำนวนมาก การลดจำนวนของตัวแปร คือแบ่งกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเพื่อสร้างตัวแปรขึ้นมาใหม่เรียกว่า Factor หรือองค์ประกอบ Factor ที่สร้างขึ้นก็คือผลรวมของค่าสเปกตรัมทุกความยาวคลื่นที่น้ำหนักแตกต่างกัน Factor แรกจะถูกสร้างขึ้นมาให้สามารถอธิบายความแปรปรวนที่เหลือซึ่งจะทำให้ Factor แต่ละ Factor แทบไม่มีความสัมพันธ์ต่อกันซึ่งเป็นข้อดีสำหรับการวิเคราะห์ด้วย PCR เมื่อทำการหา Factor เรียบร้อยแล้ว นำ Factor ที่ได้มาทำ Regression กับค่าทางเคมีโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) ก็จะได้ค่า Calibration coefficient

2.2.2.2 Partial least square regression (PLSR) วิธีจะคล้ายคลึงกับ PCR แต่จะ

ต่างกันตรงที่วิธี PCR กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมจะเป็นอิสระจากกระบวนการทำสมการถดถอยของสมการ Calibration ซึ่งใน PLSR ทั้งสองกระบวนการจะถูกเชื่อมโยงเข้าไว้ด้วยกันโดยมี

การนำค่าองค์ประกอบทางเคมีมาคิดรวมข้อมูลและเกี่ยวข้องกับการประเมินค่าทางเคมีทำให้ Factor เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเข้าถึงและการคัดลอกเป็นต้น ผู้ใช้และผู้เผยแพร่ที่นำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ที่ได้จากวิธี PLSR สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลและเกี่ยวข้องกับการประเมินค่าทางเคมีในเวลาเดียวกันสมการ Calibration ที่ได้จากวิธี PLSR จึงประเมินค่าทางเคมีได้ถูกต้องมากขึ้น Saranwong (2003) ได้ศึกษาการพัฒนาสมการที่ใช้ในการทำนายค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid) และค่าน้ำหนักเนื้อแห้ง (Dry matter) ของมะม่วงด้วยวิธี PLSR กับ MLR ในการสร้างสมการทำนาย พบว่าวิธี PLSR ให้ค่าผิดพลาดของสมการทำนายของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าวิธี MLR แต่สำหรับสมการทำนายค่าน้ำหนักเนื้อแห้งด้วยวิธี PLSR กับ MLR ที่สร้างขึ้นให้ค่าไม่แตกต่างกัน

2.3 วิธีการทดสอบสมการ (Validation test)

เมื่อได้สมการ Calibration แล้วจะต้องนำสมการที่ได้มาทวนสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของสมการว่าสามารถใช้ในการประเมินค่าได้แม่นยำมากน้อยเพียงใดวิธีที่นิยมใช้ในเทคนิค NIRs มี 2 วิธี คือ

2.3.1 Full cross validation วิธีนี้การทดสอบในลักษณะนี้เป็นการทดสอบภายใน (Internal validation) มีวิธีทดสอบดังนี้คือ

ตอนที่ 1 ตัดตัวอย่างที่ 1 ออกไปจากกลุ่ม Calibration แล้วนำตัวอย่างที่เหลือมาสร้างสมการ Calibration เมื่อได้สมการ Calibration แล้วก็นำมาประเมินค่าตัวอย่างที่ 1 ที่ตัดไปก่อนหน้า

ตอนที่ 2 ตัดตัวอย่างที่ 2 ออกไปนำตัวอย่างที่ 1 กลับเข้ามาในกลุ่ม Calibration รวมกับตัวอย่างอื่นๆที่เหลือเพื่อสร้างสมการ Calibration เมื่อได้สมการ Calibration นำมาประเมินค่าของตัวอย่างที่ 2 ทำซ้ำอย่างนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งประเมินค่าตัวอย่างครบทุกตัวอย่างซึ่งตัวอย่างแต่ละตัวจะถูกตัดออก 1 ครั้งเท่านั้น

การทดสอบภายใน (Internal validation) จะวัดผลโดยการดูค่า RMSECV (Root mean square error of cross validation) เป็นการวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการประเมินโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ใช้สมการ Calibration กับค่าที่วิเคราะห์ได้ (Measured value or true value) ให้ค่าที่ยอมรับได้ ไม่วากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

การใช้วิธี Full cross validation มักใช้กับวิธีการวิเคราะห์โดยวิธี PLSR ไม่นิยมใช้กับวิธีการวิเคราะห์โดยวิธี MLR

2.3.2 การทดสอบผลการประเมิน (Prediction testing) เป็นการทดสอบโดยนำกลุ่มตัวอย่างชุดใหม่ (External validation) มาประเมินค่าจากสมการ Calibration ที่ได้ โดยตัวอย่างชุดใหม่ที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีวิธีการเตรียมตัวอย่างการวัดสเปกตรัมสภาวะในการทดลองรวมไปถึงการแปลงข้อมูลสเปกตรัมต้องเหมือนกับกลุ่ม Calibration ข้อควรระวัง คือ ตัวอย่างในกลุ่มใหม่จะต้องมีค่าที่ต้องการประเมินอยู่ในช่วงของกลุ่ม Calibration การทดสอบลักษณะนี้มีวิธีการ คือ นำตัวอย่างกลุ่มใหม่มาวิเคราะห์หาค่าที่ต้องการ เช่น ค่าโปรตีนโดยใช้วิธีการแบบ Reference methods แทนด้วยข้อมูลชุด X และนำไปวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIRs แล้วนำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการ Calibration แทนด้วยข้อมูลชุด Y นำผลที่ได้จากทั้งสองวิธีมาพิจารณาเปรียบเทียบ โดยมีค่าทางสถิติที่ใช้วัดคือ SEP (Standard error of prediction) หรือ RMSEP (Root mean square error of prediction) และ bias ซึ่งค่าสถิติเหล่านี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสมการ Calibration ถ้าผลการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับผลที่อ้างอิง และให้ค่าทางสถิติที่ดีแสดงว่าสมการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีนั้นยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้ทำนายปริมาณตัวอย่างต่อไปได้อย่างถูกต้อง (อนุพันธ์, 2545)

2.4 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ

2.4.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient; R) คือค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) หากค่าที่คำนวณได้มีค่าเข้าใกล้ 1 หรือเท่ากับ 1 หมายความว่า สมการที่สร้างขึ้นสามารถนำมาใช้ในการอธิบายค่าทำนายที่เกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระ (X) กับค่าแปรตาม (Y) ที่มีความสัมพันธ์กันมาก การแปลความหมายของค่า r และ r^2 อยู่ในตาราง 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.2 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการ (Standard error of

calibration; SEC) คือ ค่าที่บอกถึงสมการที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการทำนายต่อไปได้ดีหรือไม่ ค่าที่คำนวณได้ควรมีค่าน้อย

2.4.3 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มทดสอบสมการ (Standard error of

prediction; SEP) คือ ค่าที่บอกถึงการนำเอาสมการที่สร้างขึ้นมาทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากเครื่อง NIRs มีความแม่นยำสูงหรือต่ำ ซึ่งถ้าค่าที่คำนวณได้มีค่าน้อย หมายความว่าสมการที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำสูง

2.4.4 ค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIRs

(Average of difference between actual value and NIR value; bias) คือค่าเฉลี่ยของการทำนายข้อมูลของตัวแปรตาม (Y) และค่าเฉลี่ยข้อมูลของตัวแปรอิสระ (X) มีความแตกต่างกันหรือไม่ ค่าที่คำนวณได้ควรมีค่าน้อย

2.4.5 อัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่ม Validation set ต่อค่า SEP

(Ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP; RPD) ค่าจากที่คำนวณได้มีค่าสูง หมายถึง ค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ทำนายได้จาก NIRs มีค่าน้อยกว่าค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ได้จากวิเคราะห์จริง

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การพิจารณาค่า R และ R²

Value of R	Value of R ²	Interpretation
Up to ± 0.5	5 Up to 0.25	Not usable in NIRs calibration
± 0.51 – 0.70	0.26 – 0.49	Poor correlation, research the reasons
± 0.71 – 0.80	0.50 – 0.64	Rough screening
± 0.81 – 0.90	0.66 – 0.81	Screening and approximate calibration
± 0.91 – 0.95	0.83 – 0.90	Usable with caution for most applications, including research
± 0.96 – 0.98	0.92 – 0.96	Usable in most applications, including quality assurance
± 0.99 >	0.98 >	Usable in any application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ที่มา: Williams (2007)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้เทคนิค NIRs

2.5.1 ขนาดของอนุภาค

ขนาดของอนุภาคเป็นแหล่งของความผิดพลาดที่สำคัญ เพราะขนาดของตัวอย่างมีความสัมพันธ์กับการดูดกลืนแสง ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติขององค์ประกอบของสาร โดยตัวอย่างขนาดเล็กสามารถสะท้อนแสงได้ดีกว่าตัวอย่างขนาดใหญ่ ดังนั้นค่าการดูดกลืนแสงของเส้นสเปกตรัมตัวอย่างขนาดเล็กจึงมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างขนาดใหญ่ (Osborne และคณะ, 1993) ขนาดของอนุภาคยังขึ้นอยู่กับการเตรียมตัวอย่างอีกด้วย เพราะจะทำให้การวัดค่าองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน จึงควรใช้การเตรียมตัวอย่างแบบเดียวกันทุกครั้งที่ทำการวัด และควรให้มีขนาดใกล้เคียงกัน

2.5.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิของตัวอย่างระหว่างการวัดโดยใช้ NIRs อาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการวัดองค์ประกอบทางเคมี Guyer และคณะ (2006) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในพริกหยวก พบว่า เมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างที่ -5 องศาเซลเซียส ความแน่นเนื้อที่วัดได้จะสูงกว่าการใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส แต่เมื่อวัดค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างที่ 45 องศาเซลเซียสความแน่นเนื้อที่วัดได้จะต่ำกว่าค่าจริง 0.5% ทำการแก้ไขโดยควบคุมอุณหภูมิของห้องทดลองให้คงที่

2.5.3 ความชื้น

เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านค่าองค์ประกอบทางเคมี ความชื้นอาจสูญเสียไปได้จากการเตรียมตัวอย่างและการเก็บตัวอย่าง Greensill และ Walsh (2000) ได้ศึกษาความแปรปรวนของความชื้นในลูกพลัม พบว่า ลูกพลัมที่มีความชื้นสูงจะทำให้การอ่านค่าผิดไปจากค่าจริงมาก

2.6 การประยุกต์ใช้ NIRs ในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร

การใช้ประโยชน์ทางด้านเทคนิค NIRs ค่อนข้างจะแพร่หลายมากขึ้นส่วนมากจะนำมาใช้ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าอุตสาหกรรมเกษตรและอุตสาหกรรมอาหาร เพราะเป็นการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบและไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการตรวจสอบคุณภาพของผลไม้ ซึ่งมีงานวิจัยจากต่างประเทศมากมายที่วิจัยเกี่ยวกับการใช้เทคนิค NIRs ตรวจสอบคุณภาพของผลไม้ เช่น

พัลลภ และคณะ (2544) ศึกษาการตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมังคุดโดยใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด พบว่า สามารถแยกผลมังคุดที่มีลักษณะเนื้อแก้วออกจากมังคุดปกติได้ และได้สมการทำนายค่าความแน่นเนื้อของผลมังคุดโดยมีค่า $R = 0.92$, $SEE = 0.879$, $SEP = 1.016$ และ $Bias = 3.905 \times 10^{-15}$ และได้สมการทำนายค่า Degree of Elasticity โดย มีค่า $R = 0.92$, $SEE = 0.077$, $SEP = 0.076$ และ $Bias = 3.706 \times 10^{-16}$ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดมีความเป็นไปได้ที่จะใช้คัดแยกมังคุดเนื้อแก้วออกจากมังคุดปกติ ทำนายค่าความแน่นเนื้อและค่า Degree of Elasticity ของผลมังคุดได้

พัชราภรณ์ และ เอกชัย (2545) ศึกษาการตรวจสอบคุณภาพเนื้อสัมผัสของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้โดยใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่นที่ 800 – 2,500 nm โดยใช้วิธี MLR และตรวจวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ในช่วงความยาวคลื่นที่ 800 – 2,500 nm โดยใช้วิธี PLS พบว่าสมการทำนายคุณภาพเนื้อสัมผัสซึ่งวัดได้จากค่า Energy Absorption ในช่วงความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงดีที่สุดคือ 1,178 – 2,420 nm มีค่า $R = 0.813$, $SEE = 0.021$, นำมาใช้ในการคัดแยกอายุการเก็บเกี่ยวของส้มโอและทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

ศุภกิจ (2552) ใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่นที่ 1,100 – 2,500 nm ในการทำนายองค์ประกอบของน้ำผึ้งและแบ่งกลุ่มน้ำผึ้งที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน โดยวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำตาลฟรุกโตสกลูโคสและซูโครส ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และความชื้นของน้ำผึ้ง โดยก่อนทำชุดข้อมูล Calibration ได้ใช้วิธี PCA เพื่อตรวจสอบข้อมูลที่ผิดปกติจากกลุ่มจากนั้นสร้างโมเดลด้วยวิธี PLSR พบว่า สมการทำนายปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสที่ปรับแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สเปกตรัมด้วยวิธี 1st derivative มีค่า $R_p = 0.851$, $SEP = 7.69\%$ และ $Bias = 0.031\%$ สมการ

ไม่วารณณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ทำนายปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี 1st derivative มีค่า R = 0.807, SEP = 6.15% และ Bias = 0.47% สมการทำนายปริมาณน้ำตาลซูโครสปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี 2nd derivative มีค่า R = 0.937, SEP = 4.07% และ Bias = 0.28% สมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี 2nd derivative มีค่า R = 0.965, SEP = 0.57 %Brix และ Bias = -0.23 %Brix สมการทำนายความชื้นปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี MSC มีค่า R = 0.979, SEP = 0.47% และ Bias = 0.11% ส่วนการแบ่งกลุ่มของน้ำผึ้งจะใช้วิธี PLS – DA และ SIMCA ในการแบ่งกลุ่มน้ำผึ้งที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน พบว่าวิธี PLS – DA สามารถแบ่งกลุ่มน้ำผึ้งที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานได้ถูกต้องกว่าวิธีแบบ SIMCA ซึ่งค่าการแบ่งกลุ่มนั้นพบว่าโมเดลของน้ำผึ้งที่ได้มาตรฐานจะทำนายตัวเองได้ถูกต้อง 92.3% และทำนายกลุ่มอื่นได้ถูกต้อง 100% ส่วนโมเดลของน้ำผึ้งที่ไม่ได้มาตรฐานจะทำนายตัวเองได้ถูกต้อง 100% และทำนายอีกกลุ่มหนึ่งได้ถูกต้อง 92.3% ซึ่งการทำนายโดยรวมมีความถูกต้อง 95.8% จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ทำนายองค์ประกอบของน้ำผึ้งและแบ่งกลุ่มน้ำผึ้งที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน

ปาริชาติ และ คณะ (2553) ศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งบนผลมะม่วงในการวัดสเปกตรัมเพื่อประเมินคุณภาพด้วยเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดทำการวัดสเปกตรัมของผลมะม่วงที่ตำแหน่งไหล่แก้มและปลายผลที่ความยาวคลื่น 700 – 1,100 nm พบว่าสเปกตรัมของผลมะม่วงพบพีคที่ชัดเจนที่ความยาวคลื่น 978 nm คือ แถบการดูดกลืนแสงของน้ำค่าการดูดกลืนแสงของน้ำในผลมะม่วงที่ตำแหน่งแก้มทั้งผลดิบมีค่าเท่ากับ 1.16 ซึ่งมีค่าสูงกว่าตำแหน่งไหล่และปลายผลซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.03 และ 1.02 ตามลำดับนอกจากนี้พบว่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปรของค่าการดูดกลืนแสงของน้ำที่ตำแหน่งแก้มของผลมะม่วงดิบมีค่าเท่ากับ 6.9 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่ตำแหน่งไหล่และปลายผลซึ่งมีค่าเท่ากับ 14.6 และ 16.7 ตามลำดับ จากผลการทดลองสรุปได้ว่าตำแหน่งของผลมะม่วงมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อิทธิพลต่อความแปรปรวนของสเปกตรัม ซึ่งสัมพันธ์กับความแม่นยำในการประเมินคุณภาพมะม่วง ด้วยเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด

อาทิตย์ และ คณะ (2553ก.) ศึกษาการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลลองกองด้วยการใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้นโดยการวัดตัวอย่างแบบใช้วิธีทะลุผ่านในช่วงความยาวคลื่น 650 – 955 nm พบว่าการปรับสเปกตรัมแบบ 2nd derivative มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ดีที่สุดและมีค่า RMSEC ต่ำที่สุดคือ 0.935 และ 0.396 จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้นแบบทะลุผ่านมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลลองกองแบบไม่ทำลายได้อย่างแม่นยำ

อาทิตย์ และคณะ (2553ข.) ศึกษาการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดทั้งหมดของส้มโอตัดแต่งด้วยการใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้นในช่วงความยาวคลื่น 400 – 1,028 nm พบว่าสมการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่า R = 0.835, SEP = 0.383 และ Bias = -0.0054 และสมการทำนายปริมาณกรดทั้งหมดมีค่า R = 0.687, SEP = 0.063 และ Bias = -0.0003 จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้นมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดทั้งหมดของส้มโอตัดแต่ง

สนธิสุข และ คณะ (2554) ศึกษาการคัดแยกมังคุดเปลือกแข็งโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่านพบว่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่สุดในการคัดแยกคือ 717 nm และได้ผลวิเคราะห์ความถูกต้องในการคัดแยกด้วยวิธี Leave – one – out cross validation จากสมการคัดแยกกลุ่ม Fisher เท่ากับ 80.8% ซึ่งกล่าวได้ว่าการใช้เทคนิคการวิเคราะห์พหุตัวแปรมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการทำนายมังคุดเปลือกแข็ง

Villareal และคณะ (1994) ได้วิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสของข้าวด้วยเทคนิคการดูดกลืนแสง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ย่านใกล้อินฟราเรดแบบ Transmittance mode ที่ช่วงความยาวคลื่นที่ 800 – 1,050 nm เพื่อศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความเป็นไปได้ในการทำนายปริมาณอะไมโลสของข้าวกล้องและข้าวสารวิเคราะห์ผลด้วยวิธี PLSR โดยสมการทำนายปริมาณอะไมโลสของข้าวกล้องและข้าวสารมีค่า $R = 0.87$ และ 0.98 จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าการทำนายปริมาณอะไมโลสด้วยเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดแบบ Transmittance mode ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี

Delwiche และคณะ (1996) ศึกษาปริมาณอะไมโลสของข้าวขาวเต็มเมล็ดด้วยเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดแบบ Reflectance mode ที่ช่วงความยาวคลื่นที่ $1,110 - 1,800$ nm วิเคราะห์ผลด้วยวิธี PLS พบว่าสมการทำนายปริมาณอะไมโลสมีค่า $R = 0.887$, $SEP = 1.33\%$ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดแบบ Reflectance mode มีความเป็นไปได้ที่จะใช้ทำนายปริมาณอะไมโลสของข้าวขาวเต็มเมล็ด

Bao และคณะ (2001) ได้วิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสของข้าวที่ปลูกในประเทศจีนด้วยเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดแบบ Reflectance mode ที่ช่วงความยาวคลื่นที่ $400 - 2,500$ nm วิเคราะห์ผลด้วยวิธี PLS พบว่าสมการทำนายปริมาณอะไมโลสมีค่า $R = 0.960$, $SEP = 1.39\%$ และ $Bias = -0.17\%$ ผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดแบบ Reflectance mode มีความเป็นไปได้ที่จะใช้ทำนายปริมาณอะไมโลสของข้าวที่ปลูกในประเทศจีน

Manuela และคณะ (2002) ทำนายการปริมาณน้ำตาลของผล Grapefruit ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำคือ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1 เดือนโดยใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดที่ช่วงความยาวคลื่นที่ $1,100 - 1,500$ nm แบบ Reflectance mode และวิเคราะห์สเปกตรัมที่วัดได้ด้วยวิธี PLS และใช้โปรแกรมพบว่าสมการทำนายปริมาณน้ำตาลซูโครสมีค่า $R = 0.65$, $SEC = 0.8$ และ $SECV = 1.2$ ส่วนสมการทำนายปริมาณน้ำตาลกลูโคสมีค่า $R = 0.84$, $SEC = 0.6$ และ $SECV = 0.9$ และสมการทำนายปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสมีค่า $R = 0.74$, $SEC = 0.8$ และ

$SECV = 1.1$ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ทำนายปริมาณน้ำตาลของผล Grapefruit ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Shao และคณะ (2007) ได้นำเทคนิค Vis - NIRs มาใช้เพื่อประเมินคุณภาพภายในของมะเขือเทศได้แก่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และค่าความเป็นกรดต่างแบบไม่ทำลายในช่วงความยาวคลื่น 400 - 2,350 nm พบว่าสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่า $R = 0.90$ และ $SEP = 0.19$ และสมการทำนายค่าความเป็นกรดต่างมีค่า $R = 0.83$ และ $SEP = 0.09$ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทคนิค Vis - NIRs มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และค่าความเป็นกรดต่างของมะเขือเทศ

Liu และคณะ (2008) ได้นำเทคนิค Vis - NIRs มาใช้ทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และความแน่นเนื้อของผลลูกแพร์แบบไม่ทำลายในช่วงความยาวคลื่น 350 - 1,800 nm พบว่าการปรับสเปกตรัมแบบ 2^{nd} derivative มีค่า R ที่ดีที่สุดและมีค่า RMSEP ที่ต่ำที่สุดของสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 0.912 และ 0.662 ตามลำดับและค่า R ที่ดีที่สุดและค่า RMSEP ที่ต่ำที่สุดของสมการทำนายค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 0.854 และ 1.232 ตามลำดับจากผลการวิจัยสรุปได้ว่าเทคนิค Vis - NIRs สามารถทำนายได้ถูกต้องและเชื่อถือได้โดยไม่ทำลายคุณภาพภายในของลูกแพร์

Guoqiang และคณะ (2009) ได้นำเทคนิค Vis/NIRs มาใช้ทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และความแน่นเนื้อในผลแอปเปิ้ลฟูจิโดยใช้ช่วงความยาวคลื่นที่ 650 - 920 nm ในขั้นตอนการทำ Calibration เกิดจุด Peak ที่ไม่ชัดเจนแก้ไขโดยวิธี PLS และปรับแต่งเส้นสเปกตรัมด้วยวิธี Second derivative พบว่าสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่า $R = 0.9532$ และ $SEP = 0.3838$ และสมการทำนายค่าความแน่นเนื้อมีค่า $R = 0.8136$ และ $SEP = 0.5344$ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทคนิค Vis - NIRs มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และค่าความแน่นเนื้อในผลแอปเปิ้ลฟูจิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7 ไนเตรทและไนไตรท์

ไนเตรทและไนไตรท์เป็นสารที่นิยมใช้เป็นสารกันเสียในอาหารสำเร็จรูปประเภทเนื้อสัตว์และ เป็นส่วนประกอบของปุ๋ยซึ่งใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับการเจริญเติบโตของพืชหากใช้ในปริมาณ มากและต่อเนื่องจะมีผลให้เกิดการสะสมในเนื้อเยื่อพืชโดยเฉพาะในผักที่รับประทานใบดังนั้นจึงมักพบ ไนเตรทและไนไตรท์ปริมาณสูงในผักบางชนิดเช่นผักโขม (Spinach) บล็อกโคลี (Bloccoli) และ ผักกาดหัว (White radish) (Yau, 2008) แม้นิเตรทและไนไตรท์จะเป็นสารปกติที่พืชสมควรได้รับอยู่ แล้วแต่ถ้าผักไฮโดรโปนิกส์ได้รับสารอาหารปริมาณมากและต่อเนื่องเกินไปอาจทำให้มีปริมาณ สารอาหารต่างๆสะสมอยู่มากจนทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้ดังแสดงในตารางที่ 2.3

สารที่ควรจะต้องให้ความสำคัญคือเกลือไนเตรทและเกลือไนไตรท์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของ ปุ๋ยอินทรีย์โปตัสเซียมไนเตรทและแคลเซียมไนเตรทในพืชผักต่างๆมีการใช้ปุ๋ยพวกไนเตรทเพิ่มขึ้น ก็จะมีผลทำให้มีสารไนเตรทและไนไตรท์เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักของพืชที่ ช่วยในการเจริญของลำต้นและใบพืชดังนั้นจึงพบไนเตรทและไนไตรท์มากในพืชที่บริโภคใบและหัว โดยเฉพาะระยะที่พืชผักถูกเก็บไว้เพื่อรอการบริโภคสารไนเตรทจะเปลี่ยนเป็นสารไนไตรท์โดย แบนทีเรีย (ภาพที่ 2.3) ซึ่งผักบางชนิดอาจมีไนไตรท์สูงถึง 3.6 กรัมต่อผักแห้ง 1 กิโลกรัม

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลผลกระทบต่อร่างกายจากสารอาหารในปริมาณสูง

ธาตุอาหาร	ผลกระทบต่อร่างกาย
ไนโตรเจน	เกลือไนเตรทและเกลือไนไตรท์จะเป็นสารตั้งต้นของไนโตรซามีนซึ่งเป็น สารก่อมะเร็งในตับในระบบทางเดินอาหาร
ฟอสฟอรัส	ทำให้เกิด Hyperparathyroidism และ Resorption ของกระดูก
แคลเซียม	ทำให้ท้องผูกอันตรายเสี่ยงต่อการเป็นโรคนิวสูงขึ้น
แมกนีเซียม	ถ้าไตไม่ดีจะพบ Hypermagnesemia
เหล็ก	เกิดภาวะ Hemochromatosis ทำลายเนื้อเยื่อที่เก็บสะสมเหล็กเช่นตับ
สังกะสี	เกิดภาวะขาดทองแดงเนื่องจากสังกะสีจะไปกระตุ้นเซลล์ลำไส้สร้าง Intestinal

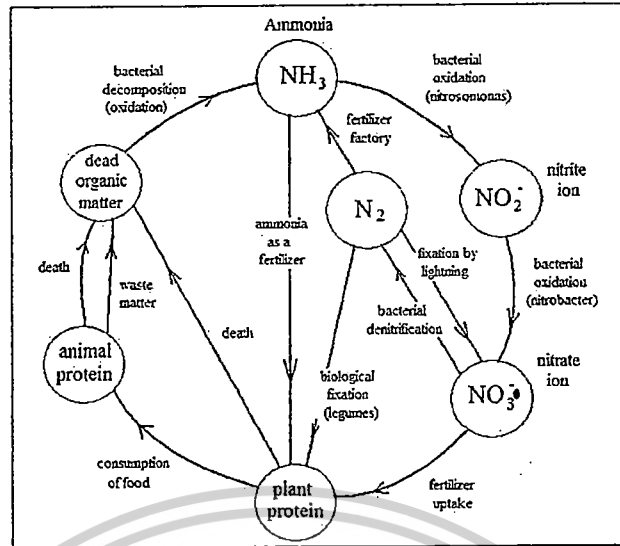
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ที่มา : พนมพร (2545)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

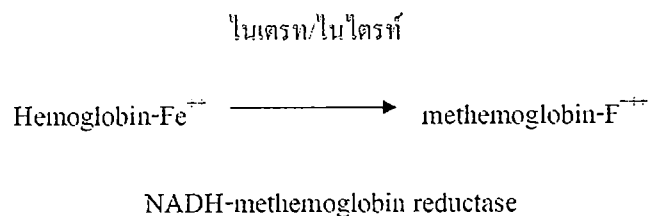


ภาพที่ 2.3 วัฏจักรไนโตรเจน

ที่มา : Harlan (2010)

2.7.1 อันตรายและความเป็นพิษของไนเตรทและไนไตรท์

สำหรับเด็กความเป็นพิษของไนเตรทและไนไตรท์เกิดจากเม็ดเลือดแดงของเด็กไม่มี เอ็นไซม์ เอ็นเอตีเอช เมธฮีโมโกลบินรีดักเตส (NADH-methemoglobin reductase) ซึ่งเปลี่ยน Methemoglobin (Ferric, Fe⁺³) กลับเป็น Hemoglobin (Ferrous, Fe⁺²) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 เมื่อเด็กรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนไนเตรทเข้าไป แบคทีเรียในลำไส้จะเปลี่ยนไนเตรทเป็นไนไตรท์ซึ่งสามารถดูดซึมได้และสร้าง Methemoglobin (ปนิธานและวินัย, ม.ป.ป.) เนื่องจาก Hemoglobin ถูกออกซิไดซ์ด้วยไนไตรท์เป็นเมธฮีโมโกลบินได้ดีและง่ายกว่า ดังนั้นการสะสมของ Methemoglobin จึงทำให้เด็กมีอาการขาดออกซิเจน ปวดศีรษะ หายใจหอบ หัวใจเต้นแรง และเร็วกว่าปกติ



ภาพที่ 2.4 ผลของสารไนเตรทและไนไตรท์ต่อฮีโมโกลบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านกฎหมายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกลือไนโตรทรวมตัวกับสารอะมีน (Amines) เกิดเป็นสารประกอบที่เรียกว่าไนโตรซามีน ซึ่งจะทำปฏิกิริยาได้ดีในสภาพความเป็นกรดสูงในกระเพาะอาหาร สารพิษไนโตรซามีนสามารถถูกดูดซึมไปทั่วร่างกาย และก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า เกลือไนเตรทเป็นสารตั้งต้นของสารก่อมะเร็ง สารไนโตรซามีนมี 4 ชนิดที่ได้รับการพิสูจน์ว่า เป็นสารก่อมะเร็งคือ ไดเมทิลไนโตรซามีน (Dimethylnitrosamine) ทำให้เกิดมะเร็งตับ ไดเอทิลไนโตรซามีน (Diethylnitrosamine) ทำให้เกิดมะเร็งในหลอดอาหารและตับ เมทิลเบนซิลไนโตรซามีน (Methylbenzyl nitrosamine) และเมทิลเฟนิลไนโตรซามีน (Methylphenylnitrosamine) ทำให้เกิดมะเร็งหลอดอาหาร ทั้งหมดนี้เป็นสมมติฐานของการรับประกันถึงความปลอดภัยของผักไฮโดรโปนิคส์เท่าที่ตรวจสอบได้ (พนมพร, 2545)

ธรรมศักดิ์ และคณะ (2545) ได้รายงานการสำรวจเบื้องต้นปริมาณไนเตรทตกค้างในผักกาดหอมสายพันธุ์ต่างประเทศที่ปลูกโดยไม่ใช้ดิน โดยเก็บตัวอย่างผักกาดหอมชนิดต่าง ๆ ในตลาดกรุงเทพฯ พบว่าผักกาดหอมมีการตกค้างของสารไนเตรทเกินค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดของสหภาพยุโรป (>2500 mg/Kg FW ในช่วงเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม และ <3000 mg/Kg FW ในช่วงเดือนพฤศจิกายน - เมษายน) จำนวนร้อยละ 27, 81 และ 81 สำหรับตัวอย่างที่เก็บในฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อนตามลำดับ และชนิดของผักที่พบว่ามีสารสะสมของไนเตรทสูงกว่าผักชนิดอื่น ได้แก่ Red coral, Butter head, Ice berg ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค เช่น ร่างกายค่อย ๆ อ่อนแอ และก่อให้เกิดมะเร็ง หรือร่างกายของผู้บริโภคบางรายเกิดอาการขาดออกซิเจนอย่างเฉียบพลันไนเตรทที่สะสมในผักอาจถูกเริดิวส์ให้กลายเป็นไนโตรทซึ่งเป็นสาเหตุของโรค Methemoglobinemia และยังสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นไนโตรซามีนซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งได้ในภายหลัง (มนูญ, 2544)

โรค Methemoglobinemia เป็นภาวะที่เม็ดเลือดแดงของร่างกายลดความสามารถในการขนส่งออกซิเจนลง เกิดจากการมี Methemoglobin มากกว่าปกติ คือ ไม่เกิน 3% ทำให้

Hemoglobin ไม่สามารถจับหรือปล่อยออกซิเจนได้ตามปกติ ความรุนแรงของอาการจะขึ้นกับ

เอ็กสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ปริมาณ Methemoglobin โดยอาจไม่มีอาการของโรค หรือผิวหนังหรือเยื่อเมือมีสีคล้ำลง อ่อนแรง ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

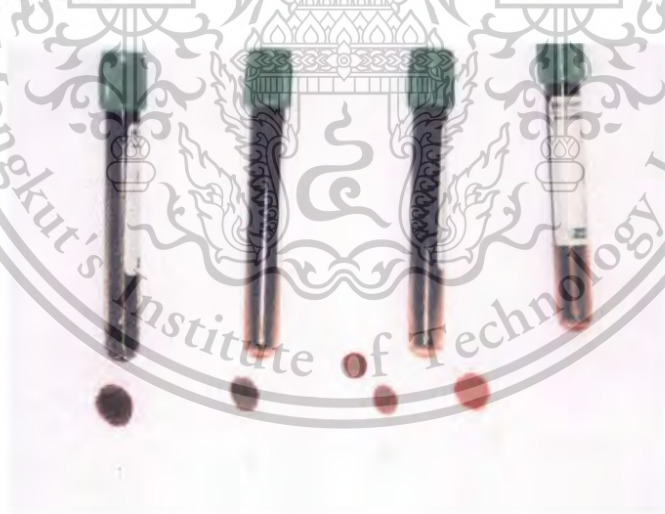
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หายใจหอบเหนื่อย หน้ามืด และอาจเสียชีวิตได้ อาการของโรคที่เกิดขึ้นตามปริมาณ Methemoglobin ดังแสดง ในตารางที่ 2.4 ซึ่งมีลักษณะสีของเลือดดังแสดงในภาพที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 ปริมาณ Methemoglobin ในร่างกายและลักษณะอาการของโรค Methemoglobinemia

ปริมาณ Methemoglobinemia(%)	ลักษณะและอาการที่เกิดขึ้น
0 – 3	ไม่มีอาการ
3 – 15	สีผิวซีด เทา หรือคล้ำ
15 - 20	ริมฝีปากเขียว (Central cyanosis) เลือดมีสี Chocolate brown
20 – 25	ปวดศีรษะ หอบเหนื่อย วิงเวียน/เป็นลม อ่อนแรง ใจสั่น เจ็บแน่นหน้าอก
50 – 70	จังหวะการเต้นของหัวใจผิดปกติ ชัก หมดสติ
มากกว่า 70	ผู้ป่วยอาจเสียชีวิตได้

ที่มา : ธิติมา และคณะ (2554)



ภาพที่ 2.5 ลักษณะสีของเลือดเมื่อมีปริมาณ Methemoglobin ในร่างกายต่าง ๆ กัน

- 1 และ 2 คือ มีปริมาณ Methemoglobin ในร่างกาย 70%
- 3 คือ มีปริมาณ Methemoglobin ในร่างกาย 20%
- 4 คือ มีปริมาณ Methemoglobin ในร่างกายในระดับปกติ

ที่มา : ธิติมา และคณะ (2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7.2 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรทและไนโตรท์

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทและไนโตรท์มีหลายวิธี ได้แก่

2.7.2.1 Spectrophotometry เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สารโดยใช้หลักการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิล ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190 – 1,000 nm ของสารเคมีนั้น ได้แก่ สารอินทรีย์ (Organic compound) สารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) หรือ สารอนินทรีย์ (Inorganic compound) โดยนำสารตัวอย่างใส่ในเซลล์ควอร์ตซ์ (Quart) แล้ววางในบริเวณใกล้แหล่งกำเนิดแสง สารตัวอย่างจะดูดกลืนรังสีหรือแสงบางส่วนไว้ แสงที่ไม่ดูดกลืนจะผ่านออกมายังเครื่องวัดแสง (Photomultiplier tube) เครื่องวัดแสงจะทำการวัดปริมาณแสงที่ออกมา โดยการหักล้างกับปริมาณของแสงก่อนดูดกลืน จากนั้นจะทำการประมวลผลเป็น Curve หรือ สเปกตรัมซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และค่าความยาวคลื่น (ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์, 2557)

พัชราภรณ์ และคณะ (2552) รายงานการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทในผักคะน้าและผักกาดหอมด้วยเทคนิค Spectrophotometry ด้วยวิธี Brucine method (AOAC, 2000) และวิธี Salicylic (Cataldo และคณะ, 1975) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 nm เมื่อเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธีพบว่าสามารถใช้วิเคราะห์ปริมาณไนเตรทในตัวอย่างพืชได้โดยไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ แต่วิธี Salicylic อาจไม่เหมาะสมสำหรับใช้วิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทใน ตัวอย่างพืชที่มีปริมาณไนเตรทน้อย

2.7.2.2 High Performance Liquid Chromatography (HPLC) มีหลักการแยกสารคือของเหลวความดันสูงจะสร้างแรงพา (Impelling force) ดันสารต่าง ๆ ในสารตัวอย่างผ่านไบนตัวกลางที่ไม่เคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ได้เล็กน้อย เรียกว่า เฟสนิ่ง (Stationary phase) ซึ่งเฟสนิ่งจะสร้าง

แรงหน่วง (Retention force) ต่อสารชนิดต่าง ๆ ซึ่งจะแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับ ขนาด รูปร่าง ประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ความจำเพาะ การดูดซับ การละลาย ดังนั้นความแตกต่างกันของแรงหน่วง จึงทำให้โมเลกุลของสารแต่ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารที่ผู้ศึกษาได้ นำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ละชนิดเคลื่อนที่ออกมาจากคอลัมน์ที่บรรจุเฟสหนึ่งในเวลาหน่วง (Retention time) ที่แตกต่างกัน (ชูชาติ, ม.ป.ป.)

Sarah และคณะ (2005) ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในอาหารสำหรับเด็กทารกที่มีส่วนประกอบของผักและผลไม้ด้วยเทคนิค Ion chromatography พบว่า มีค่าเฉลี่ย % Recovery ของไนเตรทระหว่าง 87 – 104% และมีค่าเฉลี่ย % Recovery ของไนไตรท์ระหว่าง 91 – 104% ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์การยอมรับ และพบว่าปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ของอาหารสำหรับเด็กทารกมีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์กำหนด

แต่เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ดังกล่าวเป็นวิธีวิเคราะห์ที่มีการใช้สารเคมีที่มีอันตรายและมีราคาแพง ใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์นาน รวมทั้งเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ต้องทำลายตัวอย่าง ดังนั้นเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดซึ่งเป็นเทคนิคการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย ใช้งานง่าย รวดเร็ว แม่นยำ เชื่อถือได้ สามารถตรวจสอบได้ในสายการผลิต ไม่ต้องการใช้สารเคมีหรือใช้น้อย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถวัดองค์ประกอบหรือสมบัติต่าง ๆ ของผลผลิตทางการเกษตรและอาหาร ในเชิงปริมาณได้ง่ายขึ้นและเป็นวิธีไม่ทำลายตัวอย่าง จึงเป็นเทคนิควิเคราะห์อีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจ (ปานมนัส, 2556)

2.8 คะน้า

กะน้ามีชื่อสามัญว่า Chinese kale มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica oleracea* L. var *alboglabra* คะน้าจัดอยู่ในกลุ่มผักใบเขียวที่มีคุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุด (ตารางที่ 2.5) จากการศึกษาในประชากรจำนวนมาก พบว่าการรับประทานอาหารที่มีผักใบเขียว เช่น คะน้า เป็นประจำจะลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มะเร็งลำไส้ใหญ่ ปาก กระเพาะอาหาร ปอด และเต้านม นอกจากนี้คะน้ายังมีแคลเซียมชนิดที่ถูกดูด

ซึมในร่างกายได้ดี อยู่สูงมาก ต่างจากแคลเซียมในปวยเล้งและนมวัวที่เป็นสารประกอบออกซาเลต ซึ่งที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ยากต่อการดูดซึมเข้าร่างกาย (พงษ์ศักดิ์, 2547)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.5 คุณค่าทางโภชนาการต่อน้ำหนักสด 100 กรัม ของคะน้า

สารอาหาร	ปริมาณ
ไขมัน (กรัม)	0.45
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	6.8
ไฟเบอร์ (กรัม)	1.2
โปรตีน (กรัม)	2.85
แคลเซียม (กรัม)	237.5
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	58
เหล็ก (มิลลิกรัม)	2.0
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.10
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.13
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	93
วิตามินอี (มิลลิกรัม)	24
เบต้าแคโรทีน (RE)*	186.92

หมายเหตุ : * คือ RE หมายถึง Retinal Equivalent

ที่มา : ยุวดีและคณะ (2541); ระพีพรรณ (2544)

2.9 ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของผัก

คุณภาพของผักซึ่งรวมถึงคุณค่าทางอาหารหลังการเก็บเกี่ยวนั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับพันธุกรรมแล้วยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในระหว่างการปลูก ได้แก่ อุณหภูมิ แสง และธาตุอาหาร (Beverly และคณะ, 1993; Salunkhe และคณะ, 1991)

2.9.1 แสง เป็นปัจจัยหลักในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช จึงส่งผลต่อการเจริญเติบโต

และสารอาหารของผักโดยปกติการสะสมวิตามินซีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแสงที่เพิ่มขึ้น (Weston และ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Brath, 1997) เพราะการเพิ่มแสงเป็นการส่งเสริมการสังเคราะห์แสงจึงทำให้มีการสะสมน้ำตาลเพิ่มขึ้น (Schreiner และคณะ, 2002) และพืชจะนำน้ำตาลที่ได้จากการสังเคราะห์แสงมาสังเคราะห์วิตามินซี (Lee และ Kader, 2000) ดังนั้นในสภาพที่มีความเข้มแสงต่ำส่งผลให้มีวิตามินซีในผักและผลไม้ต่ำ (Nagy และ Wardowski, 1988; Shewfelt, 1990)

2.9.2 อุณหภูมิ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อกระบวนการต่าง ๆ ของสรีรวิทยาของพืช เช่น การสังเคราะห์แสงและการหายใจ ส่งผลให้ผักที่ได้รับอุณหภูมิสูงระหว่างการเจริญเติบโตจะเก็บเกี่ยวได้เร็วและยังมีผลต่อมวลชีวภาพของพืช (สัมฤทธิ์, 2544) รสสุคนธ์ (2547) รายงานว่าคะน้าที่ปลูกในช่วงฤดูร้อนมีปริมาณไนเตรทสะสมสูงกว่าคะน้าที่ปลูกในฤดูฝนและฤดูหนาว สอดคล้องกับสุภาพร (2547) ที่รายงานว่าต้นคะน้าที่ปลูกในฤดูร้อนมีธาตุอาหารสะสมมากที่สุด รองลงมา คือ คะน้าที่ปลูกในฤดูหนาว และฤดูฝน ตามลำดับ

2.9.3 ธาตุอาหาร มีความสำคัญโดยตรงต่อพืช เพราะพืชจำเป็นต้องนำธาตุอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโตและสังเคราะห์สารอาหารต่าง ๆ ธาตุอาหารที่จัดเป็นธาตุหลักและมีอิทธิพลมากต่อองค์ประกอบทางเคมีในผัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น

Sorenson (1984) และ Muller และ Hippe (1987) รายงานว่าปริมาณวิตามินซีในใบของกะหล่ำดอก ผักสลัด และปวยเล้งแปรผกผันกับปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น

Mozafar (1996) รายงานว่าการลดปริมาณไนโตรเจนก่อนเก็บเกี่ยวจะเพิ่มการสะสมปริมาณวิตามินซีในผักสลัด สอดคล้องกับนนท์ (2549) ที่รายงานว่า การงดการให้สารละลายธาตุอาหารก่อนการเก็บเกี่ยว 1- 2 วัน เพื่อลดความเข้มข้นของอนุมูลไนเตรท (NO_3^-) ทำให้ผักบุงมีวิตามินซีเพิ่มขึ้น

Babik และคณะ (1996) รายงานว่าการเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนจาก 100 เพิ่มขึ้นเป็น 200 กิโลกรัม

ต่อเฮกตาร์ในการปลูก Brussels sprouts จะทำให้น้ำหนักแห้ง วิตามินซี และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าเพิ่มขึ้น แต่ถ้าให้ระดับไนโตรเจนมากกว่า 200 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์จะทำให้ปริมาณวิตามินซี และ

ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลง ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Babik และ Elkner (2002) ที่รายงานว่าการเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนจาก 100 – 400 กิโลกรัมต่อเฮคตาร์ให้กับบล็อกโคลีพบว่าทำให้ไนโตรเจนมากกว่า 200 กิโลกรัมต่อเฮคตาร์ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลง

Xiao-feng และคณะ (2007) รายงานว่าการปลูกผักกาดหอมที่ให้โพแทสเซียมมากกว่า 4 มิลลิโมลต่อลิตรจะทำให้น้ำหนักแห้งลดลง และการเพิ่มระดับความเข้มข้นของโพแทสเซียมทำให้ปริมาณไนเตรตลดลงในขณะที่ปริมาณวิตามินซีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

Chewya (1984) และ Elkner และ Kaniszewski (1995) รายงานว่าการให้ปริมาณไนโตรเจนสูงทำให้ปริมาณเส้นใยในคะน้าและกะหล่ำปลีเพิ่มขึ้น แต่บางรายงานกลับพบว่าการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนกลับทำให้ปริมาณเส้นใยลดลง (Sorenson, 1984)

2.10 การปลูกพืชไร้ดิน (Soiless Culture)

การปลูกพืชไร้ดิน หมายถึง วิธีการปลูกพืชโดยไม่ต้องใช้ดิน แต่จะใช้วัสดุอื่น ๆ แทน เช่น การปลูกพืชให้รากลอยอยู่ในอากาศ การปลูกพืชในสารละลาย หรือการปลูกพืชในวัสดุปลูก เช่น ทราย แกลบ และวัสดุอื่น ๆ โดยให้สารละลายธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตแก่รากโดยตรงในปริมาณที่เหมาะสมทดแทนธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการปลูกในส่วนที่เกี่ยวข้องกับดิน เช่น ดินที่มีคุณภาพต่ำ มีความเค็มสูงหรือมีโรคระบาด อีกทั้งการปลูกพืชไร้ดินนี้ยังสามารถควบคุมคุณภาพและปริมาณของผลผลิตให้ได้ตามต้องการ

2.11 ความแตกต่างระหว่างการปลูกพืชบนดินตามธรรมชาติกับปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์

ปกติแล้วพืชจะเจริญเติบโตได้ดีนั้นต้องมีปัจจัยสำหรับเจริญเติบโตที่เหมาะสม คือ แสง น้ำ ธาตุอาหาร อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง (pH) ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ การปลูกพืชบนดิน แม้จะมีธาตุอาหารและอากาศอันเป็นปัจจัยที่พืชต้องการแต่ก็มักพบข้อเสีย เช่น ดินมีคุณภาพที่ไม่

แน่นอนแตกต่างกันไปตามสภาพ เช่น โครงสร้างของดิน ปริมาณธาตุอาหารหรือความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ค่าความเป็นกรดต่างไม่เหมาะสม ปัญหาเหล่านี้ทำให้ได้ผลผลิตและคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ พืชจะได้รับสารละลายที่มีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันทีเพราะ มีการปรับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) และความเป็นกรดต่าง (pH) ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการไปใช้ประโยชน์ของพืชอยู่ตลอดเวลาพืชที่ปลูกอาจมีสารอาหารบางอย่างสะสมจนถึงขีดที่อาจจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคสหภาพยุโรป (European Union, EU) ได้ตั้งข้อบังคับของปริมาณสูงสุดของไนเตรท (Nitrate) ที่สะสมไว้ ณ พืชผัก ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปริมาณของไนเตรทในพืชผักตามข้อบังคับของสหภาพยุโรป (European Union, EU) ปี พ.ศ. 2536

พันธุ์พืช	ปริมาณไนเตรท (ม.ก. ไนเตรท/ก.ก. น้ำหนักสด)	
	พฤษภาคม-ตุลาคม	พฤศจิกายน-เมษายน
1. ผักกาดหอม (Lambs lettuce) (<i>Valerianella locusta</i> L.) (<i>Valerianella olitola</i> Poit)	2,500 (ใหม่)	3,000
2. ผักกาดฝอยก้านแข็ง (Endive) (<i>Cichorium endivia</i> L.)	2,500	3,000
3. หัวผักกาดแดง (Radish and small Radish) (<i>Raphanus sativus</i> L.)		3,000
4. หัวบีท (Beetroot) (<i>Beta vulgaris</i> L. var. <i>esculenta</i>)	3,000 (เดิม 3,500)	
5. คื่นฉ่ายขาวและเขียว (White celery and green celery) (<i>Apium graveolens</i> L.)	4,000	(คื่นฉ่ายเขียวลดลงจาก 5,000)
6. มันฝรั่ง (Potatoes) (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	2,000 (ใหม่)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ: ราเชนทร์ และคณะ (2548) ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1.1 ผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ ปลูกโดยฝ่ายเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์

และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 35 หมู่ 3 ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี

3.1.1.2 เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer (รุ่น UV-1601 SHIMADZU, Japan)

3.1.1.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง (Pioneer)

3.1.1.4 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (MEMMERT)

3.1.1.5 อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 Potassiumnitrate (AR grade ยี่ห้อ BDH)

3.1.2.2 Brucine sulfate (AR grade ยี่ห้อ Ajax findchem)

3.1.2.3 Sulfanilic acid (AR grade ยี่ห้อ BDH)

3.1.2.4 Hydrochloric acid (AR grade ยี่ห้อ Merck)

3.1.2.5 Sulfuric acid (AR grade ยี่ห้อ Merck)

3.1.2.6 Sodium chloride (AR grade ยี่ห้อ Merck)

3.1.3 การวัดสเปกตรัม

3.1.3.1 เครื่อง Near infrared spectroscopy (NIRs) Q-Interline Quant FT-NIR

3.1.3.2 โปรแกรม Unscrambler® version 9.7 (Camo, Oslo, Norway)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การทดลองเพื่อทำนายปริมาณไนเตรทไนโบในผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์

3.2.1.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างโดยการซื้อผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ที่มีสายพันธุ์เดียวกัน มีขนาด รูปร่าง สี และน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน โดยคัดเลือกผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ที่อยู่ในช่วงที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ ไม่แก่หรืออ่อนจนเกินไป ผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ที่เก็บเกี่ยวได้ให้ใส่ในภาชนะกล่องโฟม ทำการขนส่งโดยทางรถยนต์มายังห้องปฏิบัติการเคมี แผนกเครื่องมือวิเคราะห์ บริษัทไซแอนติฟิค โพรโมชัน จำกัด นำผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์เก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 วัน ก่อนนำมาทดลอง

จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดมาทำการปรับอุณหภูมิก่อนการวัดด้วยการเก็บไว้ในห้องปรับอากาศที่รักษาอุณหภูมิห้องที่ระดับ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง ก่อนทำการวัดด้วยเครื่อง FT-NIR spectrophotometer เพื่อป้องกันผลกระทบอันเนื่องมาจากอุณหภูมิระหว่างการวัด

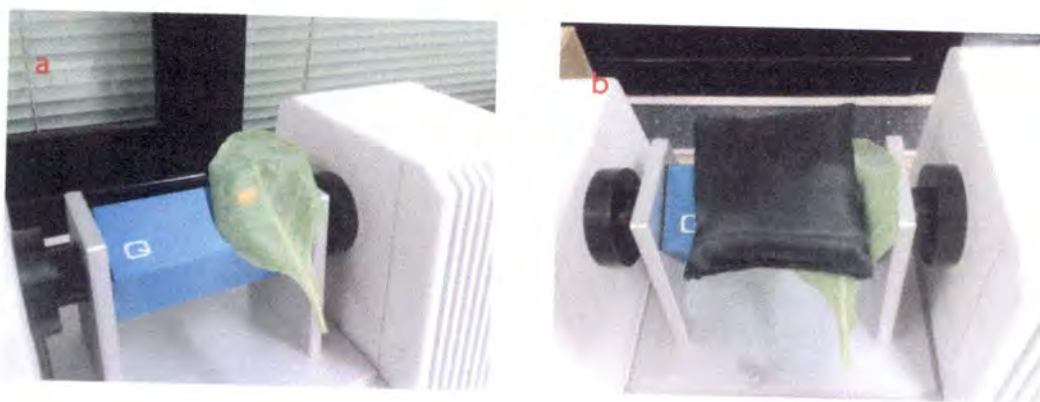
3.2.1.2 การวัดด้วย FT-NIR spectrophotometer

นำตัวอย่างผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์แต่ละต้นมาทำการวัดการดูดกลืนพลังงานด้วยเครื่อง NIR Spectrophotometer (Q-Interline Quant FT-NIR) reflectance mode ในช่วงจำนวนคลื่นแสง $10000 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ (1000-2500 nm) โดยใช้การวัดแบบต่อเนื่อง (Moving) ที่ตำแหน่งใบของผักคะน้าทั้งหมด 4 ตำแหน่ง (ภาพที่ 3.1 และ 3.2) หลังจากนั้นตัดแยกส่วนลำต้น ใบและรากออกจากกันซึ่งน้ำหนักสดส่วนใบ ส่วนลำต้นและรากทิ้งไป จากนั้นหั่นตัวอย่างให้ละเอียดแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันดีในถุงพลาสติก สุ่มตัวอย่างผักคะน้าประมาณ 30 กรัมเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ที่มีอยู่ (Shin-shou Chou และคณะ, 2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 3.1 แสดงการวัดสเปกตรัมผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ด้วยเครื่อง NIR spectrophotometer

- (a) การเลือกตำแหน่งก่อนทำการวัดวัดสเปกตรัมผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์
 (b) ระหว่างการวัดสเปกตรัมผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์



ภาพที่ 3.2 แสดงตำแหน่งการวัดสเปกตรัมผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ด้วยเครื่อง FT-NIR spectrophotometer

3.2.1.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

3.2.1.3.1 กำหนดตัวแปรตามและตัวแปรอิสระโดยให้ตัวแปรตาม คือ ปริมาณ

ไนเตรท ส่วนตัวแปรอิสระ คือ ข้อมูลสเปกตรัม

3.2.1.3.2 แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มโดยกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มสำหรับการ

สร้างสมการ (Calibration set) และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มสำหรับการทดสอบสมการ (Prediction set)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยแต่ละกลุ่มมีการกระจายตัวของข้อมูลเท่า ๆ กันโดยแบ่งเป็นกลุ่ม Calibration จำนวน 70 เปอร์เซ็นต์ และแบ่งเป็นกลุ่ม Prediction จำนวน 30 เปอร์เซ็นต์

3.2.1.3.3 นำข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยที่ได้ของแต่ละตัวอย่างมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยการทำ Pretreatment ข้อมูลสเปกตรัม ด้วยวิธีการต่าง ๆ และสร้างสมการในการทำนายโดยใช้ วิธี Partial least squares regression (PLSR) เลือกสมการที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด จากการพิจารณา ที่ ค่า R (Coefficient of correlation) ให้มีค่าสูงสุด, RMSECV ต้องมีค่าต่ำที่สุดและพิจารณาจาก Factor ที่มีค่าต่ำสุดด้วย

3.2.1.3.4 จากข้อมูลกลุ่ม Calibration เมื่อได้สมการ Calibration ให้นำ สมการที่ได้ไปใช้ในการทำนายคุณภาพของตัวอย่างในกลุ่ม Prediction set เพื่อดูความแม่นยำของ สมการ โดยใช้โปรแกรม Unscrambler version 9.7

3.2.2 การหา Linearity ของสารมาตรฐานในเตรท

3.2.3.1 เตรียมสารมาตรฐานในเตรทความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 ppm โดยเตรียม จากสารมาตรฐานในเตรทความเข้มข้น 1,000 ppm

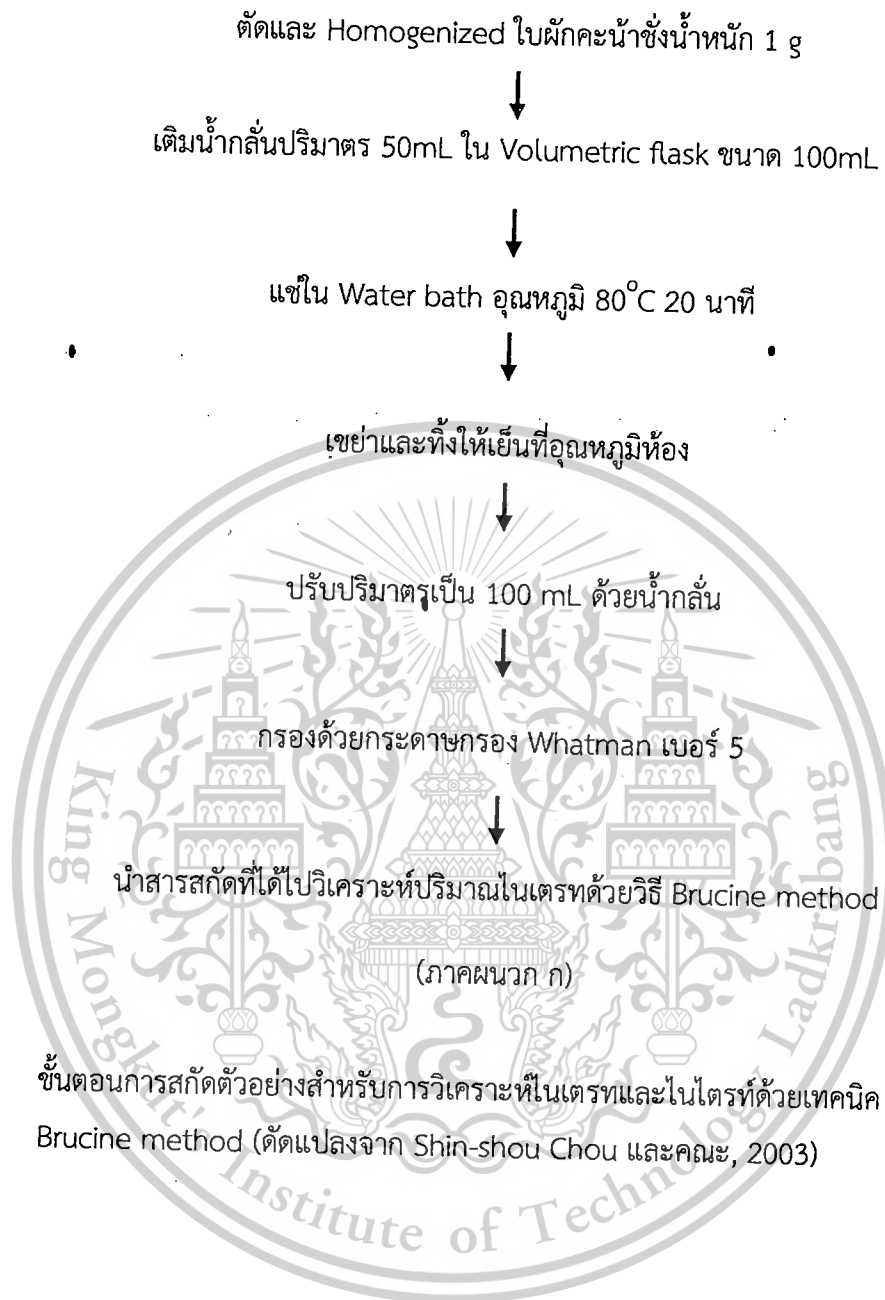
3.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ด้วยเทคนิค Brucine method (AOAC,2000)

วิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทในตัวอย่างใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ โดยสกัดสารละลายจาก ตัวอย่างด้วยวิธีของ Shin-shou Chou และคณะ (2003) ดังแสดงในภาพที่ 3.3 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการสกัดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ไนเตรทและไนไตรท์ด้วยเทคนิค Brucine method (ดัดแปลงจาก Shin-shou Chou และคณะ, 2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

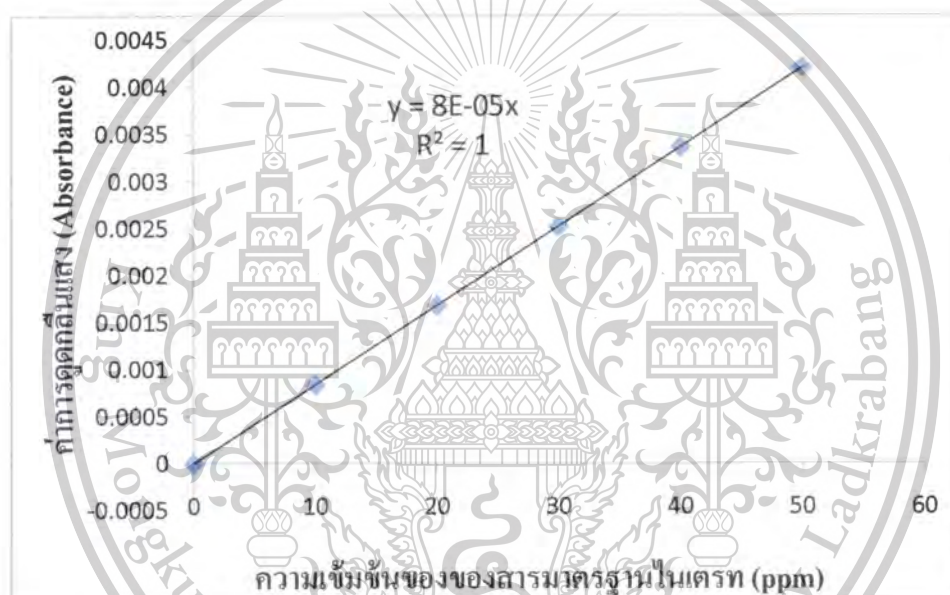
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ด้วยเทคนิค Brucine method (AOAC, 2000)

4.1.1 การหา Linearity ของสารมาตรฐานไนเตรท



ภาพที่ 4.1 Linearity ของสารมาตรฐานไนเตรทความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 ppm

จากการวิเคราะห์และคำนวณค่า Linearity ของสารมาตรฐานไนเตรทโดยที่ระดับความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 ppm ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ นำค่าการดูดกลืนแสงและค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐานไปสร้างกราฟมาตรฐาน หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) เพื่อศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity) พบว่าค่า Linearity ของสารมาตรฐานไนเตรท

ได้ค่า $R^2 = 1$ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ($R^2 \geq 0.995$) จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความเข้มข้น ของสารมาตรฐานไนเตรทในช่วง ความเข้มข้น 10 - 50 ppm มีความเหมาะสมในการใช้เป็นกราฟมาตรฐานดังแสดงในภาพที่ 4.1

จากผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ที่ปลูกโดยฝ่ายเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ด้วยเทคนิค Brucine method พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 719–1,367.60 ppm และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 995.7ppm ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ ข.1) แสดงว่าตัวอย่างมีความปลอดภัยต่อการบริโภคเนื่องจากปริมาณไนเตรทไม่เกินเกณฑ์กำหนด (ค่า ADI ของไนเตรทเท่ากับ 3.7 mg/kg b.w./day (Dich และคณะ 1996) เนื่องจากการเก็บเกี่ยวผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ได้มีการลดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารและให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารก่อนการเก็บเกี่ยวส่งผลทำให้ปริมาณไนเตรทและไนโตรทในผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์มีปริมาณลดลง และมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

นฤมล และคณะ (2554) ศึกษาการตรวจวัดปริมาณไนเตรทในผักกาดหอมพันธุ์ Green oak ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์ พบว่าการให้น้ำแทนสารละลายธาตุอาหารก่อนการเก็บเกี่ยว 2 – 3 วัน จะทำให้ปริมาณไนเตรทลดลงประมาณ 60 – 65% ของค่าที่ได้จากต้นที่เก็บเกี่ยวจากสารละลายธาตุอาหารทันที สอดคล้องกับงานวิจัยของดิเรก (2547) ซึ่งได้รายงานไว้ถึงการจัดการการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเพื่อลดปริมาณไนเตรทตกค้างในพืช สามารถทำได้โดยลดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ปลูกในสัปดาห์สุดท้าย และให้น้ำประปาแทนสารละลายธาตุอาหารก่อนการเก็บเกี่ยว 1 – 2 วัน นอกจากนี้ควรให้พืชได้รับแสงอย่างเต็มที่ก่อนการเก็บเกี่ยว 1 สัปดาห์เนื่องจากเอนไซม์ไนเตรรีดักเทส (Nitrate reductase) จะถูกกระตุ้นให้ทำงานด้วยแสงแดด ทำให้ไนเตรทเปลี่ยนเป็นไนโตรทและแอมโมเนียก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นอินทรีย์สารเพื่อสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนและโปรตีนในที่สุด และในสารละลายธาตุอาหารควรมีธาตุโมลิบดีนัม (Molybdenum, Mo) ด้วย เนื่องจากเป็นธาตุที่กระตุ้นในการทำงานของเอนไซม์ไนเตรรีดักเทส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

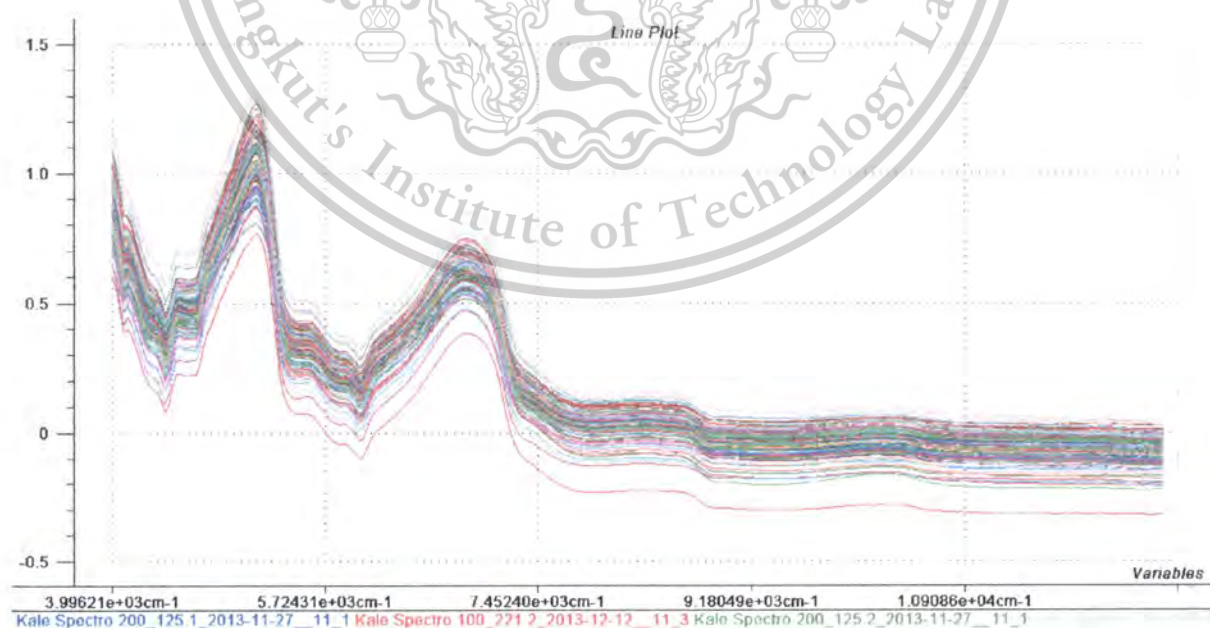
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความเข้มข้นของปริมาณไนเตรทในตัวอย่างใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์จากการวิเคราะห์บางส่วน (ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ)

Sample	ความเข้มข้นของไนเตรท (ppm)	ความเข้มข้นของไนเตรท (%)
1	673.36	0.0673
2	836.16	0.0836
3	1072.87	0.1073
4	1341.17	0.1341
5	1091.79	0.1092
6	939.13	0.0939
7	613.55	0.0614
8	611.57	0.0612
9	1079.57	0.1080
10	1196.80	0.1197

4.2 การสร้างสมการในการทำนายปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์จากข้อมูลสเปกตรัมโดยใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด



ภาพที่ 4.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยแบบ Original spectra ของกลุ่มใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ที่เอกซารันเป็นเอกลักษณ์ซึ่งมีผลต่อการเติบโตเพื่อการรักษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากการวัดไบפקคหน้าไฮโดรโปนิคส์ในทุกชุดการทดลองด้วยเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่นที่ 800–2,500 nm แสดงดังภาพที่ 4.2 โดยแกน Y แสดงค่าดูดกลืนแสง ($\log 1/R$) และแกน X แสดงความยาวคลื่นในหน่วยเซนติเมตร ลักษณะของข้อมูลสเปกตรัมที่ได้มีค่าการดูดกลืนที่สูง (Peak) และครอบคลุมช่วงกว้าง (Board band) ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 1,869 - 2,139 nm และช่วงความยาวคลื่นประมาณ 1,382 - 1,667 nm ซึ่งเป็นช่วงค่าการดูดกลืนที่ซ้อนทับกัน (Overlap) ของน้ำและองค์ประกอบคาร์โบไฮเดรต (First overtone ของหมู่ OH) และองค์ประกอบไนโตรเจน (Second overtone ของหมู่ NH) ในช่วงคลื่น NIRs (วิจัย, 2555)

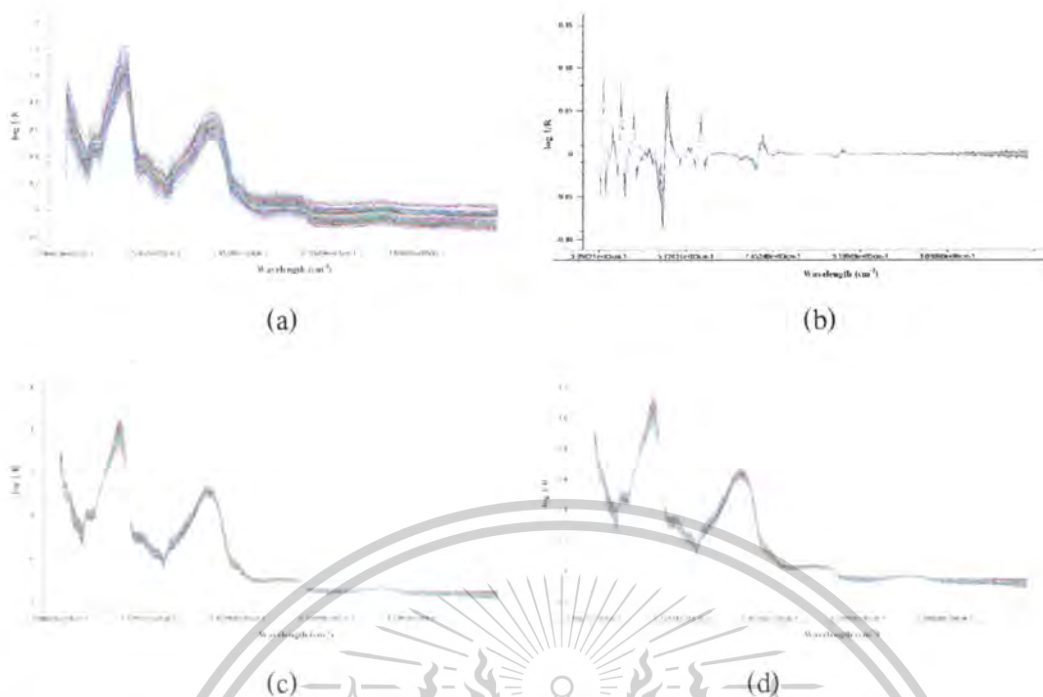
ลักษณะการซ้อนทับกัน (Overlap) ของการดูดกลืนแสงที่ได้ทำให้ข้อมูลสเปกตรัม ไม่สามารถบอกรายละเอียดข้อมูลสมบัติทางเคมีของไบפקคหน้าไฮโดรโปนิคส์ได้ ดังนั้นการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัม (Pretreatment) ก่อนนำไปหาความสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ (Reference value) จึงมีความสำคัญ

สมการทำนายปริมาณไนเตรทในไบפקคหน้าไฮโดรโปนิคส์สร้างจากสเปกตรัมของไบפקคหน้าไฮโดรโปนิคส์จำนวนหลายสเปกตรัมซึ่งมีความแตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อลดความคลาดเคลื่อน (Error) ของสมการทำนายจึงจำเป็นต้องแยกข้อมูลที่มีความแตกต่างจากข้อมูลส่วนใหญ่ออกเสียก่อน (Outliers) จากนั้นจึงนำข้อมูลสเปกตรัมที่เหลืออยู่มาแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ข้อมูลสเปกตรัมที่ใช้ในการสร้างสมการ (Calibration set) และข้อมูลที่ใช้ในการทวนสอบสมการ (Validation set) ในอัตราส่วน 3:1 ตามลำดับ ข้อมูลสเปกตรัมจะถูกนำมาปรับแต่งด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ได้แก่ Savitzky – Golay Smoothing, Savitzky – Golay 2nd derivative, SNV และ MSC ดังแสดงในภาพที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.3 แสดงลักษณะของข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยเทคนิคต่าง ๆ

(a) Savitzky – Golay Smoothing

(b) Savitzky – Golay 2nd derivative

(c) SNV

(d) MSC

การสร้างสมการในการทำนายปริมาณไนเตรทไนไบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ ทำโดยการเก็บข้อมูลใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ จำนวน 209 ตัวอย่าง นำมาวิเคราะห์โดยแบ่งใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการโมเดล (Calibration set) จำนวน 140 ตัวอย่าง และกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ (Prediction set) จำนวน 69 ตัวอย่าง วิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง NIRS ในช่วงความยาวคลื่น 800 – 2,500 นาโนเมตร แล้ววิเคราะห์หาปริมาณไนเตรท หลังจากนั้นสร้างสมการในการทำนายไนเตรทโดยคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัม NIRs กับปริมาณไนเตรทโดยใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Partial least squares regression (PLSR) และเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ Unscamper (version 9.1.7) CAMO AS ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Trondheim, Norway) โดยกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการโมเดลจะต้องมีค่าปริมาณไนเตรทสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ซึ่งตารางที่ 4.2 จะแสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณไนเตรท

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์

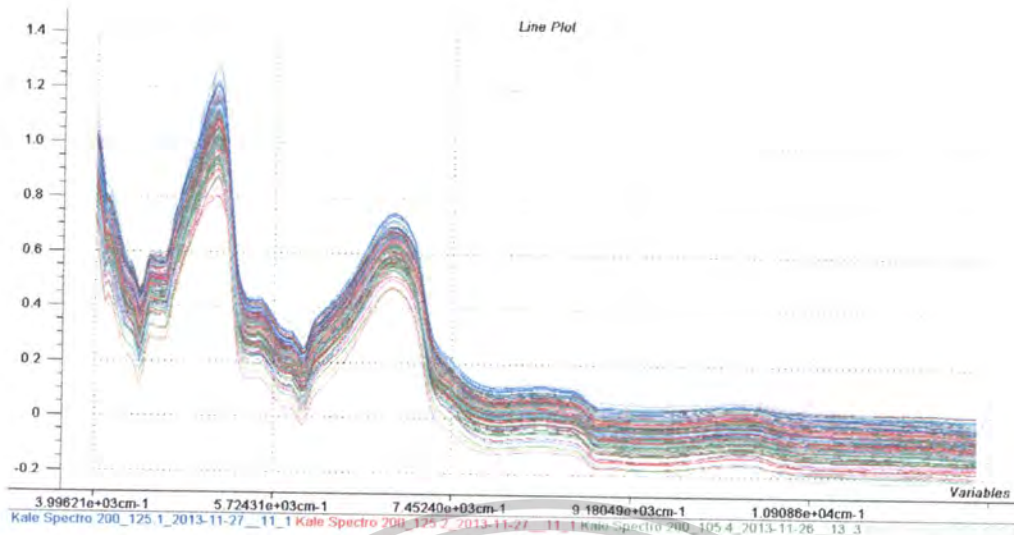
Items	The calibration set	The prediction set
number of sample	140	69
unit	ppm	ppm
range	719.16 – 1,367.64	745.41 – 1,340.12
mean	993.68	993.26
standard deviation (SD)	137.98	133.46
wavelength	800 – 2,500 nm	800 – 2,500 nm

จากภาพที่ 4.4 เป็นภาพการแสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยแบบ Original spectra ช่วงความยาวคลื่น 800 – 2,500 นาโนเมตร เมื่อทำการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.3 และพบว่าข้อมูลสเปกตรัมดั้งเดิม (Original spectra) และการแปลงข้อมูลสเปกตรัมดั้งเดิม (Original spectra) ด้วยวิธี Center and scale (Mean center) ให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการได้ดีที่สุดโดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายไม่แตกต่างกัน และภาพที่ 4.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยด้วยวิธี Center and scale (Mean center) ของกลุ่มใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ที่ใช้ในการทำนายปริมาณไนเตรท

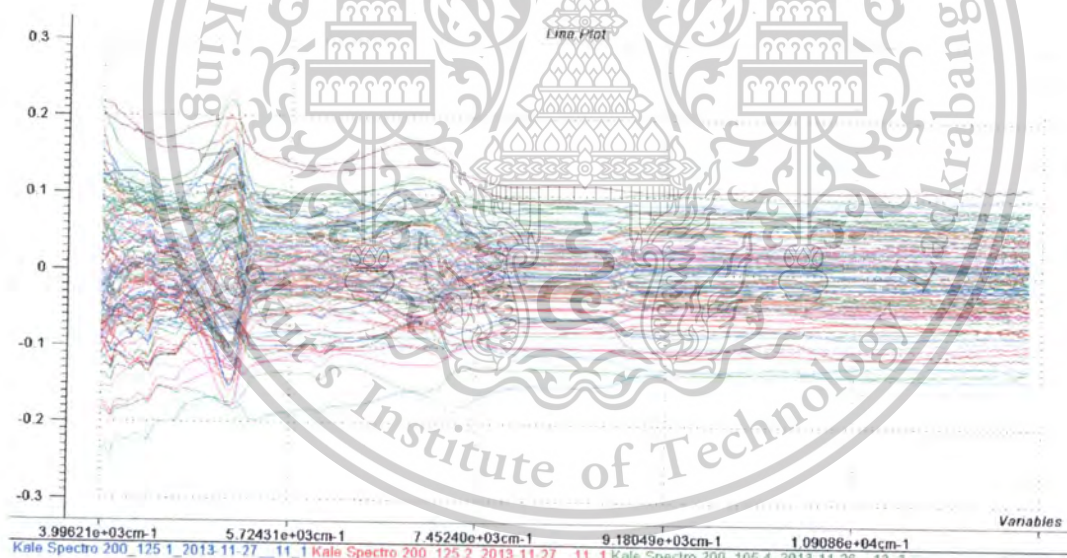
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยแบบ Original spectra ของกลุ่มโมเลกุลน้ำไฮโดรโปนิคส์ที่ใช้ในการทำนายปริมาณไนเตรท



ภาพที่ 4.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยด้วยวิธี Center and scale (Mean center) ของกลุ่มโมเลกุลน้ำ ไฮโดรโปนิคส์ที่ใช้ในการทำนายปริมาณไนเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.3 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิค

ทางคณิตศาสตร์ต่าง

Spectral Pretreatments	N	F	R	RMSECV (ppm)	SEP	Bias
Original	140	3	0.9544	41.0416	41.1889	-9.591×10^{-6}
Smoothing	140	3	0.9423	46.4209	46.5476	-1.439×10^{-5}
1 st derivative	140	7	0.9296	50.6806	50.8626	-2.572×10^{-5}
2 nd derivatives	140	10	0.9033	58.9793	59.1901	-1.395×10^{-5}
MSC (full)	140	3	0.8866	46.2926	46.4588	-1.192×10^{-5}
MSC (Common offset)	140	3	0.9357	48.5120	48.6862	-1.657×10^{-5}
MSC (Common amplification)	140	3	0.9504	42.7703	42.9239	-1.744×10^{-5}
Mean	140	3	0.9544	41.0416	41.189	-1.221×10^{-5}
SNV	140	3	0.9416	46.3111	46.4774	-1.613×10^{-5}
Smoothing + 1 st derivative	140	4	0.9145	55.6107	55.1804	-1.439×10^{-5}
Smoothing + 2 nd derivative	140	10	0.9256	51.3764	51.5608	-2.223×10^{-5}
MSC (full) + Smoothing + 1 st derivative	140	4	0.9142	55.7277	55.9678	-2.093×10^{-5}
MSC (Common offset) + Smoothing + 1 st derivative	140	4	0.9145	55.6153	55.815	-1.613×10^{-5}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางสถาบันฯ
 ไม่ควรแก้ไขหรือตัดทอนเนื้อหา และต้องอ้างอิงชื่อของเอกสารฉบับนี้ในการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

Spectral Pretreatments	N	F	R	RMSECV (ppm)	SEP	Bias
MSC (Common amplification) + Smoothing + 1 st derivative	140	4	0.9142	55.7241	55.9241	-1.70 × 10 ⁻⁵
MSC (full) + Smoothing + 2 nd derivative	140	8	0.9047	58.5724	58.7827	-1.70 × 10 ⁻⁵
MSC (Common offset) + Smoothing + 2 nd derivative	140	10	0.9276	51.3734	51.5579	-2.485 × 10 ⁻⁵
MSC (Common amplification) + Smoothing + 2 nd derivative	140	8	0.9047	58.5680	58.7783	-1.962 × 10 ⁻⁵
mean + Smoothing + 1 st derivative	140	5	0.9241	52.5303	52.7189	-1.744 × 10 ⁻⁵
mean + Smoothing + 2 nd derivative	140	8	0.9211	53.5407	53.7329	-1.700 × 10 ⁻⁵
SNV+ Smoothing + 1 st derivative	140	5	0.9237	50.4354	50.6165	-9.591 × 10 ⁻⁶
SNV+ Smoothing + 2 nd derivative	140	10	0.9289	51.1956	51.3794	-1.264 × 10 ⁻⁵

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนของนักศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หลังจากการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ แล้วพบว่าการสร้างสมการด้วยวิธี Center and scale (Mean center) ใน Cross-validation ให้ผลดีที่สุดไม่แตกต่างจากข้อมูลสเปกตรัมดั้งเดิม (Original spectra) จึงนำข้อมูลสเปกตรัมดั้งเดิม (Original spectra) มาสร้างสมการการทำนายไนเตรทโดยใช้วิธี Partial least squares regression (PLSR) ซึ่งได้ผลดังนี้ คือ $R = 0.9544$ และ $RMSEC = 41.0416$ ppm และนำโมเดลสมการที่สร้างได้ไปทดสอบในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ พบว่าได้ค่า $R = 0.9421$ และ $RMSEP = 46.6146$ ppm ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.4 ส่วนภาพที่ 4.3 (a) แสดงผลการทำนายปริมาณไนเตรทในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ และภาพที่ 4.6 (b) แสดงผลการทำนายปริมาณไนเตรทในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

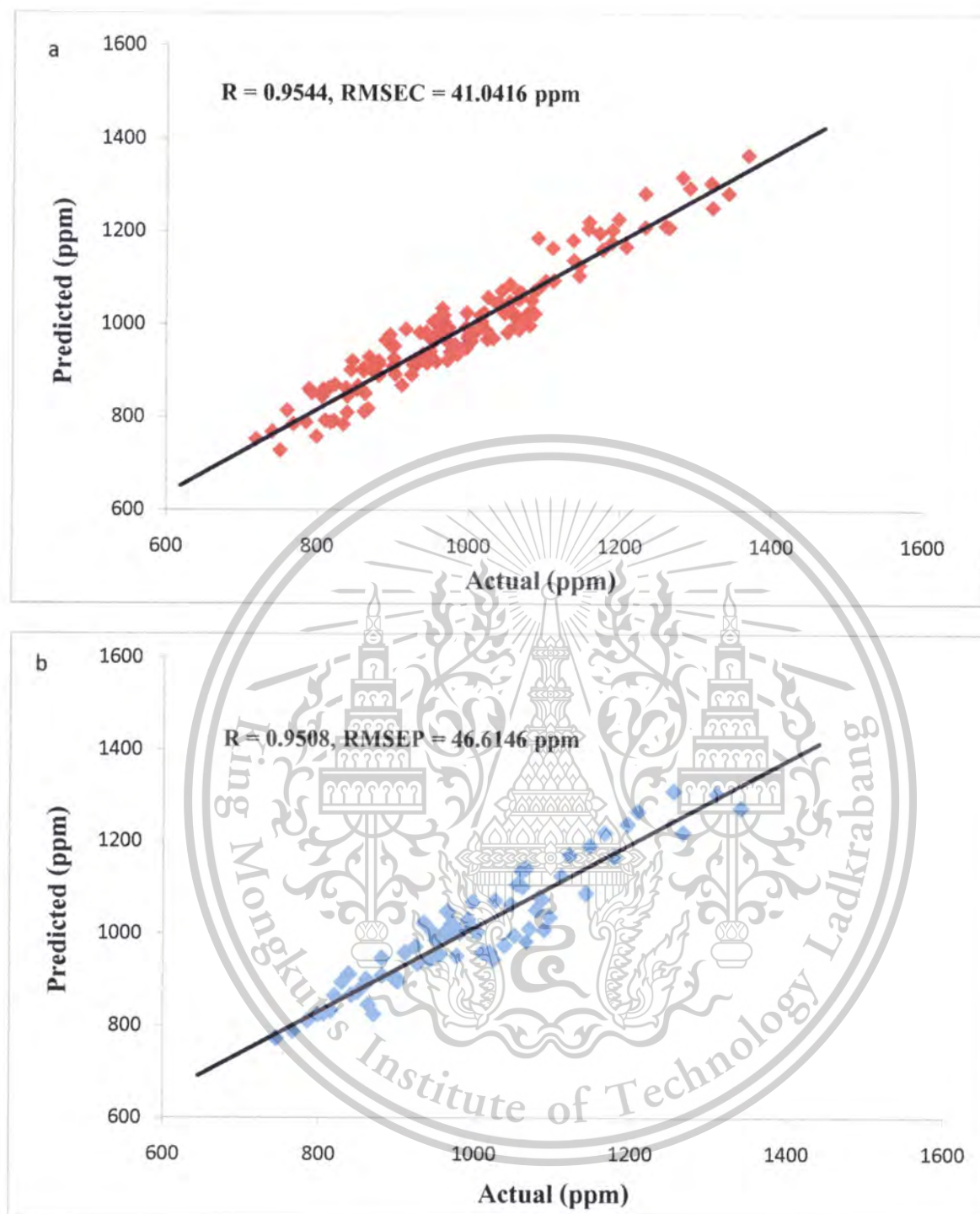
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณไนเตรท

Model	Pretreatment	F	N	R	RMSEC (ppm)	RMSEP (ppm)	SEP	Bias
Calibration	Original	3	140	0.9544	41.0416	-	41.1889	-9.591×10^{-6}
	set							
Prediction	Original	1	69	0.9508	-	46.6146	44.8346	13.8404
	set							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.6 แสดงผลการทำนายปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์

a กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ b กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทของใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ด้วยเทคนิค Brucine method พบว่าเมื่อคำนวณค่า Linearity ของสารมาตรฐานไนเตรทโดยที่ระดับความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 ppm พบว่าค่า Linearity ของสารมาตรฐานไนเตรทได้ค่า $R^2 = 1$ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ($R^2 \geq 0.995$) และพบว่าการประยุกต์ใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด ในช่วงความยาวคลื่น 800–2,500 nm ในการตรวจสอบและทำนายปริมาณไนเตรทของใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์สามารถทำได้ โดยคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัม NIRS และปริมาณไนเตรทโดยใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Partial least squares regression (PLSR) และเปรียบเทียบแบบ Cross - validation ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ Unscrambler เมื่อนำข้อมูลสเปกตรัมดั้งเดิมไปทำการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ พบว่าการสร้างสมการด้วยวิธี Center and scale (Mean center) ใน Cross -validation ให้ผลดีที่สุดไม่แตกต่างจากข้อมูลสเปกตรัมดั้งเดิม จึงนำข้อมูลสเปกตรัมดั้งเดิมมาสร้างสมการการทำนายไนเตรทโดยใช้วิธี PLSR ซึ่งได้ผลดังนี้ คือ $R = 0.9544$ และ $RMSEC = 41.0416$ ppm และเมื่อนำโมเดลสมการที่สร้างได้ไปทดสอบในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ พบว่าได้ค่า $R = 0.9421$ และ $RMSEP = 46.6146$ ppm จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการทำนายค่าปริมาณไนเตรทของใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์แบบไม่ทำลายได้ อย่างไรก็ตามเพื่อความถูกต้องของสมการควรมีการศึกษาตัวอย่างเพิ่มเติม เนื่องจากปริมาณไนเตรทที่พบในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ที่ปลูกโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์มีปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ อาจจำเป็นต้องมีการใช้ตัวอย่างผักคะน้าจาก

เอกสารนี้เผยแพร่เป็นทางการค้ามาใช้ในการตรวจสอบความแม่นยำของสมการอีกครั้ง ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- กิตติ บุญเลิศนิรันดร์. 2554. ผลของการพรางแสงต่อผลผลิตและปริมาณไนโตรเจนตกค้างในผักกาดหอม
 บัตเตอร์เฮดที่ปลูกโดยไม่ใช้ดิน. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชคณะเทคโนโลยีการเกษตร
 และอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ วิทยาเขต
 พระนครศรีอยุธยา.
- จิตตรา ดวงช้าง. 2552. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาน้ำผึ้ง
 ที่อายุการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษาต่างๆโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตร
 สโคปี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- จรรยาพงศ์ เทียมประทีป. 2552. การตรวจสอบความบริสุทธิ์ของส้มโอพันธุ์ขาน้ำผึ้งโดยใช้วิธีแบบไม่
 ทำลายด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
 สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,
 กรุงเทพฯ.
- ฐานความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการท่องเที่ยวจังหวัดฉะเชิงเทรา. 2551. การปลูกพืชไร้ดิน
 (Soilless Culture) ด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์ (Hydroponics). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
 :[http://www.chachoengsao.most.go.th/index.php?option=com_content&task=](http://www.chachoengsao.most.go.th/index.php?option=com_content&task=view&id=250&Itemid=1)
[view&id=250&Itemid=1](http://www.chachoengsao.most.go.th/index.php?option=com_content&task=view&id=250&Itemid=1) (22 กรกฎาคม 2554).
- ดิเรก ทองอร่าม. 2547. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. หลักการการจัดการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิง
 ธุรกิจในประเทศไทย, พิมพ์ครั้งที่ 2, ธรรมรักษ์การพิมพ์, ราชบุรี, 724 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ธิตีมา แสงจันทร์, ไชยพรยุกเซ็นและรพีพรโรจน์แสงเรือง. 2554. ภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำจาก Methemoglobinemia. ภาควิชาเวชศาสตร์ฉุกเฉิน คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาล รามาธิบดี.

ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ อัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ และ วุฒิพงษ์ พิมพีโครต. 2545. การสำรวจเบื้องต้น ปริมาณสารไนเตรทตกค้างในผักกาดหอมปลูกโดยไม่ใช้ดินในฤดูกาลต่างๆ. รายงานการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 40 หน้า. 67-73 .มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

นฤมล วชิรปัทมา, ศิรินทรา น่วมอินทร์, วีรวัฒน์ รอดคุ้ม และ เยาวพา จิระเกียรติกุล. 2554. การวิเคราะห์ไนเตรตในผักไฮโดรโปนิคส์โดย Capillary Electrophoresis. ว.วิทย์. ปีที่19 ฉบับที่ 4 ต.ค.-ธ.ค. 54.

นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์. 2545. หลักพื้นฐานเทคนิค Near Infrared Spectroscopy. การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กรุงเทพฯ:39-66.

นันทินี ทองคงเหย้า. 2549. อิทธิพลของสัดส่วนระหว่างไนเตรทและแอมโมเนียมและระดับความเข้มข้นในสารละลายธาตุอาหารที่มีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักบั้งจีน. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปณิธาน กวางวโรภาส และ วินัย วนานุกูล. ม.ป.ป. Methemoglobinemia. [ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก: <http://www.errama.com/system/spaw2/uploads/files/Methemoglobinemia.pdf> (14 พฤษภาคม 2557).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปาริชาติ เทียนจุมพล, วิชชา สะอาดสุด และ Guy Self. 2553. อิทธิพลของตำแหน่งมะม่วงต่อการ

ประเมินคุณภาพด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. ว. วิทย์. กษ. 41 : 1 (พิเศษ):

409 - 412.

ปานมนัส ศิริสมบุญ. 2556. เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับผลผลิตเกษตรและ

อาหาร.[ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com>

(8 พฤษภาคม 2557).

พัชรารัตน์ บุตรวงษ์ และ เอกชัย ขอบบสุข. 2545. การตรวจสอบคุณภาพเนื้อสัมผัสและรสชาติของ

มะม่วงส่งออกด้วยวิธี NIR Spectroscopy. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา

วิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

พัชรารัตน์ ภูไพบูลย์, ศิริวิทย์ สร้อยกล่อม และ วาสนา บัวงาม. 2552. การวิเคราะห์การสะสมไนเตรท

ในผักสด. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 47: 289-298.

พัลลภ ทองเนียม, ไพลิน ชัยตรี และ สาวิตรี นิลหทัย. 2544. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมังคุด

โดยวิธีการไม่ทำลายด้วยวิธี NIR Spectroscopy. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,

กรุงเทพฯ.

พงษ์ศักดิ์ น้อยพยัคฆ์. 2547. คู่มือดูแลสุขภาพด้วยสุดยอดธัญอาหาร. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

พนมพร ถนอมทรัพย์. 2545. ความปลอดภัย "ภัย" ของผักไร้ดิน (Hydroponics). โลกสิ่งแวดล้อม

มีนาคม-เมษายน 2545.

มนูญ ศิริบุษย์. 2544. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสู่การปฏิบัติในประเทศไทย. คณะวิทยาศาสตร์และ

เทคโนโลยีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตปัตตานี, ปัตตานี. 90 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ยูวดี จอมพิทักษ์, ทรงชัย สิมะโรจน์, พรชัย สิมะโรจน์, ธวัชชัย สิมะโรจน์ และ มยุรี ภิรมย์โสภา.

2541. ผักอาหารมีพลัง. รุ่งแสงการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ระพีพรรณ ใจภักดี. 2544. ผักใบ. สำนักพิมพ์แสงแดดเพื่อเด็ก, กรุงเทพฯ.

รสสุคนธ์ ทองศรีอัน. 2547. ปริมาณไนโตรเจนและไนเตรทในผักคะน้าอินทรีย์ผักคะน้าที่ปลอดภัยจากสารพิษและคะน้าเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาพืชวิทยาทางอาหารและโภชนาการ. มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

ราเชนทร์ วิสุทธิแพทย์, สยาม สีนสวัสดิ์, ศิริธรรม สิงห์โต และ ประธาน โพธิสวัสดิ์. 2548. เทคโนโลยีการปลูกพืชไร้ดิน (Soiless Culture). ฝ่ายเทคโนโลยีชีวภาพสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ.

รุ่งภา ศัสนีวรรณ. 2550. การวิเคราะห์หาไขมันและความชื้นในผลิตภัณฑ์เนยแข็งที่มีไขมันและความชื้นสูงโดยวิธี Near-Infrared. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: www.sithiphorn.com/newweb/newsletter/31-3-2005-1112262363.pdf (22 กรกฎาคม 2554).

วิชัย ทฤทัยธนาสันต์. 2555. เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศุมาพร เกษมสำราญ. 2545. ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและการทดสอบสมการในเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด. หน้า 131-151. ใน: วารุณี ธนะแพทย์, อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล และธงชัย สุวรรณสิขณณ์, (ผู้รวบรวม), การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27-28 พฤษภาคม 2545.

สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ศุภกิจ หอวิมานพร. 2552. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำผึ้งที่ได้มาตรฐานโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟรา

เรดสเปกโตรสโกปี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์. 2557. การวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปี. [ออนไลน์].เข้าถึงได้

จาก: <http://www.kmitl.ac.th/sisc>. (8 พฤษภาคม 2557)

สนธิสุข ธีระชัยชยติ, อนุพันธ์ เทิดดวงศ์วงกุล, วารุณี ธนะแพสย์ และ ชนิษฐา แสงแก้ว. 2554. ความ

เป็นไปได้ในการคัดแยกผลมั่งคุดเปลือกแข็งแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคการวิเคราะห์พหุตัว

แปร.ว. วิทย. กษ. 42 : 1 (พิเศษ): 143 – 146.

สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์. 2544. สรีรวิทยาการพัฒนาการพืช. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา, กรุงเทพฯ.

สุภาพร เรื่องวิทยาโชติ. 2547. การพร่างแสงตาข่ายสีฟ้าและสีเขียวที่ส่งผลต่อการตอบสนองต่อ

แสงของใบและการเจริญเติบโตของคะน้า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา

วิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม.

อนุพันธ์ เทอดดวงศ์วงกุล. 2545. การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์. การอบรมเชิงปฏิบัติการ

การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค NIRs เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27–28

พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลเกษตรฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หน้า 67-98.

อาทิตย์ พวงสมบัติ. 2549. การตรวจสอบคุณภาพภายในผลแก้วมังกรด้วยเทคนิค Near Infrared

Spectroscopy. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร บัณฑิต

วิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อาทิตย์ จันทร์หิรัญ, วารุณี ธนะแพสย์, ศุมาพร เกษมสำราญ และ จิราพร อนุสรณ์วงศ์ชัย. 2553ก.

การตรวจสอบค่าความหวานของผลลองกองด้วยเครื่องวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านใกล้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
อินฟราเรด. ว. วิทย. กษ. 41(3/1)(พิเศษ): 29 – 32.
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อาทิตย์ พวงสมบัติ, ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ และ อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล. 2553ข. การศึกษาการวิเคราะห์

คุณภาพแบบไม่ทำลายด้วยเครื่อง Vis/Nir Spectrometer. ว. วิทย. กษ. 41 : 1 (พิเศษ):

397- 400.

AOAC. 2000. "Official Method of the analysis 32nd ed" Association of official

Analytical chemists.

Babik, I. and Elkner, K. 2002. The effect of nitrogen fertilization and irrigation on yield

And quality of broccoli. *Acta Hort.* 571: 33-43.

Babik, I., Rumpel, J. and Elkner K. 1996. The influence of nitrogen fertilization on yield,

quality and senescence of Brussels sprouts. *ActaHortic.*407:353 – 359.

Bao, J.S., Cai, Y.Z. and Corke, H. 2001. Prediction of Rice Starch Quality Parameters by

Near- Infrared Reflectance Spectroscopy. *J. of Food Sci.* 66(7): 936 – 939.

Beverly, R. B., Latimer, J. G. and Smittle, D. A. 1993. Preharvest physiological and

culture effects on postharvest quality, pp. 73-98 *In* R.L. Shewfelt and S.E.

Prussia (eds.). *Postharvesthandling: A system approach.* Acad., New York.

Branes, R.J., Dhanoa, M.S. and Lister, S.J. 1989. Standard normal variate transformation

And de-trending of near-infrared diffuse reflectance spectra. *Appl. Spectrosc.*

43(5): 772-777.

Cataldo, D. A, Haroon, L. E, Schrader, L. E. and Youngs V. L. 1975. Rapid colorimetric

determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid.

Communcations in Soil Science and Plant Analysis 6, 71 – 80.

Chewya, J. A. 1984. Yield and quality of kale as affected by N-side dressing, spacing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
And supplementary irrigation. *Acta Hort.* 163: 295 – 301.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- Delwiche, S. R., Mckenzie, K. S. and Webb, B.D. 1996. Quality Characteristics in Rice by Near -Infrared Reflectance Analysis of Whole - Grain Milled Samples. *Cereal Chem.* 73(2):257 -263.
- Dich, J., Järvinen, R., Knekt, P. and Penttilä, P. L. 1996. Dietary intakes of nitrate, nitrite and NDMA in the Finnish Mobile Clinic Health Examination Survey. *Food Addit. Contam.* 13: 541-552.
- Elkner, K. and Kaniszewski, S. 1995. Effect of drip irrigation and mulching on quality of tomato fruits. *Acta Hort.* 379: 175 - 180.
- Greensill, C.V. and Walsh, K. B. 2000. Optimization of instrument precision and Wavelength resolution for the performance of NIR calibrations of sucrose in a water - cellulose-matrix. *Appl. Spectrosc.* Vol. 54(3) : 426-430.
- Guoqiang, F., Jianwen, Z., Ran, D. and Gao, L. 2009. Determination of soluble solids And firmness of apples by Vis/NIR transmittance. *J. of Food Eng.* 93(4): 416-420.
- Guyer, D. E., Ariana, D., Shrestha, B. and Lu, R. F. 2006. Opto - electronic determination of insect presence in fruit. In: Portland, OR, Proceedings of the ASAE, Paper number 066061.
- Hruschka, W. R. 2001. Data Analysis: Wavelength Selection Methods. In: P.C. Williams, and K. H. Nortis, (eds.), *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries.* 2nd ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA. 39-58.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Kawano, S., Abe, H. and Iwamoto, M. 1995. Development of a calibration equation With temperature compensation for determination the Brix value in intact peaches. *J. of NIRs.* 3: 211-218.

Kawano, S. 2002. Sampling and sample presentation. pp. 115-124. *In: Siesler, H.W., Ozaki, Y., Kawata, S. and Heise, H.M.(eds.), Near-Infrared Spectroscopy: Principle, Instrument, Application.* WILEY-VCH Verlag GmbH. Germany.

Knauer. 2007. Determination of nitrite and nitrate in fruit juices by UV detection. application note. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.knauer.net> (17 พฤษภาคม 2555).

Lee, S. and Kader, A. 2000. Preharvest and postharvest factor influencing vitamin C content of horticultural crop. *Postharvest Biol. Technol.* 20: 207-220.

Liu, Y., Chen, X. and Ouyang, A. 2008. Nondestructive determination of pear internal quality indices by visible and near-infrared spectrometry. *LWT- Food Sci. and Tech.* 41(9):1720 -1725.

Manuela, Z, Wemer, B., Herppich, H. D. and Willium, M. M. 2002. Non-destructive prediction of grapefruit Sensitivity to chilling injury. *The Society for Engineering in agricultural, food and biological system, Paper Number :* 026187.

Mozafar, A. 1996. Decreasing the nitrate and increasing the vitamin c contents in spinach by a nitrogen deprivation method. *Plant Foods Hum.Nutr.* 49: 155 - 162.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- Muller, K. and Hippe, J. 1987. Influences of differences in nutrition on important Quality characteristics of some agricultural crops. *Plant Soil*. 100: 35 - 45.
- Nagy, S. and Wardowski, W. F. 1988. Effect of agricultural practices, handling and storage on fruits, p.73-100. *In* E. Karmas and R.S. Harris (eds). *Nutritional Evaluation of Food Processing*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Osborne, B. G., Fearn, T. and Hindle, P. H. 1993. *Practical NIR spectroscopy with application in food and beverage analysis*. Longman Scientific & Technical: 1-7.
- Rutendo, K. 2009. Validation of analytical methods. Training workshop: Assessment of Interchangeable Multisource Medicines, Kenya.
- Salunkhe, D. K., Bolin, H., R. and Reddy, N. R. 1991. Preharvest factors on postharvest yield and quality, vol. 1, p. 7-44. *In* *Storage, Processing, and Nutritional Quality of Fruits and Vegetables*. CRC Press, Boca Raton.
- Sarah, E., McMullen, J. A., Casanova, L. K., Gross and Frank J. S. 2005. Ion chromatographic determination of nitrate and nitrite in vegetable and fruit baby. *Food. J. l of AOAC* Vol. 88, No.6, p. 1793 – 1796.
- Saranwong, S. 2003. Nondestructive determination of harvesting maturity of mango for fresh consuming by near infrared spectroscopy. Ph. D. thesis. Chiang Mai University, ChiangMai.179 pp.
- Schreiner, M. S., Huyskens-Keil, S., Peters, P., Schonhof, I., Krumbein, A. and Widell, S. 2002. Seasonal climate effect on root color and compounds of red radish. *J. Sci. Food Agric.* 82(11): 1325-1333.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Siesler H.W., Ozaki Y. and Kawata S. 2002. Near-Infrared Spectroscopy. WILEY-VCH Verlag GmbH, Federal Republic, Germany. 348 pp.

Shao, Y., He, Y., Gomez, A. H., Pereira, A. G. and Qiu, Z. 2007. Visible/near infrared spectrometric technique for nondestructive assessment of tomato 'Heatwave (*Lycopersicon esculentum*) quality characteristics. J. of Food Eng. 81: 672 - 678.

Shewfelt, R. L. 1990. Quality of fruits and vegetables. Food Technol. 44(6): 99-106.

Sorenson, J. N. 1984. Dietary fiber and ascorbic acid in white cabbage as affected by fertilization. Acta Hort. 163: 221-230.

Villareal, C. P., de la Cruz, N. M. and Juliano, B. O. 1994. Rice amylase analysis by near infrared transmittance spectroscopy. Cereal Chem. 71: 292-296.

Weston, L. A. and Brath, M. M. 1997. Preharvest factors affecting postharvest quality of vegetable. Hort. Sci. 32(5):812-816.

Williams, P. C. and Norris, K.H. 2001. Implementation of Near - Infrared Technology. pp. 145-170. In: P.C. Williams, and K. H. Norris, (eds.), Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. 2nd ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA.

Williams, P.C. 2007. Application of Near-Infrared Spectroscopy (NIRs) in the Agricultural and food industries. July 4th, 2007. Kasetsart University, Bangkok, Thailand.

Yau, J. 2008. Nitrate in food. Center for Food Safety, 25th Issue, Hong Kong.

Xiao-feng, Y., Zhi-long B. and Jia-lin X. 2007. Effect of potassium supply on the growth, photosynthetic characteristic and quality of lettuce. Acta Hort. 761: 471-476.

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.1 ปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณไนเตรท (ppm)
116	999.6759
117	1002.5840
118	1002.6948
119	1007.5865
120	1010.1564
121	1015.1464
122	1016.3824
123	1019.4749
124	1019.8535
125	1022.9511
126	1023.6539
127	1024.0781
128	1024.6987
129	1026.1210
130	1032.4955
131	1037.1868
132	1038.1169
133	1039.8289
134	1043.3304
135	1045.6750
136	1046.5107
137	1050.5703
138	1050.9889

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก

1. วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทโดยวิธี Brucine method (AOAC, 2000)

1.1 การเตรียมสารเคมี

1.1.1 สารละลายมาตรฐานไนเตรทเข้มข้น (Stock nitrate solution): ละลาย Potassiumnitrate ปริมาณ 7.2180กรัม ในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น (สารละลายไนเตรทเข้มข้นนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร)

1.1.2 สารละลายมาตรฐานไนเตรท (Standard nitrate solution): ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนเตรทเข้มข้นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น (สารละลายมาตรฐานไนเตรทมีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร)

1.1.3 สารละลาย Brucine – sulfanilic acid: ละลาย Brucine sulfate ปริมาณ 1 กรัม และ Sulfanilic acid ปริมาณ 0.1 กรัม ในน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ปริมาตร 70 มิลลิลิตร เติม Conc. Hydrochloric acid ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ทำให้เย็นลงใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น (สารละลายนี้จะคงตัวอยู่ได้นานหลายเดือน ถ้าสารละลายมีสีชมพูเกิดขึ้นจะไม่มีผลต่อการวิเคราะห์)

1.1.4 สารละลาย Sulfuric acid (4:1): ค่อย ๆ เท Conc. Sulfuric acid ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 125 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

1.1.5 สารละลาย Sodium chloride: ละลาย Sodium chloride ปริมาณ 75 กรัม ในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรใน Volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร

1.2 การเตรียมกราฟมาตรฐานไนเตรท

ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนเตรทความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0, 1,

2, 3, 4, และ 5 มิลลิลิตร ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นและ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพียงการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เขียนเห็นชอบที่จะเผยแพร่เอกสารนี้
 ไม่ว่าจะเผยแพร่ให้เข้ากัน จะได้สารละลายไนเตรทที่มีความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

แล้วนำไปทำการทดลองเช่นเดียวกับตัวอย่าง ทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง และความเข้มข้นของไนเตรท

1.3 วิธีการวิเคราะห์

นำตัวอย่างผักมาวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท โดยผึ่งตัวอย่างผักให้แห้ง แล้วนำไปอบในตู้อบที่ อุณหภูมิ 70-80 °C ประมาณ 2-3 วัน จนกว่าจะแห้ง นำตัวอย่างแห้งมาอบให้เป็นผงละเอียด สกัด ตัวอย่างแห้งด้วยน้ำ กลั่น ในอัตรา 1:10 ทิ้งไว้ค้างคืน นำไปทำให้ตกตะกอนด้วยเครื่อง centrifuge ที่ 2000 รอบ เป็นเวลา 10 นาที กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง และ membrane filter วิเคราะห์ ความเข้มข้นไนเตรทในสารสกัดด้วยวิธี Brucine colorimetric

1.3.1 ปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพูนขนาด 50 มิลลิลิตร

1.3.2 เติมสารละลาย Sodium chloride ที่ได้จากการเตรียมในข้อ 1.1.5 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

1.3.3 เติมสารละลาย Sulfuric acid (ที่ได้จากการเตรียมในข้อ 1.1.4) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

1.3.4 เติมสารละลาย Brucine – sulfanilic acid ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้า กัน นำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาทีจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ เย็นที่อุณหภูมิห้อง

1.3.5 นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 nm เปรียบเทียบกับกราฟ มาตรฐานที่ได้จากข้อ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข

ตารางภาคผนวกที่ ข.1 ปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์

ตัวอย่างที่	ปริมาณไนเตรท (ppm)
1	719.1613
2	740.2633
3	745.4075
4	750.9266
5	759.6079
6	766.6174
7	768.0046
8	784.6920
9	785.2580
10	788.7482
11	792.5385
12	797.9283
13	798.5743
14	806.0847
15	807.4326
16	807.4326
17	810.2942
18	815.1199
19	815.8039
20	817.5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางภาคผนวกที่ ข. 1 ปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์(ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณไนเตรท (ppm)
21	819.9482
22	821.9575
23	822.9544
24	829.5299
25	834.2015
26	837.4396
27	838.2442
28	839.0220
29	839.1489
30	841.5469
31	844.0946
32	846.0142
33	851.7289
34	853.4036
35	858.7811
36	860.7700
37	860.7841
38	860.8672
39	861.7563
40	851.7289
41	862.7873
42	863.1998
43	866.6187

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.1 ปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์(ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณไนเตรท (ppm)
44	868.2393
45	870.1523
46	870.5190
47	877.4621
48	880.4220
49	880.5305
50	880.6669
51	880.8407
52	880.9219
53	889.9536
54	894.6570
55	895.3508
56	895.9478
57	899.0637
58	899.9857
59	900.7090
60	901.2121
61	901.4343
62	902.5939
63	910.9120
64	911.6416
65	916.6863
66	924.0387

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.1 ปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณไนเตรท (ppm)
67	928.4918
68	929.1478
69	934.7003
73	935.1335
74	939.0618
75	942.0497
76	943.0698
77	944.5533
78	945.7507
79	947.0462
80	948.8086
81	950.1074
82	952.9321
83	953.5743
84	954.7823
85	956.8310
86	961.0045
87	961.3349
88	961.4333
89	962.1823
90	964.5937
91	964.7668
92	965.7243

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.1 ปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณไนเตรท (ppm) --
93	965.8737
94	966.2330
95	966.3369
96	970.9400
97	971.1832
98	971.4930
99	971.6813
100	973.0358
101	975.2364
102	976.8180
103	978.8968
104	979.8499
105	980.7570
106	981.2051
107	984.7269
108	991.5870
109	992.7832
110	996.1566
111	996.3610
112	996.4091
113	996.9570
114	997.0490
115	998.4929

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.1 ปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณไนเตรท (ppm)
139	1052.5555
140	1053.7375
141	1053.9773
142	1054.3896
143	1058.6595
144	1059.8763
145	1061.0142
146	1061.2515
147	1061.4385
148	1061.4528
149	1064.7551
150	1065.0371
151	1065.6631
152	1066.1703
153	1066.3295
154	1068.4320
155	1069.1160
156	1070.1499
157	1072.5636
158	1077.5853
159	1078.6307
160	1079.5681
161	1079.8542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.1 ปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์ (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณไนเตรท (ppm)
160	1079.5681
161	1079.8542
162	1082.8704
163	1083.1501
164	1085.1954
165	1085.9657
166	1086.8821
167	1087.2408
168	1088.7496
169	1091.1337
170	1091.2125
171	1096.4025
172	1100.8635
173	1110.3065
174	1110.7684
175	1111.3488
176	1111.6375
177	1120.8242
178	1136.7141
179	1138.4738
180	1141.8904
181	1145.3121
182	1145.3997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.1 ปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์(ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณไนเตรท (ppm)
183	1146.9974
184	1156.5687
185	1158.0901
186	1166.2852
187	1172.4939
188	1176.2343
189	1178.4152
190	1188.0601
191	1188.7813
192	1195.4817
193	1196.8016
194	1207.3398
195	1207.9906
196	1231.5872
197	1231.8613
198	1254.1136
199	1259.0634
200	1264.3696
201	1266.0884
202	1280.5444
203	1291.0212
204	1309.4919
205	1318.9329

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.1 ปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิกส์(ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณไนเตรท (ppm)
206	1321.4539
207	1340.1178
208	1342.2125
209	1367.6387
ค่าเฉลี่ย	995.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Thong”. 31st Congress on Science and Technology of Thailand (STT 2005). 18 - 20 October 2005 at Technopolis, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima.

Suwapanich, R. and Haewsungcharern, M. 2005. Prediction of Internal Temperature in Mango Fruit using Thermal Properties”. 4th National Seminar on Postharvest/post production Technology 8-9 June 2006. The Empress Hotel, Chiang Mai Thailand.

ประสบการณ์อื่นๆ/การอบรม

1. Training courses on “Short Course on Near Infrared Spectroscopy and Its Applications on Persihable Crops and Grain” 28-30 June 2005
2. Training courses on “Quality of Plant Products and Foods: determination of components and processing properties” 18-18 November 2005
3. Training courses on “Fresh-cut Fruit and Vegetable Processing” 14-16 March 2007
4. Training courses on “Near Infrared Spectroscopy Application on Industrial Agricultural Products” 29-31 August 2007
5. Training courses on “Wax Microemulsion Coatings: Preparation and Emulsion” 30 November – 1 December 2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผู้ร่วมวิจัย
ชื่อ - สกุล นางสาวนภณัฐ์ สະสมทรัพย์
วัน เดือน ปีเกิด 2 พฤศจิกายน 2530
สถานที่เกิด จังหวัดปทุมธานี
ที่อยู่ปัจจุบัน 21 ซ.รังสิต-ปทุมธานี14ซอย18 หมู่ 2 ต.ประชาธิปัตย์ อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี
ประวัติการศึกษา ปริญญาตรีหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญาโทหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานที่นำเสนอ นภณัฐ์ สະสมทรัพย์ และ ระจิตร์ สุวาณิช. 2556. การตรวจสอบปริมาณ
ไนเตรทและไนไตรท์ในผักคะน้าไฮโดรโปนิคส์. การประชุมวิชาการเสนอ
ผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 29, มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
จ.เชียงราย.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.