การตรวจสอบปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารโดยใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มสเปกโทรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด (FT-NIR)

Evaluation of Nitrate in Chinese Kale's Leaves Grown in Hydroponics by Fourier-transform Near Infrared Spectroscopy

ระจิตร สุวพานิช[1] และ นภณัฏฐ์ สะสมทรัพย์[2]
Rachit Suwapanich* and Napanutt Sasomsub**

Abstract

Evaluation of nitrate in hydroponic Chinese kale's leaves by Fourier-Transform Near Infrared Spectroscopy. Three hundred 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 measurement to the reference of standard chemical analysis data. Each hydroponic Chinese kale's leaves were randomed and scanned by FT-NIR in the wavenumber 4000-10000 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) was0.9508 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.

Keywords: Nitrate, Fourier-Transform Near Infrared Spectroscopy, Chinese kale

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทของใบผักคะน้าไฮโดรโปนิกส์แบบไม่ทำลาย โดยการใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (FT-NIR)ใช้ตัวอย่างผักคะน้าที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารจำนวน 300 ตัวอย่าง เพื่อสร้างสมการทำนายปริมาณไนเตรทของใบผักคะน้าไฮโดรโปนิกส์ และเปรียบเทียบความแม่นยำของเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดกับวิธีวิเคราะห์ทางเคมี โดยสุ่มใบผักคะน้าไฮโดรโปนิกส์มาวัดค่าการส่องผ่านของแสงในช่วงคลื่นแสง4000-10000 cm^{-1} (1000-2500 nm)ด้วยเครื่อง FT-NIRจากการทดลองพบว่าไนเตรทมีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 885 nm เมื่อนำใบผักคะน้าไฮโดรโปนิกส์มาวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทด้วยเทคนิค 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 ตามลำดับจากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด แบบ Reflectance mode มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการทำนายค่าปริมาณไนเตรทในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิกส์แบบไม่ทำลายได้อย่างแม่นยำ

คำสำคัญ: ไนเตรท, เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มสเปกโทรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด, ผักคะน้า

คำนำ

ปัญหาเฉพาะที่เกิดขึ้นกับผักที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ในประเทศไทยคือ ปริมาณไนเตรทที่สะสมอยู่ในใบผักซึ่งมีปริมาณสูงเนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนของผักไฮโดรโปนิกส์อยู่ในรูปไนเตรททั้งหมดหรือเกือบทั้งหมดที่พืชสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง ในขณะที่ผักที่ปลูกในดินได้รับปุ๋ยในรูปอื่นด้วย เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียม ยูเรียและสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบรวมทั้งผักที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์มักปลูกในที่ร่มครึ้ม ทำให้มีอัตราการสังเคราะห์แสงน้อยส่งผลทำให้ไนเตรทไม่ได้ถูกนำไปใช้ จึงสะสมอยู่ที่ใบผักในปริมาณที่สูงกว่าปกติ ปริมาณไนเตรทถ้าสะสมอยู่ในร่างกายคนมากๆจะไปจับตัวกับ

[1] คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
[1]Faculty of Agro-industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
[2]นักศึกษาระดับปริญญาโท คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
[2]Graduated student, Faculty of Agro-industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ออกซิเจนที่อยู่ในฮีโมโกลบินทำให้ฮีโมโกลบินขาดออกซิเจนและถ้ามีปริมาณมากกว่า 60 % ของปริมาณฮีโมโกลบินทั้งหมดในเลือดจะทำให้เสียชีวิตได้นอกจากนี้ปริมาณไนเตรตส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนรูปเป็นสารไนโทรซามีนที่เป็นสารก่อมะเร็ง (กิตติ, 2554) เมื่อมองดูจากลักษณะภายนอกไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าผักไฮโดรโปนิกส์นี้มีการสะสมของไนเตรทตกค้างในปริมาณมากเกินกว่าที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ ทำให้ผู้บริโภคบางส่วนไม่ให้ความเชื่อถือผักปลอดสารพิษที่ได้จากการปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์เท่าที่ควร รวมทั้งการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทโดยวิธีวิเคราะห์แบบ AOAC เป็นวิธีที่ยุ่งยาก ใช้สารเคมี และทำลายตัวอย่าง ผู้วิจัยจึงได้เกิดแนวความคิดในการนำเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคเนียร์อินฟาเรดมาช่วยวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทในผักไฮโดรโปนิกส์

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่าง

ผักคะน้าไฮโดรโปนิกส์ ปลูกโดยฝ่ายเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 35 หมู่ 3 ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานีที่มีอายุการเก็บเกี่ยวทางการค้าคัดเลือกผักคะน้าที่มีขนาด รูปร่าง สีและน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดมาทำการปรับอุณหภูมิก่อนการวัดด้วยการเก็บไว้ในห้องปรับอากาศที่รักษาอุณหภูมิห้องที่ระดับ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 - 3 ชั่วโมง ก่อนทำการวัดด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้

2. การวัดค่าการดูดกลืนแสง

นำผักคะน้าที่ได้จากข้อ 1 เลือกใบผักคะน้าที่มีขนาดเล็กและใหญ่ที่สุดจากต้นคะน้าเดียวกัน นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดด้วยเครื่อง Q-Interline Quant FT-NIR ในช่วงจำนวนคลื่นแสง 10000 – 4000 cm-1 (1000-2500 nm) ใบละ 4 จุด โดยใช้ผักคะน้าจำนวน 209 ต้น

3. วิเคราะห์หาปริมาณไนเตรท

นำตัวอย่างใบคะน้าที่ผ่านการวัดค่าการดูดกลืนแสงแล้ว มาวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรตด้วยเทคนิค Brucine method (AOAC,2000)

4.การสร้างสมการทำนาย

แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มโดยกลุ่มที่ 1เป็นกลุ่มสำหรับการสร้างสมการ (Calibration set)และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มสำหรับการทดสอบสมการ (Prediction set)โดยแต่ละกลุ่มมีการกระจายตัวของข้อมูลเท่า ๆ กันโดยแบ่งเป็นกลุ่ม Calibration จำนวน 70 เปอร์เซ็นต์ และแบ่งเป็นกลุ่ม Predictionจำนวน 30 เปอร์เซ็นต์ ก่อนวิเคราะห์ข้อมูลปรับแต่งสเปกตรัม (pretreatment) เพื่อลด noise และแยกสเปกตรัมที่ซ้อนทับออกจากกันด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ตามความเหมาะสม

สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมกับค่าวิเคราะห์ด้วยวิธี Partial least square regression (PLSR)โดยใช้โปรแกรม Unscrambler version 9.7 เลือกสมการที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด จากการพิจารณาที่ ค่า R (Coefficient of correlation) ให้มีค่าสูงสุด, RMSECV ต้องมีค่าต่ำที่สุดและพิจารณาจาก Factor ที่มีค่าต่ำสุดด้วย

ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรต

ปริมาณไนเตรตในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิกส์ ที่ปลูกโดยฝ่ายเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยมีปริมาณอยู่ในช่วง719.1613-1367.6387ppm จากตัวอย่างวิเคราะห์ทั้งหมด 209 ตัวอย่าง

การวัดค่าการดูดกลืนแสงและสร้างสมการทำนายปริมาณไนเตรตในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิกส์

สเปกตรัมที่วัดได้โดย FT-NIR และค่าวิเคราะห์ทางเคมีที่ได้จากห้องปฏิบัติการถูกนำมาใช้เพื่อสร้างสมการทำนายโดยโปรแกรมUnscrambler version 9.7 ทำการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ เช่น Savitzky – Golay Smoothing, Savitzky – Golay 2^{nd} derivative, SNV และ MSC (Table 1) หลังจากการการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ แล้วพบว่าการสร้างสมการด้วยวิธีCenter and scale (Mean center)ใน Cross -validation ให้ผลดีที่สุดไม่แตกต่างจากข้อมูลสเปกตรัมดั้งเดิม (Original spectra) จึงนำข้อมูลสเปกตรัมดั้งเดิม (Original spectra) มาสร้างสมการการทำนายไนเตรทโดยใช้วิธี Partial least squares regression (PLSR) ซึ่งได้ผลดังนี้ คือ R = 0.9544และ RMSEC = 41.0416 ppm และนำโมเดลสมการที่สร้างได้ไปทดสอบในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ พบว่าได้ค่า R =0.9421 และ

RMSEP = 46.6146 ppm ซึ่งแสดงใน Table 2 ส่วน Figure 2 (a) แสดงผลการทำนายปริมาณไนเตรทในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ และFigure2 (b) แสดงผลการทำนายปริมาณไนเตรทในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

Table 1 Result of crucial decision values, R, RMSECV, SEP, and Bias

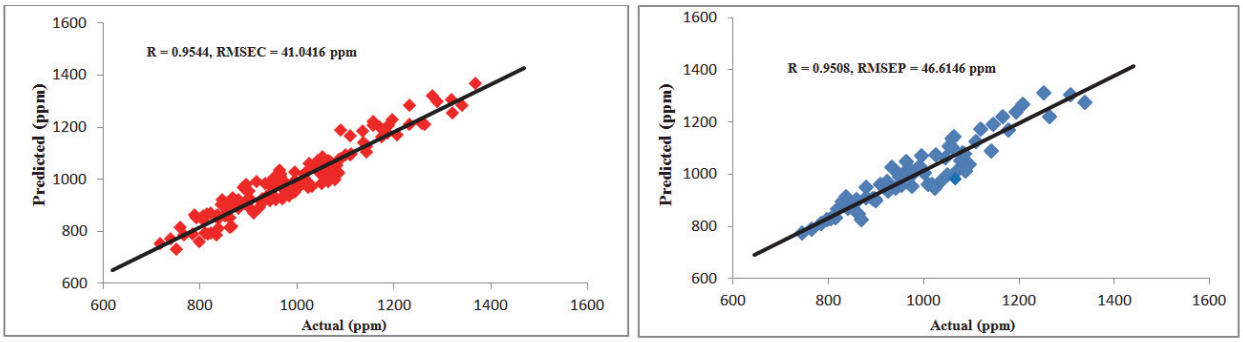
Spectral Pretreatments	N	F	R	RMSECV (ppm)	SEP	Bias
Original	140	3	0.9544	41.0416	41.1889	-9.591×10^{-6}
Smoothing	140	3	0.9423	46.4209	46.5476	-1.439×10^{-5}
1st derivative	140	7	0.9296	50.6806	50.8626	-2.572×10^{-5}
2nd derivativeg	140	10	0.9033	58.9793	59.1901	-1.395×10^{-5}
MSC (full)	140	3	0.8866	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 + 1st derivative	140	4	0.9145	55.6107	55.1804	-1.439×10^{-5}
Smoothing + 2nd derivative	140	10	0.9256	51.3764	51.5608	-2.223×10^{-5}
MSC (full) + Smoothing + 1st derivative	140	4	0.9142	55.7277	55.9678	-2.093×10^{-5}
MSC (Common offset) + Smoothing + 1st derivative	140	4	0.9145	55.6153	55.815	-1.613×10^{-5}
MSC (Common amplification) + Smoothing + 1st derivative	140	4	0.9142	55.7241	55.9241	-1.70×10^{-5}
MSC (full) + Smoothing + 2nd derivative	140	8	0.9047	58.5724	58.7827	-1.70×10^{-5}
MSC (Common offset) + Smoothing + 2nd derivative	140	10	0.9276	51.3734	51.5579	-2.485×10^{-5}
MSC (Common amplification) + Smoothing + 2nd derivative	140	8	0.9047	58.5680	58.7783	-1.962 × 10-5
mean + Smoothing + 1st derivative	140	5	0.9241	52.5303	52.7189	-1.744 × 10-5
mean + Smoothing + 2nd derivative	140	8	0.9211	53.5407	53.7329	-1.700 × 10-5
SNV+ Smoothing + 1st derivative	140	5	0.9237	50.4354	50.6165	-9.591 × 10-6
SNV+ Smoothing + 2nd derivative	140	10	0.9289	51.1956	51.3794	-1.264 × 10-5

F: Number of factors used in the calibration equation R: Multiple correlation coefficients SEC: Standard error of calibration

SEP: Bias-corrected standard error of prediction Bias: The average of difference between actual value and NIR-value

Table 2 Result of crucial decision values, R, RMSECV, SEP, and Bias of pretreated spectrums with partial least square method.

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



(a) (b)

Figure 2 Scatter plots of prediction value of nitrate (ppm) in calibration set (a) and validation set (b)

สรุปผลการทดลอง

สามารถการประยุกต์ใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดตรวจสอบและทำนายปริมาณไนเตรทของในใบผักคะน้าไฮโดรโปนิกส์ได้ โดยคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัม NIRS และปริมาณไนเตรทโดยใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Partial least squares regression (PLSR) และปรับเทียบแบบ Cross - validation ด้วยโปรแกรม Unscramblerversion 9.7และเมื่อนำโมเดลสมการที่สร้างได้ไปทดสอบในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ พบว่าได้ค่าR =0.9421 และ RMSEP = 46.6146 ppm จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการทำนายค่าปริมาณไนเตรทของใบผักคะน้าไฮโดรโปนิกส์แบบไม่ทำลาย

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้ของคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้เขียนขอขอบพระคุณไว้ณที่นี้

เอกสารอ้างอิง

กิตติ บุญเลิศนิรันดร์. 2554. ผลของการพรางแสงต่อผลผลิตและปริมาณไนเตรทตกค้างในผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดที่ปลูกโดยไม่ใช้ดิน. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ วิทยาเขตพระนครศรีอยุธยา.

วิชัย หฤทัยธนาสันติ์. 2555. เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

AOAC. 2000.” Official Method of the analysis 32nded” Association of official analytical chemists.