



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

“การตรวจสอบคุณภาพภายในของสั้โดยวิธีไม่ทำลายด้วยการใช้
เทคนิค Near Infrared Spectroscopy”

โดย

ดร. ศุมาพร เกษมสำราญ และคณะ

กุมภาพันธ์ 2551



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

“การตรวจสอบคุณภาพภายในของสั้มโดยวิธีไม่ทำลายด้วยการใช้
เทคนิค Near Infrared Spectroscopy”

โดย

ดร. ศุมาพร เกษมสำราญ และคณะ

กุมภาพันธ์ 2551

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

“การตรวจสอบคุณภาพภายในของส้มโดยวิธีไม่ทำลายด้วยการใช้เทคนิค
Near Infrared Spectroscopy”

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1. ดร. ศุมาพร เกษมสำราญ | สถาบันผลิตผลเกษตร ฯ ม.เกษตรศาสตร์ |
| 2. นางวารุณี ธนะแพสย์ | สถาบันผลิตผลเกษตร ฯ ม.เกษตรศาสตร์ |
| 3. รศ. ดร. อนุพันธุ์ เทอดวงศ์วรกุล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ม.เกษตรศาสตร์ |
| 4. ผศ. ดร. ศิวลักษณ์ ปรุวีรัตน์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ม.เกษตรศาสตร์ |

ชุดโครงการสัมและการจัดการผลิตผลพืชสวน

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

ชื่อโครงการ : การตรวจสอบคุณภาพภายในของส้มโดยวิธีไม่ทำลายด้วยการใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy

หัวหน้าโครงการ : ดร.ศุมาพร เกษมสำราญ

หน่วยงานที่สังกัด : หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีการตรวจสอบสินค้าโดยวิธีไม่ทำลาย

ฝ่ายนาโนเทคโนโลยีและเทคโนโลยีชีวภาพ

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

ทำการตรวจสอบคุณภาพภายในของส้มคือปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้และปริมาณกรดด้วยแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้น โดยใช้ส้ม 5 พันธุ์ ได้แก่ส้มธารนัมเบอร์ 1 ส้มสายน้ำผึ้ง ส้มเขียวหวาน ส้มโชกุนและส้มฟริมองด์ ทำการเก็บตัวอย่างส้ม 2 ช่วงเวลา คือตั้งแต่กรกฎาคม 2549 ถึง มีนาคม 2550 และตั้งแต่ เมษายน 2550 ถึง มกราคม 2551 ทำการสแกนผลส้มเพื่อเก็บสเปกตรัมแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้นที่ความยาวคลื่น 643 ถึง 970 นาโนเมตร แบ่งส้มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มนำมาสร้างสมการ และกลุ่มทดสอบสมการ ทำการสร้างสมการสำหรับทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้และปริมาณกรดด้วยวิธี Partial Least Squares Regression โดยสร้างสมการแยกสำหรับแต่ละพันธุ์และทดสอบด้วยตัวอย่างกลุ่มทดสอบ แล้วทำการสร้างและศึกษาสมการรวมสำหรับทุกพันธุ์และผลของช่วงเวลาการศึกษาที่มีผลต่อสมการ ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายของสมการที่สร้าง ผลการทดลองแสดงให้เห็นความเป็นไปได้สูงในการใช้แสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้นสำหรับตรวจสอบคุณภาพภายในของส้มโดยไม่ทำลาย

Project Title: Non-destructive Internal Quality Evaluation of Orange using Near Infrared Spectroscopy

Principle investigator: Dr. Sumaporn Kasemsumran

Organization: Nondestructive Quality Evaluation Unit

Kasetsart Agricultural and Agro-Industrial Product Improvement Institute
Kasetsart University

Abstract

Short-Wavelength Near Infrared Spectroscopy (SW-NIRS) was used to investigate the internal quality of orange fruits based on total soluble solids (TSS) and acidity contents. Five varieties of Thai orange were examined in this study. Their names are Tanatorn number one, Sai Nam Peung, Keawwan, Shokun and Freemong. These oranges were collected within 2 periods, the first period was from July 2006 to March 2007 and the other was from April 2007 to January 2008. Transmission SW-NIR spectra of orange were collected in the region of 643 to 970 nm. Orange fruits of each variety were divided into two sets, one was a calibration set and the other was a prediction set. The Partial Least Squares Regression (PLSR) calibration models of TSS and acidity were developed for each variety of orange and then were verified on the prediction set. Furthermore, the universal calibration models of TSS and acidity for entire varieties of orange were developed and investigated as well as the effect of experiment period in calibration modeling was also studied. The predictive performance of the calibration models was compared. The results showed high possibility of use the SW-NIRS for evaluating internal quality of those oranges, non-destructively.

Executive Summary

ชื่อโครงการ : การตรวจสอบคุณภาพภายในของส้มโดยวิธีไม่ทำลายด้วยการใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy

หัวหน้าโครงการ

ชื่อ : ดร.ศุมาพร เกษมสำราญ
 สถานที่ทำงาน : หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีการตรวจสอบสินค้าโดยวิธีไม่ทำลาย
 ฝ่ายนาโนเทคโนโลยีและเทคโนโลยีชีวภาพ
 สถาบันค่นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 จตุจักร กรุงเทพฯ ๙ 10900
 โทรศัพท์ : 02-9428600 – 3 ต่อ 502 โทรสาร : 02-5620339
 E-mail : aapspk@ku.ac.th

ผู้ร่วมโครงการ

ชื่อ : นางวารุณี ธนะแพสย์
 สถานที่ทำงาน : หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีการตรวจสอบสินค้าโดยวิธีไม่ทำลาย
 ฝ่ายนาโนเทคโนโลยีและเทคโนโลยีชีวภาพ
 สถาบันค่นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 จตุจักร กรุงเทพฯ ๙ 10900
 โทรศัพท์ : 02-9428600 – 3 ต่อ 506 โทรสาร : 02-5620339
 E-mail : aapwnt@ku.ac.th

ชื่อ : ผศ.ดร. อนุพันธ์ เท็ดวงค์วรกุล
 สถานที่ทำงาน : ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
 โทรศัพท์ : 034-281098 หรือ 02-9428003-10 ต่อ 3522
 E-mail : fengant@ku.ac.th

ชื่อ : ผศ.ดร. ศิวลักษณ์ ปรุวีรัตน์
 สถานที่ทำงาน : ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
 โทรศัพท์ : 034 -351896 หรือ 02-9428003 - 19 ต่อ 3510
 E-mail : fengslp@ku.ac.th

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

พืชในสกุลส้มที่ไม่รวมส้มโอ และมะนาว เช่น ส้มเกลี้ยง ส้มเขียวหวาน ส้มจุก ส้มตรา (ส้มเข้ง) ส้มแม้นดาริน และผลไม้จำพวกส้มอื่น ๆ ที่มีผลผลิตรวมทั้งประเทศ 592,942 ตัน มีราคาซื้อขายภายในประเทศประมาณเฉลี่ย 24.66 บาท ในปี พ.ศ. 2546 ถึงแม้ว่าการส่งออกผลสดยังมีจำนวนไม่มากนัก คือ ประมาณ 2,741 เมตริกตัน มูลค่าประมาณ 57 ล้านบาท รวมทั้งน้ำผลไม้มาจากส้มก็มีปริมาณส่งออก 5,649 เมตริกตัน มูลค่า 87.4 ล้านบาท แต่ปัจจุบันราคาส้มในท้องตลาดก็มีราคาสูงขึ้น โดยเฉพาะส้มพันธุ์ลูกผสม ซึ่งจัดเป็นส้มส่งออกมักเป็นพันธุ์ที่ต่างชาตินิยม และคุ้นเคยรสชาติ มีลักษณะเด่น คือเปลือกหนาเหมาะต่อการขนส่งและเก็บรักษาได้นาน สีส้มเป็นสีที่พอใจของลูกค้า เช่น พันธุ์สายน้ำผึ้ง โชกุน พวงทอง พรีเมอว์ เมอร์คอต และสีทอง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีชื่อเรียกสายพันธุ์ต่าง ๆ กันไปแล้วแต่ส่วนที่นำมาจากต่างประเทศ หรือผสมพันธุ์ขึ้นเองซึ่งขณะนี้กำลังมีการขยายพื้นที่ปลูกกันมากขึ้นเนื่องจากได้ราคาและสามารถส่งออกได้ง่าย โดยทั่วไปผู้บริโภคยินดีจะจ่ายเงินมากขึ้นถ้าสามารถรู้ได้ว่ารสชาติของส้มดี เป็นที่พอใจของลูกค้า

ดังนั้นการนำวิธีตรวจสอบรสชาติภายในของส้มได้โดยวิธีไม่ทำลายมาศึกษาวิจัยและพัฒนา เพื่อเป็นการประกันคุณภาพของส้มไทยได้ต่อไป ถึงแม้ว่ามีสวนส้มขนาดใหญ่ในประเทศไทยได้นำเครื่องคัดเกรดส้มที่สั่งซื้อมาจากต่างประเทศด้วยราคาที่สูงมาก ซึ่งประกอบไปด้วยระบบลำน้ำ ระบบอบให้แห้ง ระบบเคลือบไข ระบบคัดขนาดตามเส้นผ่าศูนย์กลางแต่ก็ยังไม่มียุทธวิธีที่สามารถตรวจสอบคุณภาพภายในของผลส้มได้

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อหาความสัมพันธ์หรือความเป็นไปได้ในการตรวจสอบคุณภาพภายใน ได้แก่ 1) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids; TSS) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำตาลแสดงระดับความหวาน และ 2) ค่ากรด (acidity) ของส้มที่ปลูกในประเทศไทยทั้ง 5 พันธุ์ คือ พันธุ์ชนาธรนัมเบอร์ 1 (No. One), พันธุ์สายน้ำผึ้ง, พันธุ์เขียวหวาน, พันธุ์โชกุน และพันธุ์พรีเมอว์ โดยใช้เครื่อง Near Infrared Spectrophotometer รุ่น PureSpect ในช่วงความยาวคลื่นสั้น

2. สร้างสมการเพื่อใช้ทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดสำหรับส้มแต่ละพันธุ์ และสร้างสมการรวมสำหรับทุกพันธุ์ (Universal calibration) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายคุณภาพของส้มระหว่างสมการทั้งสองแบบ เพื่อหาว่าพันธุ์จะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของสมการหรือไม่ และจะได้นำข้อมูลจากการศึกษามาพัฒนาสมการให้สามารถใช้ได้ในระยะยาวต่อไป

ระเบียบวิธีวิจัย

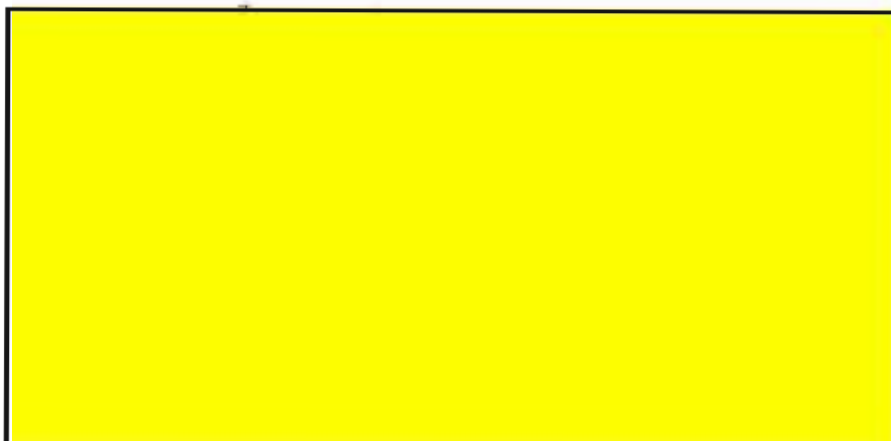
1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจสอบคุณภาพภายในของส้มโดยวิธี NIRS จากตัวอย่างส้ม 5 สายพันธุ์ ที่ปลูกในประเทศไทย คือ 1) พันธุ์ชนาธรนัมเบอร์ 1 (No. One), 2) พันธุ์สายน้ำผึ้ง, 3) พันธุ์เขียวหวาน, 4) พันธุ์โชกุน และ 5) พันธุ์พรีเมอว์ ดังนี้

- สแกนผลส้มด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer รุ่น PureSpect ในช่วงความยาวคลื่นสั้น
 - วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วย Digital refractometer โดยวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ
 - วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดด้วยวิธีไทเทรต โดยวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ
 - ป้อนข้อมูลค่าทางเคมีที่ได้ลงในโปรแกรม Unscrambler software ให้ตรงกับค่า spectrum ของส้มลูกเดียวกัน ในแต่ละกลุ่มของแต่ละพันธุ์แบ่งตัวอย่างของเป็น 2 กลุ่ม คือ calibration set และ prediction set โดยเรียงลำดับตามปริมาณของค่า ทางเคมี เลือกตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม โดยให้ปริมาณค่าทางเคมีของ calibration ครอบคลุมปริมาณค่าทางเคมีของกลุ่ม prediction
 - แปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธีต่างๆ เช่น Second derivative, MSC, MSC + Second derivative เพื่อขยายข้อมูลสเปกตรัมที่เกี่ยวกับคุณภาพภายในของส้ม ก่อนนำสเปกตรัมที่แปลงแล้วมาสร้างสมการ
 - หาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัม กับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดทั้งหมด โดยใช้วิธี Partial Least Square (PLS) ด้วยโปรแกรม Unscrambler
2. ศึกษาปัจจัยที่อิทธิพลต่อการทำสมการ Calibration
- พันธุ์, ฤดูกาล, และพื้นที่ในการเพาะปลูก
 - สร้างสมการจากข้อมูลทั้ง 5 พันธุ์รวมกัน เพื่อให้ได้สมการเดียวที่จะสามารถทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดจากส้มทุกพันธุ์โดยวิธีทางสถิติ

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สมการ Calibration ที่สามารถตรวจวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้และปริมาณกรดทั้งหมดของส้ม 5 สายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย คือ 1) พันธุ์นาชนันท์เบอร์ 1 (No. One), 2) พันธุ์สายน้ำผึ้ง, 3) พันธุ์เขียวหวาน, 4) พันธุ์โชกุน และ 5) พันธุ์ฟรุ้งมอนด์ ทั้งแบบสมการเฉพาะพันธุ์ และสมการสำหรับทุกพันธุ์ได้
2. เป็นฐานข้อมูลสเปกตรัม NIR ของส้มที่ปลูกในประเทศไทยทั้ง 5 พันธุ์
3. ตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารเชิงวิชาการที่เกี่ยวข้อง
4. อบรม เผยแพร่เทคโนโลยีและองค์ความรู้ในเชิงวิชาการ แก่องค์กรและผู้สนใจ

ระยะเวลา 1 ปี 6 เดือน



ผลการวิจัย

1. สมการประสิทธิภาพดีที่สุดสำหรับทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) และปริมาณกรดของส้มแต่ละพันธุ์ และสำหรับส้มทุกพันธุ์จากข้อมูลตลอดโครงการวิจัย

Model	Analyst	C:P	Pretreatment	Calibration			Prediction
				Factor	R	RMSEC	RMSEP
ธนาธร	TSS	400:150	MSC	11	0.9500	0.4828	0.5258
นัมเบอร์ 1	Acidity	400:150	Original	12	0.8771	0.0866	0.0978
สายน้ำผึ้ง	TSS	346:150	MSC	11	0.9150	0.4934	0.6159
	Acidity	346:150	2 nd derivative	7	0.6067	0.1228	0.1434
โชกุน	TSS	300:170	MSC	14	0.9673	0.3509	0.4815
	Acidity	300:170	Original	6	0.5966	0.1452	0.1403
พริ้มองค์	TSS	300:100	2 nd derivative	14	0.9645	0.4093	0.4507
	Acidity	300:100	2 nd derivative	9	0.8149	0.0949	0.1186
รวมพันธุ์	TSS	1616:500	MSC	14	0.9420	0.5736	0.6512
	Acidity	1616:500	MSC	14	0.7153	0.1306	0.1313

สมการ Calibration สำหรับทำนายปริมาณ TSS มีประสิทธิภาพในการทำนายสูงในทุกพันธุ์ ส่วนสมการ Calibration สำหรับทำนายปริมาณกรดยังมีประสิทธิภาพไม่ดีเทียบเท่า เนื่องจากปริมาณกรดผลส้มมีอยู่ในปริมาณต่ำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NIRS จึงให้ผลด้อยกว่าการวิเคราะห์หาปริมาณ TSS ซึ่งมีอยู่ในผลส้มสูง อย่างไรก็ตามสมการทำนายปริมาณกรดที่ได้ส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพดี โดยพิจารณาจากค่า $R \geq 0.8$ ได้แก่ สมการของส้มธนาธรนัมเบอร์ 1 ส้มเขียวหวาน และส้มพริ้มองค์ ส่วนสมการสำหรับส้มสายน้ำผึ้งและโชกุนมีค่า $R \sim 0.6$ ซึ่งค่อนข้างต่ำอาจเนื่องมาจากการผลส้มสายน้ำผึ้งมีช่วงปริมาณกรดค่อนข้างแคบและมีบางผลที่มีปริมาณกรดสูง สมการที่ได้จึงอิงกับกลุ่มส้มที่มีปริมาณกรดต่ำ-กลางมาก (กราฟในสรุปผลข้อ 1.2) สำหรับส้มโชกุนอาจเกิดจากการที่เปลือกมีสีเขียวเข้ม รบกวนการดูดกลืนแสงทำให้สมการที่ได้มีประสิทธิภาพด้อยลง

2. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมการสำหรับส้มแต่ละพันธุ์และสำหรับส้มรวมทุกพันธุ์ หากพิจารณาสมการ Universal calibration ผลทางสถิติที่ได้ทั้งสมการสำหรับทำนายปริมาณ TSS และกรด เสมือนเป็นผลเฉลี่ยของสมการสำหรับแต่ละพันธุ์ หากพิจารณาผลทางสถิติของสมการสำหรับแต่ละพันธุ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม 1) กลุ่มสมการที่มีประสิทธิภาพการทำนายดีกว่าสมการ Universal calibration ได้แก่ สมการทำนายปริมาณ TSS สำหรับส้มธนาธรนัมเบอร์ 1 ส้มสายน้ำผึ้ง ส้มโชกุน และส้มพริ้มองค์ และสมการทำนายปริมาณกรดสำหรับส้มธนาธรนัมเบอร์ 1 ส้มเขียวหวาน และส้มพริ้มองค์ 2) กลุ่มสมการแยกพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพการทำนายต่ำกว่า

สมการ Universal calibration ได้แก่ สมการทำนายปริมาณ TSS สำหรับส้มเขียวหวานและสมการทำนายปริมาณกรดสำหรับส้มสายน้ำผึ้งและส้มโชกุน หากพิจารณาประสิทธิภาพการทำนายเป็นสำคัญการใช้สมการแยกเฉพาะแต่ละพันธุ์น่าจะให้ผลที่ถูกต้องและคลาดเคลื่อนต่ำกว่าการใช้สมการ Universal calibration แต่ถ้าพิจารณาความสะดวกรวดเร็วของการประมวลผลและจัดกระบวนการคัดแยกพันธุ์ส้มออกไปการใช้สมการ Universal calibration จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ควรพิจารณา หากความคลาดเคลื่อนในการทำนายอยู่ในระดับที่ผู้ประกอบการยอมรับได้

3. ผลของสมการ Calibration สำหรับทำนายปริมาณ TSS และกรดของส้มต่างช่วงเวลากัน คือ ช่วงที่ 1 ตั้งแต่ กรกฎาคม 2549 ถึง มีนาคม 2550 และช่วงที่ 2 ตั้งแต่ เมษายน 2550 ถึง มกราคม 2551 ในแต่ละช่วงเวลาให้ผลของสมการที่แตกต่างกันถึงแม้จะเป็นส้มพันธุ์เดียวกัน สมการที่ได้ใช้วิธีการปรับแต่งแตกต่างกัน ใช้จำนวนแฟกเตอร์และมีประสิทธิภาพการทำนายไม่คงที่ อันเนื่องมาจากส้มในแต่ละช่วงมีความแตกต่างกันทั้ง ฤดูกาล ที่มา การดูแลรักษา สภาพการเพาะปลูก ฯลฯ การใช้ส้มที่มีความหลากหลายในปัจจุบันที่กล่าวมาแล้วช่วยเสริมข้อมูลของสมการที่สร้างขึ้น อีกทั้งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำนายคุณภาพส้มตัวอย่างในอนาคตอีกด้วย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ส่วนประกอบของสารอาหารในส้มเขียวหวาน (100 กรัม)	6
2 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด	9
3 การแบ่งช่วงคลื่นย่านเนียร์อินฟราเรด	10
4 ตัวอย่างส้มในการทดลองช่วงที่ 1 ตั้งแต่ กรกฎาคม 2549 ถึง มีนาคม 2550	16
5 ตัวอย่างส้มในการทดลองช่วงที่ 2 ตั้งแต่ เมษายน 2550 ถึง มกราคม 2551	16
6 ลักษณะและคุณภาพส้มที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 1	18
7 ลักษณะและคุณภาพส้มที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2	19
8 ช่วงปริมาณ TSS และปริมาณกรด ในส้มที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 1	23
9 ผลทางสถิติของสมการ Calibration สำหรับทำนายปริมาณ TSS ของส้มแต่ละพันธุ์ และสำหรับส้มทุกพันธุ์ที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1	24
10 ผลทางสถิติที่ได้จากสมการ Calibration สำหรับทำนายปริมาณกรดของส้มแต่ละพันธุ์ และสำหรับส้มทุกพันธุ์ที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1	26
11 ช่วงปริมาณ TSS และกรดในส้มที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2	32
12 ผลทางสถิติของสมการ Calibration สำหรับทำนายปริมาณ TSS ของส้มแต่ละพันธุ์ และสำหรับส้มทุกพันธุ์ที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 2	33
13 ผลทางสถิติที่ได้จากสมการ Calibration สำหรับทำนายปริมาณกรดของส้มแต่ละพันธุ์ และสำหรับส้มทุกพันธุ์ที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 2	35
14 ช่วงปริมาณ TSS และกรดในส้มที่ใช้ตลอดโครงการ 18 เดือน	38
15 ผลทางสถิติที่ได้จากสมการ Calibration สำหรับทำนายปริมาณ TSS ของส้มแต่ละพันธุ์ และสำหรับส้มทุกพันธุ์ตลอดระยะเวลา 18 เดือน	39
16 ผลทางสถิติที่ได้จากสมการ Calibration สำหรับทำนายปริมาณกรดของส้มแต่ละพันธุ์ และสำหรับส้มทุกพันธุ์ตลอดระยะเวลา 18 เดือน	41
17 ผลการเปรียบเทียบผลทางสถิติที่ได้จากสมการ Calibration สำหรับทำนายปริมาณ TSS และปริมาณกรดของส้มขนานัมเบอร์ 1 ส้มสายน้ำผึ้ง ส้มโชกุนและส้มฟรุ้งมอนด์ ที่ทำการทดลองต่างช่วงเวลา	43

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	แสดงการดูดกลืนของโมเลกุล X-H ทำให้เกิดพีคในสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรด	11
2	แสดงลักษณะ Sample presentations ในเทคนิค NIRS	12
3	แสดงลักษณะภายนอกของสั้ม 5 พันธุ์ที่ใช้ในการทดลอง	19
4	แสดงการวัดตัวอย่างสั้มด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrometer	20
5	แสดงขั้นตอนการทดลองเพื่อหาปริมาณ TSS และกรดในตัวอย่างสั้ม	20
6	แสดงสเปกตรัมดิบของการดูดกลืนแสงในช่วงตั้งแต่ 643 – 970 nm ของสั้ม 5 พันธุ์	22
7	แสดงการพล็อตระหว่างแกน X คือ จำนวนแฟกเตอร์ และแกน Y คือ ค่า RMSEV (Root Mean Squares Error of Validation)	29
8	แสดงสเปกตรัมดิบของการดูดกลืนแสงในช่วงตั้งแต่ 643 – 970 nm ของสั้ม 4 พันธุ์	31
9	แสดงสเปกตรัมเฉลี่ยที่ทำการปรับสเกลด้วยวิธี Normalization ในช่วงแสง NIR ตั้งแต่ 643 – 970 nm ของสั้ม 5 พันธุ์	37

คำนำ

ส้ม เป็นไม้พุ่มหรือไม้ต้นขนาดเล็ก อยู่ในวงศ์ Rutaceae สกุล Citrus เจริญเติบโตกระจายอยู่ทั่วโลก มีการระบุว่าได้มีการปลูกส้มมานานหลายพันปีมาแล้ว เชื่อกันว่า ส้มหลายชนิดในสกุล Citrus มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อนของทวีปเอเชีย และกลุ่มเกาะมลายู ในประเทศไทยไม่มีหลักฐานปรากฏชัดว่ามีการปลูกส้มกันมาตั้งแต่เมื่อใด พบแต่ว่ามีการรายงานถึงส้ม 3 ชนิด คือ ส้มโอ ส้มแก้ว และมะกรูด เมื่อปี พ.ศ. 2236 หรือกว่า 300 ปีมาแล้ว

อนุกรมวิธาน

อนุกรมวิธานของส้มนั้น มีความยุ่งยากและสับสนในการจำแนกและตั้งชื่อชนิด (สปีชีส์) ของส้มอยู่เสมอ ซึ่งบางครั้งในการจำแนกกลุ่มขึ้นกับนักอนุกรมวิธานด้วย เช่น สวิงเกิล (Swingle) จำแนกได้ 16 ชนิด, ทานากะ (Tanaka) จำแนกได้ 162 ชนิด และ ฮอดจสัน (Hodgson) จำแนก 36 ชนิด ขณะที่บางท่านเสนอว่าส้มทั้งหลายจัดเป็นพืชชนิดเดียวกัน ที่สามารถผสมพันธุ์ระหว่างกันได้ ด้วยเหตุนี้จึงมักจะพบชื่อวิทยาศาสตร์ของส้มหลายชนิดที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อความแน่นอน จึงมักจะระบุถึงนักอนุกรมวิธานผู้จำแนกเอาไว้ด้วย ปัจจุบันนี้ มีการใช้เทคนิคในการระบุเอกลักษณ์ด้วยดีเอ็นเอ (DNA) และมีการเสนอว่าอาจจะแบ่งชนิดพื้นฐานของส้มอย่างกว้างๆ 4 ชนิด ด้วยกัน คือ

1. *Citrus halimii* - พบทางภาคใต้ของไทย และตะวันตกของมาเลเซีย อาจเป็นชนิดต้นกำเนิดของส้ม *Poncirus* และ *Fortunella*

2. *Citrus medica* - ส้มโอมือ หรือส้มมือ อาจเป็นต้นกำเนิดของมะนาว หรือเลมอน (lemon)

3. *Citrus reticulata* - อาจเป็นต้นกำเนิดของส้มจำพวกส้มเขียวหวานทั้งหลาย

4. *Citrus maxima* (หรือ *C. grandis*) - ส้มโอ อาจเป็นต้นกำเนิดของส้มในปัจจุบันบางชนิด นอกจากนี้ มีการจำแนกความแตกต่างของส้มแต่ละชนิด โดยใช้ลักษณะ ขนาด รูปทรงผล ผิวเปลือก สี เนื้อ รสชาติ ความหนาของเปลือก ขนาดและจำนวนของเมล็ด ฯลฯ รวมถึงความสำคัญหรือคุณค่าทางเศรษฐกิจ ซึ่งสามารถแบ่งพืชกลุ่มส้มออกเป็น 4 กลุ่มคือ

1. กลุ่มส้มติดเปลือก หรือกลุ่มส้มเกลี้ยง (oranges) เป็นกลุ่มที่คาดว่า มีถิ่นกำเนิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดียด้านที่ติดกับประเทศพม่าและประเทศจีน ปัจจุบันส้มในกลุ่มนี้จัดเป็นกลุ่มส้มที่มีการปลูกมากที่สุดในโลก ประเทศที่มีการปลูกมาก คือ สหรัฐอเมริกา บราซิล อาร์เจนตินา เม็กซิโก สเปน และออสเตรเลีย ผลผลิตส้มส่วนใหญ่ใช้เพื่อบริโภคสดหรือคั้นเป็นน้ำส้มคั้นเข้มข้น ผลพลอยได้จากส้มชนิดนี้คือ น้ำมันหอมระเหย (essential oil) และเพกทิน (pectin) ส้มในกลุ่มนี้ที่มีปลูกในประเทศไทยคือ ส้มเกลี้ยง และส้มตรา

2. กลุ่มส้มเปลือกอ่อน (mandarins) ถิ่นกำเนิดของส้มกลุ่มนี้คาดว่าอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย เป็นกลุ่มที่ปลูกแพร่หลายในประเทศจีน ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ อินเดีย ออสเตรเลีย สเปน อิสราเอล และไทย ผลผลิตส่วนใหญ่นิยมใช้บริโภคสด เนื่องจากมีเปลือกบาง หลุดล่อนออกจากส่วนเนื้อได้ง่าย ผลอ่อนนุ่ม และมีรสหวาน ส้มกลุ่มนี้ที่มีปลูกในประเทศไทย ได้แก่ ส้มเขียวหวาน ส้มสายน้ำผึ้ง ส้มแก้ว

3. กลุ่มส้มโอ (pomelo) และเกรปฟรุต (grapefruits) ส้มในกลุ่มนี้คาดว่ามีการกำเนิดในคาบสมุทรอินโดจีนและหมู่เกาะอินเดียตะวันออก ประเทศที่ปลูกมากและปลูกเพื่อการค้า ได้แก่ ประเทศไทย จีน เวียดนาม มาเลเซีย และไต้หวัน

4. กลุ่มมะนาวหรือส้มที่มีรสเปรี้ยว (common acid members) ส้มในกลุ่มนี้ได้แก่ ส้มที่เรียกกันว่า ส้มชิตรอน (citron) ซึ่งได้แก่ ส้มมือ มะนาวฝรั่งหรือเลมอน (lemon) และมะนาว (lime) ส้มในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่มีการกำเนิดในทวีปเอเชีย โดยเฉพาะในประเทศอินเดีย การใช้ประโยชน์จากส้มในกลุ่มนี้ได้แก่ การทำน้ำคั้น (lemonade) การสกัดน้ำมันจากผิวเปลือก และสารเพกทิน (pectin) รวมทั้งการใช้เป็นไม้ประดับ ส้มบางชนิด เช่น ส้มมือ ในหลายประเทศใช้เป็นส่วนผสมของสมุนไพร

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ส่วนต่างๆ ที่สำคัญของส้ม ได้แก่ ลำต้น กิ่งก้าน ใบ และก้านใบ หนาม ดอก ผล เมล็ด และราก ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่ออธิบายลักษณะของส้มแต่ละชนิดแต่ละพันธุ์ และใช้จำแนกความแตกต่าง ตลอดจนใช้ประโยชน์ในการพัฒนาปรับปรุงสายพันธุ์

1. ลำต้น ส้มชนิดที่ปลูกกันโดยทั่วไปเป็นไม้ยืนต้นหรือไม้พุ่มขนาดกลางมีความสูงประมาณ 4-8 เมตร ความสูงของต้นส้มจะแตกต่างกันไปในแต่ละชนิด ส้มมีทรงต้นโปร่ง มีการแตกกิ่งก้านแผ่เป็นพุ่ม รัศมีของทรงพุ่มประมาณ 2-5 เมตร มีใบ ค่อนข้าง ดอกและผลเกิดอยู่บนกิ่ง หนามจะอยู่ด้านข้างของตา การจัดเรียงตัวของใบส้ม (phyllotaxy) ทั่วไปมีค่าเท่ากับ $3/8$

2. ใบ ใบส้มจัดเป็นใบเดี่ยว แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเรียกว่าแผ่นใบ หรือตัวใบ แผ่นใบมีรูปร่างกลมมน เรียวยาว รูปไข่ยาวหรือรูปโล่ ปลายใบแหลมหรือป้าน ขอบใบอาจเรียบหรือหยัก สีของใบมีตั้งแต่สีเขียวอมเหลืองถึงสีเขียวอมดำ ส่วนที่สองคือก้านใบ ซึ่งมีส่วนของก้านใบที่เรียกว่า หูใบ (wing) มีลักษณะเป็นปีก รูปทรงคล้ายรูปหัวใจ อาจเล็กแคบหรือมีขนาดใหญ่เกือบเท่าตัวใบ ลักษณะของแผ่นใบ สี ขนาด และหูใบ สามารถนำมาใช้จำแนกชนิดและพันธุ์ส้มได้ บนแผ่นใบมีต่อมน้ำมัน (oil gland) ขนาดเล็กหรือใหญ่กระจายอยู่ทั่วไป น้ำมันส้มมีกลิ่นเฉพาะแตกต่างกันตามชนิดและสายพันธุ์

3. ดอก ดอกส้มเกิดที่ปลายยอดอ่อนหรือที่มุมใบ อาจเกิดเป็นดอกเดี่ยว (solitary) หรือช่อดอก (inflorescence) เป็นดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) อยู่บนฐานรองดอก (receptacle) ซึ่งเป็นส่วนของก้านดอก (peduncle) ส่วนของดอกประกอบด้วยชั้นต่างๆ 4 วง เริ่มจากวงนอกสุด คือ กลีบเลี้ยง (calyx หรือ sepal) กลีบดอก (corolla หรือ petal) เกสรตัวผู้ (androecium หรือ stamen) และเกสรตัวเมีย (gynaecium หรือ pistil) กลีบเลี้ยงมีขนาดเล็กและมีสีเขียวหรือสีเขียวอ่อน กลีบดอกมีจำนวน 5 กลีบ มีสีขาว แต่อาจมีสีอมเขียวหรือมีสีม่วงเข้มในส้มบางชนิด ที่กลีบดอกมักมีต่อมน้ำมันกระจายอยู่ เกสรตัวผู้มีจำนวน 20-40 อัน มีก้าน (filament) สีขาว ยาว ส่วนปลายเป็นอับเกสร (anther) สีเหลือง ภายในมีละอองเกสร (pollen) จำนวนมาก ชั้นในสุด คือ เกสรตัวเมีย ประกอบด้วย รังไข่ (ovary) รูปร่างกลม สีเขียว ตั้งอยู่บนจานซึ่งเป็นส่วนของต่อมน้ำหวาน ส่วนปลายของรังไข่เป็นก้านชูเกสรตัวเมีย (style) และที่รับละอองเกสร (stigma) เมื่อดอกส้มบานจะมีกลิ่นหอมมาก

4. ผล คือ ส่วนที่เจริญและพัฒนาจากส่วนของรังไข่ ผลสัมโดยทั่วไปมีกลีบผลอยู่จำนวน 10 กลีบ อาจมีจำนวนกลีบมากหรือน้อยกว่าในแต่ละสายพันธุ์ กลีบเชื่อมติดกันเป็นวงกลมล้อมรอบแกนกลางของผล เมื่อสัมเริ่มติดผลและพัฒนาจนเป็นผลที่สมบูรณ์ส่วนของผนังไข่ (ovary wall) จะพัฒนาเปลี่ยนไปเป็นส่วนหนึ่งของผล คือ ส่วนเปลือกชั้นนอกสุด ที่มีสีเขียวหรืออาจเปลี่ยนเป็นสีอื่นเมื่อสุก เปลือกส่วนกลางที่มีลักษณะนุ่ม มีสีขาว อาจเป็นชั้นที่บางมากเช่นที่พบในส้มเขียวหวาน และส่วนในสุดที่เป็นเยื่อหุ้มกลีบ ผนังด้านในของส่วนในสุดนี้จะแบ่งเซลล์และขยายตัวออกกลายเป็นถุง (juice sac) ทำหน้าที่เก็บสะสมน้ำ น้ำตาล และสารอาหารต่างๆ

5. เมล็ด เมล็ดสัมมีการเจริญและพัฒนาจากไข่ (oval) รูปร่างคล้ายหยดน้ำ ด้านแหลมเป็นด้านที่รากงอกออกมา และด้านตรงข้ามซึ่งมีลักษณะป้าน รูปร่าง ขนาดของเมล็ด และสีของด้านป้านสามารถนำมาใช้เป็นลักษณะในการจำแนกชนิดและพันธุ์สัมได้ เมล็ดประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆคือ เปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) ซึ่งมี 2 ชั้น ชั้นนอกมีสีเหลืองฟางขาว ส่วนชั้นในมีลักษณะเป็นเยื่อบางสีน้ำตาล ด้านอ่อนหรือที่เรียกว่า เอ็มบริโอ (embryo) คือ ส่วนที่จะเจริญพัฒนากลายเป็นต้น และส่วนที่สะสมอาหารซึ่งเรียกว่า ใบเลี้ยง (cotyledon)

6. ราก เมื่อเมล็ดเริ่มงอก ส่วนของรากปฐมภูมิ (primary root) จะเจริญออกมาก่อน และมีการพัฒนาเป็นรากแก้ว (tap root) โดยปกติจะมีเพียงรากเดียว และมีการแตกแขนงออกไปเรียกว่า รากทุติยภูมิ (secondary root) รากที่มีขนาดใหญ่เรียกว่า ไพโอเนียร์รูต (pioneer root) และที่มีลักษณะเป็นรากขนาดเล็กเป็นกระจุก เจริญมาจากรากแก้วเรียกว่า รากฝอย (fibrous root) โดยทั่วไปรากสัมจะอยู่ในดินระดับก่อนข้างดินประมาณ 50 เซนติเมตร รากจะทำหน้าที่ที่ยึดลำต้นกับพื้นดิน ดูดแร่ธาตุอาหารและน้ำ

พันธุ์สัมที่นิยมเพาะปลูกในประเทศไทย

ส้มเขียวหวาน

ส้มเขียวหวาน(Tangerine) หรือส้มผิวทอง หรือส้มบางลาง หรือ ส้มบางมด มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus reticulata* เป็นไม้ผลกึ่งเมืองร้อน มีทรงพุ่มขนาดเล็ก ปลูกได้ดีในดินทุกภาคของประเทศไทย ดินควรมีสภาพเป็นกรด - ด่าง ประมาณ 5.7 - 6.9 แต่ถ้าปลูกในเขตภาคเหนือที่มีอากาศหนาวเย็นจะช่วยให้ผิวของผลมีสีเหลืองส้มมากขึ้น เริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุ 3 ปี และให้ผลผลิตไม่ต่ำกว่า 15 ปี ถ้ามีการดูแลรักษาอย่างดี ลำต้น สูงประมาณ 2.5 - 3 เมตรไม่มีหนาม กิ่งแก่มีสีเขียวเข้มไม่มีขน กิ่งอ่อนเป็นเหลี่ยมเรียว มีต่อมน้ำมันกระจายอยู่ทั่วไป ใบเป็นรูปไข่ค่อนข้างยาว หรือรูปโล่ หรือหอก ปลายและฐานใบมีลักษณะมน ส่วนปลายสุดของใบมีรอยเว้าเข้า ผิวท้องใบมีสีเขียวอมเหลือง ผิวด้านหลังใบเป็นมันสีเขียวเข้ม ตัวใบมีกลิ่น ก้านใบมีปีกแคบหรือไม่มีปีก มีสีเขียวอมเหลือง ใบมีขนาดเล็ก ดอกมีสีขาวขนาดเล็ก ดอกตูมยาว 0.5-0.7 เซนติเมตร ดอกบานมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5-2.5 เซนติเมตร แต่ละดอกมีจำนวนเกสรตัวผู้อยู่ในลักษณะแยกกันประมาณ 18-23 อัน ออกดอกในตำแหน่งซอกใบ เป็นดอกเดี่ยวหรือดอกช่อ ผลมีรูปร่างกลมแบน ผิวเปลือกสีเขียว เขียวอมเหลือง จนถึงแดงอมส้ม ผิวเปลือกเรียบ มีต่อมน้ำมันอยู่ภายใน ส่วนเปลือกบาง หนาประมาณ 0.2-0.3 เซนติเมตร มีกลิ่นหอมแรง ภายในหนึ่งผล

เหลืองอมส้ม ผิวเปลือกขรุขระเล็กน้อยเพราะมีต่อมน้ำมันใหญ่ เปลือกหนาและลอกเปลือกได้ยากกว่า ส้มเขียวหวาน เนื้อฉ่ำน้ำ มีปริมาณน้ำจำนวนมาก

ส้มโชกุน

ส้มโชกุนเป็นส้มที่คุณสมชาย รุจิระไพบุลย์ เจ้าของสวนส้มโชกุนจังหวัดยะลาได้จากการผสมพันธุ์โดยวิธีธรรมชาติระหว่างส้มเขียวหวานพันธุ์บางมด และ ส้มจากประเทศจีน ซึ่งมีรสชาติอร่อย หอมหวาน จนได้เป็นส้มพันธุ์ใหม่ ซึ่งมีคุณลักษณะที่ดี รสชาติอร่อย หอมหวาน และได้ขยายพันธุ์นำไปปลูกอย่างแพร่หลาย ส้มโชกุนเป็นพืชที่มีลักษณะเหมือนกับส้มเขียวหวาน การเจริญเติบโตดีพอ ๆ กับส้มเขียวหวาน ลักษณะรูปร่าง ทรงต้น ขนาดต้นก็เหมือนกับส้มเขียวหวาน ส่วนลักษณะที่แตกต่างไปจากส้มเขียวหวาน คือ ทรงต้น มีทรงพุ่มแน่นกว่าส้มเขียวหวาน กิ่งและใบจะตั้งขึ้น (Erect Form) ใบ สีเขียวเข้ม ขนาดของใบ เล็กกว่าส้มเขียวหวาน เมื่อนำใบมาขยี้แล้วดม จะมีกลิ่นหอม ดอก มีสีขาว ดอกใหญ่กว่าส้มเขียวหวานเล็กน้อย จะออกดอกมาก ในเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ ผล มีลักษณะเหมือนกับส้มเขียวหวานมาก ผลแก่จัดจะเปลี่ยนเป็น สีเหลืองแดง ปอกเปลือกง่าย ล่อน ขานมีลักษณะนิ่ม ให้น้ำส้มในปริมาณมาก รสชาติหวานอมเปรี้ยวนิด ๆ กลิ่นหอมมีน้ำหนักรสชาติดีกว่าส้มเขียวหวาน

ตลาดส้มส่งออก

ส้มนับว่าเป็นหนึ่งในผลไม้ยอดนิยมของคนไทย ตลาดส่งออกส้มหลักของไทยเป็นตลาดในเอเชีย และตลาดที่ไทยมุ่งหวังที่จะขยายการส่งออกส้มต่อไปคือ ตลาดประเทศต่าง ๆ ที่มีชาวเอเชียอพยพไปตั้งรกรากอยู่ เช่น สหรัฐฯ แคนาดา เป็นต้น สำหรับตลาดในอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ และแคนาดา ซึ่งเป็นตลาดที่ไทยเพิ่งบุกเบิกการส่งออกส้มในช่วงระยะเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมา โดยใช้กลยุทธ์เจาะตลาดเองโดยตรง ปัจจุบันเกษตรกรผู้ปลูกส้มในไทยมีการขยายสวนส้มอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปริมาณส้มในประเทศเพิ่มขึ้น จนส่งผลให้ราคาส้มมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นผู้ประกอบการธุรกิจสวนส้มรายใหญ่จึงเริ่มขยายตลาดส่งออกส้มเพื่อรองรับกับปริมาณส้มที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคต และหลีกเลี่ยงการแข่งขันที่รุนแรงขึ้นในตลาดในประเทศทั้งจากผู้ผลิตรายย่อย และส้มที่นำเข้าจากจีน

มูลค่าส่งออกส้มของไทยในปี 2548 มีการขยายตัวอย่างมากเป็น 135.37 ล้านบาท เมื่อเทียบกับในปี 2547 ที่มีมูลค่าการส่งออกส้มเพียง 54.00 ล้านบาท เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 150.7 และในปี 2549 คาดว่ามูลค่าการส่งออกจะยังคงขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยการส่งออกส้มของไทยแยกเป็นการส่งออกส้มเปลือกบาง 76.64 ล้านบาท เมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมาแล้วเพิ่มขึ้นเกือบ 5 เท่าตัว ตลาดส่งออกสำคัญคือ อินโดนีเซียมีสัดส่วนร้อยละ 42.4 รองลงมาคือ ฟิลิปปินส์ร้อยละ 36.5 มาเลเซียร้อยละ 7.8 และจีนร้อยละ 6.8 ส่วนตลาดที่น่าสนใจคือ พม่า สิงคโปร์ ฮองกง และญี่ปุ่น ส่วนการส่งออกส้มแมนดารินเท่ากับ 58.73 ล้านบาท เมื่อเทียบกับในปีที่ผ่านมาแล้วเพิ่มขึ้นร้อยละ 43.2 ตลาดส่งออกสำคัญคือ อินโดนีเซียมีสัดส่วนร้อยละ 43.0 รองลงมาคือ ฮองกงร้อยละ 22.8 และจีนร้อยละ 10.8 สำหรับตลาดที่น่าสนใจคือสิงคโปร์ ฟิลิปปินส์ พม่า แคนาดา เยอรมนี ญี่ปุ่น และคูเวต

เหลืองอมส้ม ผิวเปลือกขรุขระเล็กน้อยเพราะมีต่อมน้ำมันใหญ่ เปลือกหนาและลอกเปลือกได้ยากกว่า ส้มเขียวหวาน เนื้อน้ำ มีปริมาณน้ำจำนวนมาก

ส้มโชกุน

ส้มโชกุนเป็นส้มที่คุ้นเคย รุจิระไพบุลย์ เจ้าของสวนส้มโชกุนจังหวัดยะลาได้จากการผสมพันธุ์โดยวิธีธรรมชาติระหว่างส้มเขียวหวานพันธุ์บางมด และ ส้มจากประเทศจีน ซึ่งมีรสชาติอร่อย หอมหวาน จนได้เป็นส้มพันธุ์ใหม่ ซึ่งมีคุณลักษณะที่ดี รสชาติอร่อย หอมหวาน และได้ขยายพันธุ์นำไปปลูกอย่างแพร่หลาย ส้มโชกุนเป็นพืชที่มีลักษณะเหมือนกับส้มเขียวหวาน การเจริญเติบโตดีพอ ๆ กับส้มเขียวหวาน ลักษณะรูปร่าง ทรงต้น ขนาดต้นก็เหมือนกับส้มเขียวหวาน ส่วนลักษณะที่แตกต่างไปจากส้มเขียวหวาน คือ ทรงต้น มีทรงพุ่มแน่นกว่าส้มเขียวหวาน กิ่งและใบจะตั้งขึ้น (Erect Form) ใบ สีเขียวเข้ม ขนาดของใบ เล็กกว่าส้มเขียวหวาน เมื่อนำใบมาขยี้แล้วดม จะมีกลิ่นหอม ดอก มีสีขาว ดอกใหญ่กว่าส้มเขียวหวานเล็กน้อย จะออกดอกมาก ในเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ ผล มีลักษณะเหมือนกับส้มเขียวหวานมาก ผลแก่จัดจะเปลี่ยนเป็น สีเหลืองแดง ปอกเปลือกง่าย ล่อน ขานมีลักษณะนิ่ม ให้น้ำส้มในปริมาณมาก รสชาติหวานอมเปรี้ยวนิด ๆ กลิ่นหอมมีน้ำหนักรสชาติดีกว่าส้มเขียวหวาน

ตลาดส้มส่งออก

ส้มนับว่าเป็นหนึ่งในผลไม้ยอดนิยมของคนไทย ตลาดส่งออกส้มหลักของไทยเป็นตลาดในเอเชีย และตลาดที่ไทยมุ่งหวังที่จะขยายการส่งออกส้มต่อไปคือ ตลาดประเทศต่าง ๆ ที่มีชาวเอเชียอพยพไปตั้งรกรากอยู่ เช่น สหรัฐ แคนาดา เป็นต้น สำหรับตลาดในอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ และแคนาดา ซึ่งเป็นตลาดที่ไทยเพิ่งบุกเบิกการส่งออกส้มในช่วงระยะเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมาี้ โดยใช้กลยุทธ์เจาะตลาดเองโดยตรง ปัจจุบันเกษตรกรผู้ปลูกส้มในไทยมีการขยายสวนส้มอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปริมาณส้มในประเทศเพิ่มขึ้น จนส่งผลให้ราคาส้มมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นผู้ประกอบการธุรกิจสวนส้มรายใหญ่จึงเริ่มขยายตลาดส่งออกส้มเพื่อรองรับกับปริมาณส้มที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคต และหลีกเลี่ยงการแข่งขันที่รุนแรงขึ้นในตลาดในประเทศทั้งจากผู้ผลิตรายย่อย และส้มที่นำเข้าจากจีน

มูลค่าส่งออกส้มของไทยในปี 2548 มีการขยายตัวอย่างมากเป็น 135.37 ล้านบาท เมื่อเทียบกับในปี 2547 ที่มีมูลค่าการส่งออกส้มเพียง 54.00 ล้านบาท เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 150.7 และในปี 2549 คาดว่ามูลค่าการส่งออกจะยังคงขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยการส่งออกส้มของไทยแยกเป็นการส่งออกส้มเปลือกบาง 76.64 ล้านบาท เมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมาแล้วเพิ่มขึ้นเกือบ 5 เท่าตัว ตลาดส่งออกสำคัญคือ อินโดนีเซียมีสัดส่วนร้อยละ 42.4 รองลงมาคือ ฟิลิปปินส์ร้อยละ 36.5 มาเลเซียร้อยละ 7.8 และจีนร้อยละ 6.8 ส่วนตลาดที่น่าสนใจคือ พม่า สิงคโปร์ ฮองกง และญี่ปุ่น ส่วนการส่งออกส้มแมนดารินเท่ากับ 58.73 ล้านบาท เมื่อเทียบกับในปีที่ผ่านมาแล้วเพิ่มขึ้นร้อยละ 43.2 ตลาดส่งออกสำคัญคือ อินโดนีเซียมีสัดส่วนร้อยละ 43.0 รองลงมาคือ ฮองกงร้อยละ 22.8 และจีนร้อยละ 10.8 สำหรับตลาดที่น่าสนใจคือสิงคโปร์ ฟิลิปปินส์ พม่า แคนาดา เยอรมนี ญี่ปุ่น และคูเวต

คุณค่าทางอาหาร

ส้มเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง อุดมด้วยแร่ธาตุและวิตามินที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย สามารถป้องกันอาการของโรคบางชนิดได้ เช่น โรคหัวใจ โรคเลือดออกตามไรฟัน เป็นต้น นอกจากนี้ในส่วนของเส้นใยของส้ม ยังช่วยลดอาการท้องผูกจึงเป็นที่นิยมบริโภคทั้งผลสดและน้ำส้มคั้น

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของสารอาหารในส้มเขียวหวาน (100 กรัม)

แคลอรี	40	หน่วย
ความชื้น	89.9	%
โปรตีน	0.6	หน่วย
ไขมัน	0.4	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	8.6	กรัม
เส้นใย	0.5	กรัม
แคลเซียม	30	มิลลิกรัม
โปรตัสเซียม	24	มิลลิกรัม
เหล็ก	0.8	มิลลิกรัม
วิตามิน เอ	1,062	I.U.
วิตามิน บี1	0.04	มิลลิกรัม
วิตามิน บี2	0.04	มิลลิกรัม
วิตามิน ซี	0.4	มิลลิกรัม
วิตามิน Niacin	0.4	มิลลิกรัม

การเก็บเกี่ยวผลส้ม

ส้มเป็นผลไม้จำพวก non-climacteric fruits คือ อัตราการหายใจของผลภายหลังการเก็บเกี่ยวจะลดลงเรื่อยๆ และคุณภาพของผลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก การเก็บเกี่ยวเมื่อถึงระยะสุกแก่เต็มที่ (mature) จะได้ผลคุณภาพดีเหมาะสำหรับการบริโภค แต่หากเก็บเกี่ยวก่อน ผลที่มีอายุอ่อนเกินไปจะมีรสเปรี้ยว (दनय, 2545) เมื่อผลส้มเริ่มสุกแก่ ปริมาณน้ำตาลจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อถึงระยะก่อนผลสุกแก่เต็มที่ อัตราการเพิ่มของน้ำตาลจะลดลง ส่วนกรดก็มีปริมาณลดลง ไม่ควรเก็บเกี่ยวผลส้มหลังฝนตกหรือหลังการให้น้ำแบบฉีดพ่นทำให้ผลเปียกเพราะส้มที่ยังเปียกจะมีเซลล์ผิวที่เต่ง จึงเป็นผลได้ง่าย นอกจากนั้นต่อมน้ำมันที่เปลือกยังแดงง่ายทำให้เกิดตำหนิที่ผิวได้ ซึ่งทำให้ง่ายต่อการแพร่ระบาดของโรคหลังการเก็บเกี่ยว (วรรณนก, 2546)

ดัชนีการเก็บเกี่ยว

ดัชนีการเก็บเกี่ยวที่ดีควรเป็นดัชนีที่สามารถตรวจสอบได้ง่าย ไม่ซับซ้อน ไม่ต้องมีการทำลายผลิตภัณฑ์ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และราคาไม่แพงโดยดัชนีการเก็บเกี่ยวจะพิจารณาจาก (นิวัตร, 2538)

1. การนับอายุ จากระยะออกดอกถึงดอกบานประมาณ 1 เดือน และจากระยะดอกบานถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 8-9 เดือน ในสัมพันธ์พริมองต์ สำหรับสัมพันธ์สายน้ำผึ้งจะมีอายุประมาณ 10-11 เดือน ส่วนสัมพันธ์หวานประมาณ 10 เดือน โดยเริ่มออกดอก ในเดือนกุมภาพันธ์และเก็บเกี่ยวในเดือนธันวาคม
2. การวัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น ความต้านทานแรงกดของผล ความถ่วงจำเพาะ และปริมาณน้ำคั้น
3. การวัดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของผลส้ม โดยใช้เครื่องมือและวิธีการต่างๆ เช่น การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid) TSS) ด้วยเครื่อง Refractometer มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ (°Brix) และการหาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity, TA)

คุณภาพของผลิตภัณฑ์และมาตรฐาน

การกำหนดมาตรฐานของผลสัมนับว่ามีความสำคัญ เพราะมาตรฐานใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายได้ และยังใช้ในการตัดสินข้อโต้แย้งที่อาจเกิดขึ้นในแง่ของคุณภาพระหว่างการค้าขายด้วย แม้แต่ในประเทศไทยเองเมื่อการค้าขายสัสมายาวตัวมาก การกำหนดมาตรฐานของส้มควรเกิดจากความร่วมมือของเกษตรกร พ่อค้า ผู้ประกอบการส่งออก และภาครัฐบาล ซึ่งรับผิดชอบงานด้านมาตรฐาน เช่น กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปัจจุบันชั้นมาตรฐานของส้มในประเทศไทย มีการกำหนดมาตรฐานกันโดยเกษตรกรและพ่อค้ารายใหญ่เป็นกลุ่มเท่านั้น ยังไม่มีชั้นมาตรฐานที่ใช้กันทั่วประเทศ แต่ในอนาคตการกำหนดชั้นมาตรฐานเพื่อกำหนดคุณภาพของส้มเพื่อใช้กันทั่วประเทศเป็นสิ่งที่จำเป็น

ข้อกำหนดในการจัดคุณภาพส้ม ในการกำหนดชั้นมาตรฐานของผลส้ม ควรคำนึงถึงปัจจัยคุณภาพหลายประการ เช่น ความแก่ สี ความแข็งของผล ขนาด รูปร่าง ลำต้นต่างๆ อัตราส่วนของของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อกรด อาการผิดปกติทางสรีรวิทยาต่างๆ เช่น Sunburn, Chilling injury และความสม่ำเสมอของผล เป็นต้น นอกจากนั้นในบางแห่งมีการกำหนดรสชาติด้วยว่าต้องไม่มีรสชาติที่ผิดปกติ เช่น การเกิดรสชาติและกลิ่นหมัก เป็นต้น คุณภาพมาตรฐานขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภค ความสามารถในการผลิตของเกษตรกร คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนสภาพในการขนส่ง ซึ่งสิ่งเหล่านี้มักมีข้อขัดแย้งกัน ทำให้การกำหนดมาตรฐานต้องกำหนดอย่างเป็นกลาง ซึ่งทุกฝ่ายยอมรับได้ (ดนัย, 2543)

ผลไม้ที่มีคุณภาพดีหรือลักษณะที่ดีย่อมจำหน่ายได้ราคาสูงกว่าผลไม้ที่มีคุณภาพต่ำ ดังนั้นในการกำหนดเกณฑ์คุณภาพจึงจำเป็นต้องมีมาตรฐานเกิดขึ้นเพื่อใช้ในการสื่อความหมายให้เข้าใจตรงกัน ซึ่งมาตรฐานคุณภาพมีองค์ประกอบดังนี้

1. องค์ประกอบคุณภาพสามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ ลักษณะภายนอก (external characteristic หรือ appearance) ได้แก่ ลักษณะต่างๆที่มองเห็นด้วยตา สัมผัสได้ด้วยมือ ประกอบด้วยรูปร่าง ขนาด สี สัน หรือความเป็นมันเงา เป็นต้น และลักษณะภายใน (internal characteristic) ได้แก่ ลักษณะที่ได้จากการบริโภคด้วยปาก ลิ้น จมูก เช่น รสชาติ (taste) เนื้อสัมผัส (texture) ปริมาณน้ำคั้น หรืออาการผิดปกติภายในผล เป็นต้น
2. การวิเคราะห์คุณภาพ สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ แบบจิตวิสัย (subjective) ได้แก่ การประเมินคุณภาพด้วยตา มือสัมผัส และด้วยการชิม ซึ่งการตรวจสอบแบบนี้มักเกิดความผิดพลาดได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อมีผลผลิตที่ต้องได้รับการตรวจสอบปริมาณที่มาก (Bryan et al., 1980) เพราะประสาทการรับรู้ทั้งทางตา ปาก และมือสัมผัสในแต่ละเวลาไม่เท่ากัน อีกทั้งความสามารถของประสาทการรับรู้เหล่านี้จะลดลงเมื่อมีการใช้งานติดต่อกันเป็นเวลานาน เนื่องจากความเมื่อยล้า อย่างไรก็ตาม ผู้ที่มีประสบการณ์สูงอาจมีความชำนาญในการตรวจสอบคุณภาพได้ค่อนข้างแม่นยำ ส่วนการตรวจสอบแบบวัตถุวิสัย (objective) เป็นการวัดคุณภาพ โดยอาศัยเกณฑ์ที่วัดออกมาเป็นตัวเลขโดยใช้เครื่องมือเข้าช่วย เช่น การชั่งน้ำหนัก การวัดขนาด การวัดปริมาณกรด หรือการวัดปริมาณของของแข็งที่ละลายน้ำ วิธีการตรวจสอบแบบวัตถุวิสัยนี้สามารถตรวจสอบคุณภาพได้เที่ยงตรงและมีความผิดพลาดน้อย โดยอาศัยเกณฑ์ที่วัดออกมาเป็นตัวเลขซึ่งมีเครื่องมือเข้ามาช่วย วิธีนี้คุณภาพที่วัดได้มีความเที่ยงตรงสูง
3. การกำหนดมาตรฐาน ผลผลิตทางการเกษตรมีความแปรปรวนในคุณภาพและแตกต่างกันตามฤดูกาล แหล่งปลูก และวิธีการเพาะปลูก ดังนั้นการกำหนดมาตรฐานมีหลักเกณฑ์ ดังนี้
 - ทำการสำรวจผลผลิตในแหล่งปลูกหลัก ๆ ว่าผลผลิตมีช่วงคุณภาพเป็นอย่างไร ทั้งคุณภาพภายในและคุณภาพภายนอก
 - ร่างมาตรฐานขึ้นโดยให้ผู้เกี่ยวข้องได้มีส่วนร่วม เปิดโอกาสให้มีการวิพากษ์วิจารณ์แก้ไขให้เกิดความยุติธรรมแก่ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง
 - ทดลองใช้และประเมินการใช้มาตรฐานนั้นแล้วแก้ไขข้อบกพร่องให้ดีขึ้น
 - ประกาศใช้เป็นทางการ
4. องค์ประกอบของมาตรฐาน

คุณภาพขั้นต่ำของผลผลิต การกำหนดคุณภาพขั้นต่ำของผลผลิตประกอบด้วย ลักษณะตรงตามพันธุ์ของผลผลิตนั้นๆมีความสมบูรณ์ทางพืชสวน (อาจจะระบุถึง ปริมาณของของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ปริมาณกรด ปราศจากโรค แมลง และตำหนิต่างๆโดยทั่วไป ถ้าผลผลิตมีคุณภาพต่ำต้องมีการคัดออกทั้งหรือนำไปแปรรูป

ชั้นมาตรฐาน ส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 3 ชั้นคือ ชั้นแรกเป็นชั้นที่ดีที่สุด เป็นชั้นพิเศษ ต่อมาเป็นชั้นที่มีคุณภาพ รองลงมาเป็นชั้น 1 และชั้น 2 ตามลำดับ (จริงแท้, 2538)

หลักการพื้นฐานของเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Theory and Principle of Near Infrared Spectroscopy)

เมื่อปี ค.ศ.1800 Sir William Herschel ได้ศึกษาเกี่ยวกับ Heating effect ในช่วงต่าง ๆ ของสเปกตรัม โดยค้นพบ Heating effect สูงสุดในแถบแสงที่อยู่ถัดไปจากแสงสีแดง (red end) แต่ไม่สามารถมองเห็นสเปกตรัม (Spectrum) ได้ จึงเรียกช่วงรังสีที่เฝ้าค้นพบว่ารังสีอินฟราเรด (Infrared Radiation) การค้นพบครั้งนี้ถือเป็นการค้นพบที่ยิ่งใหญ่ เพราะรังสีอินฟราเรดประกอบไปด้วยสามช่วงความยาวคลื่นที่สำคัญ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่างกัน หนึ่งในนั้นก็คือช่วงรังสีเนียร์อินฟราเรด เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy; NIRS) นั่นเอง

แสงใกล้อินฟราเรด (Near Infrared) เป็นคลื่นแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 780-2500 นาโนเมตร โดยมีหลักการดังนี้ คือ เมื่อแสงส่องผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุแล้วสารเกิดการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง Near Infrared ทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่นที่ความถี่สูงในการสั่นของพันธะต่าง ๆ จะเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกันซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละพันธะรวมทั้งตำแหน่งของโมเลกุลและช่วงการดูดกลืนแสงก็เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชันด้วย ดังนั้นเมื่อโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นตรงกับพันธะในโมเลกุลก็จะเกิดการสั่นและดูดกลืนรังสีไว้ ทำให้มีพลังงานมากกว่าปกติ จากเดิมที่โมเลกุลอยู่ในสภาวะพื้น (ground vibration level) เมื่อได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจะอยู่ในสภาวะกระตุ้น (excited vibration level) อย่างไรก็ตามเมื่อโมเลกุลกลับสู่สภาวะพื้นก็จะปล่อยพลังงานที่รับเพิ่มเข้าไปออกมาในรูปพลังงานความร้อน ปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสง (Absorbance, A) เป็นไปตามกฎของเบียร์ – แลมเบิร์ต (Beer – Lambert) พลังงานของคลื่นแสงเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่าง พลังงานจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง ความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้น (Osborne *et al.*, 1993) สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้จะมี H-atom เป็นองค์ประกอบ เช่น O-H พบในแป้ง น้ำ น้ำตาล N-H พบในโปรตีน C-H พบในน้ำมัน (นิพนธ์, 2545)

ช่วงคลื่นอินฟราเรด (IR) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

ตารางที่ 2 การแบ่งช่วงคลื่นอินฟราเรด

ช่วงคลื่น	ช่วงความยาวคลื่น (nm)	จำนวนคลื่น (cm ⁻¹)
อินฟราเรดย่านใกล้ (Near IR, NIR)	800 – 2500	12500 – 4000
อินฟราเรดย่านกลาง (Mid IR or fundamental IR)	2500 – 25000	4000 – 400
อินฟราเรดย่านไกล (Far IR)	25000 – 100000	400 – 10

ช่วงใกล้อินฟราเรด (Near Infrared)

มีความยาวคลื่นในช่วง 800 – 2500 นาโนเมตร แถบการดูดกลืนคลื่นแสงเกิดจากโอเวอร์โทน และมักพบว่าช่วงการดูดกลืนแสงที่ได้ค่อนข้างต่ำ มีประโยชน์ในการวิเคราะห์หาปริมาณของกลุ่มฟังก์ชันนัล และศึกษาโครงสร้างโมเลกุล

ช่วงกลางอินฟราเรด (Middle Infrared)

มีความยาวคลื่นในช่วง 2500 – 50000 นาโนเมตร สเปกตรัมที่ได้ค่อนข้างยุ่งยาก เพราะโครงสร้างของโมเลกุลที่สมบูรณ์ การวิเคราะห์จึงต้องให้วิธีเปรียบเทียบกับสเปกตรัมที่ทราบโครงสร้างแล้ว ใช้ในการวิเคราะห์พวกกลุ่มฟังก์ชันนัล

ช่วงไกลอินฟราเรด (Far Infrared)

มีความยาวคลื่นในช่วง 50,000 – 1,000,000 นาโนเมตร ช่วงนี้ไม่ค่อยที่จะได้ใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากสเปกตรัมไม่ได้เกิดจากการสั่นหรือการหมุนของโมเลกุล แต่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทรานสิชันที่เกี่ยวกับการหมุนของโมเลกุล

การวิเคราะห์ตำแหน่งพีคในแถบสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรด (Band assignment of NIR spectrum)

โดยทั่วไปช่วงคลื่นแสง NIR ยังแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้

ตารางที่ 3 การแบ่งช่วงคลื่นย่านเนียร์อินฟราเรด

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

Region I

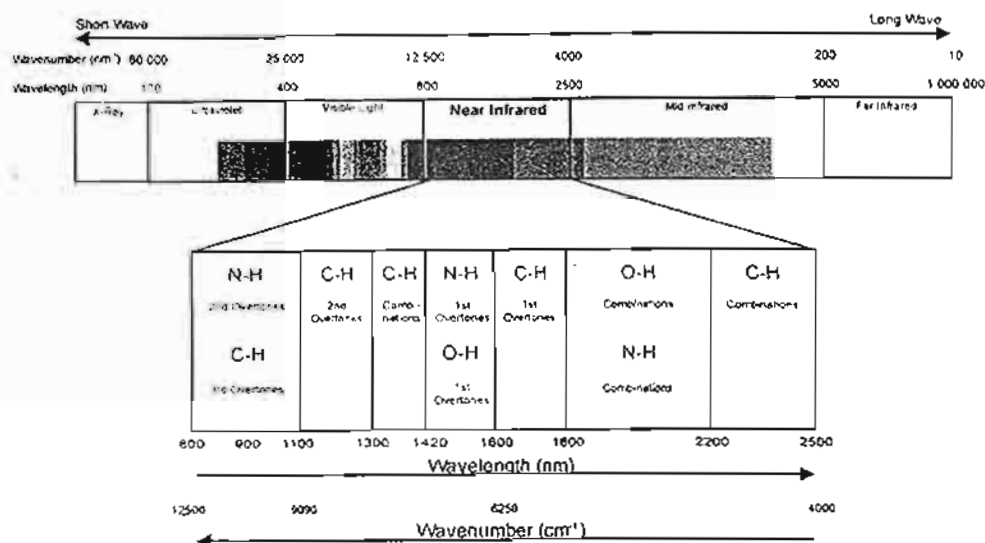
มีชื่อเรียกกันว่า “รังสีเนียร์อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น” (Short wavelength NIR, SWNIR) หรือ “Herschel region” เราจะพบโอเวอร์โทนที่สองและสาม (2^{nd} and 3^{rd} overtones) และการสั่นรวม (combination mode) สำหรับการสั่นแบบยืด (stretching vibration) ของหมู่ฟังก์ชัน X-H, X=C, O, N

Region II

จะพบโอเวอร์โทนที่หนึ่งและการสั่นรวมหลากหลายแบบในการสั่นแบบยืด (stretching vibration) ของ X-H

Region III

ส่วนมากจะปรากฏการสั่นรวม (combination mode)



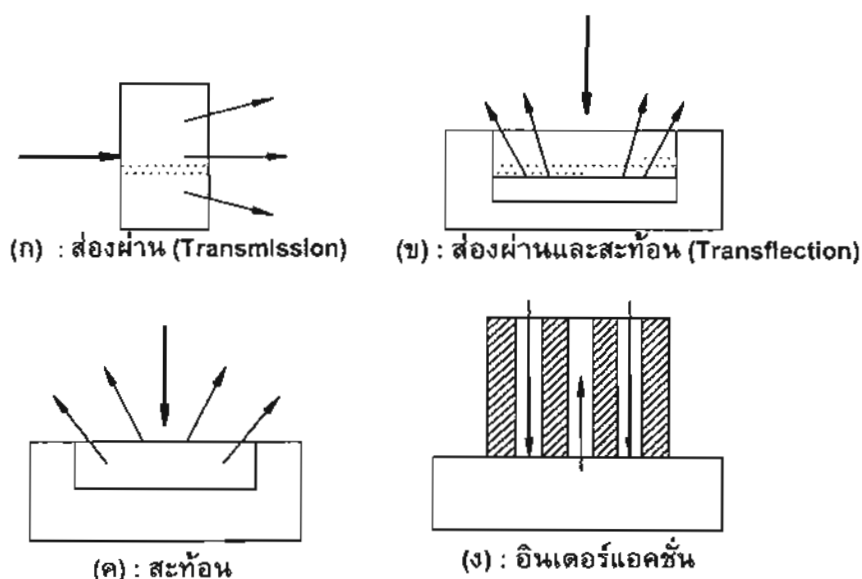
Spectral Range

รูปที่ 1 แสดงการดูดกลืนของโมเลกุล X-H ทำให้เกิดพีคในสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรด

รูปแบบที่วัดคุณสมบัติปฏิกิริยาต่อแสงเนียร์อินฟราเรด (NIR)

แสงเนียร์อินฟราเรด (NIR) เมื่อผ่านไปยังตัวอย่างจะเกิดการกระทำกับสารได้หลายแบบ เช่น คลื่นแสงถูกดูดกลืน (absorption) การส่องผ่าน (transmission) การสะท้อน (reflection) การเรืองแสง (fluorescence) การกระเจิงแสง (scattering) (อนุพันธ์, 2545) ดังนั้นควรมีการจัดวางตัวอย่างในการใช้เทคนิค NIR เพื่อให้ได้สเปกตรัมที่สัมพันธ์กับปริมาณค่าทางเคมีที่สนใจ ได้แก่ (สุมาพร, 2545)

1. Transmission เป็นการวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาในด้านตรงกันข้ามกับด้านที่แสงตกกระทบ ดังภาพ 2ก
2. Reflection แสงตกกระทบที่พื้นผิวของตัวอย่าง วัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาโดยรวมถึงแสงที่สะท้อนจากเนื้อตัวอย่างส่วนที่ใกล้ผิวตัวอย่างได้อีกด้วย ดังภาพ 2ข
3. Transflection แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบตัวอย่าง ผ่านตัวอย่างลงไปตกกระทบแผ่นเซรามิก ทอง หรืออะลูมิเนียมในชั้นใต้สุด แล้วสะท้อนกลับมายัง detector ดังภาพ 2ค
4. Interaction ใช้ในกรณี fiber optics probe แสงจากแหล่งกำเนิดแสงย่าน NIR ส่องผ่านลงมายังตัวอย่างในวงแหวนด้านนอก แล้วแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างถูกส่งไปยัง detector บริเวณส่วนกลาง fiber optics probe ดังภาพ 2ง



รูปที่ 2 แสดงลักษณะ Sample presentations ในเทคนิค NIRS

ประโยชน์ของเทคนิค NIR

Osborne *et al.* (1993) ได้กล่าวว่า เครื่องมือแต่ละประเภทต่างก็มีข้อจำกัดในการใช้งาน แต่เครื่อง NIR มีประโยชน์และข้อดีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทางเคมีหรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น สำหรับการนำเครื่อง NIR ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมมีประโยชน์มากมายเช่น

1. ง่ายต่อการเตรียมตัวอย่าง ไม่จำเป็นต้องชั่งตัวอย่างก่อนนำมาวัดค่า
2. มีความรวดเร็วในการวัดค่า
3. การตรวจสอบเป็นแบบไม่ทำลาย ทำให้ตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ สามารถจำหน่ายส่งออกหรือบริโภคได้ เป็นการประหยัดต้นทุนของผลิตภัณฑ์อีกทางหนึ่ง
4. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ลดต้นทุนในการดูแลรักษาสภาพแวดล้อมเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี
5. สะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากในการปฏิบัติไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์ หรือต้องได้รับการฝึกฝนโดยเฉพาะ สามารถปฏิบัติตามคู่มือการใช้งานได้ทันที
6. ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี และเครื่องแก้วเป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถลดต้นทุนในเรื่องสารเคมี และอุปกรณ์เครื่องแก้วลงไปได้
7. เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับนำไปควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิต

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคุณภาพของผลไม้โดยใช้เทคนิค NIR

โดยปกติทั่วไปในอดีตมี 2 ลักษณะในการตรวจสอบคุณภาพผักและผลไม้ ลักษณะแรก คือ การตรวจสอบด้วยสายตา เพื่อสำรวจลักษณะภายนอกของผลผลิต ซึ่งสามารถพิจารณาได้เป็นผล ๆ ที่ดูจากลักษณะสีผิว ตาหนีภายนอก เช่น แผล สะเก็ด รอยแตก รอยขีด การเกิดโรค เป็นต้น ลักษณะที่สองการตรวจสอบคุณภาพภายในของผลผลิต เช่น การเกิดน้ำในแกนกลางของแอปเปิ้ล (water core)

ทำให้เกิดอาการไส้กลวงและเมื่อเก็บนานขึ้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล วิธีเดิมในการตรวจสอบโดยการผ่าผล แอปเปิ้ลว่าเป็นโรคนี้มากน้อยแค่ไหน ถ้าเป็นเกิน 10% ของแอปเปิ้ลชุดที่นำมาตรวจสอบ แอปเปิ้ลทั้งหมดจะถูกปฏิเสธในการซื้อทั้งหมดในสวนนั้น กว่า 30 ปีมาแล้ว กลุ่มนักวิจัยกลุ่มแรกของหน่วยงาน USDA สหรัฐอเมริกา ต้องการศึกษากการตรวจสอบคุณภาพภายในของผักและผลไม้โดยวิธีไม่ทำลาย (Rosenthal และคณะ, 1973) ภายใต้การนำทีมวิจัย โดย Karl Norris ได้ศึกษา sensing techniques หลายวิธีด้วยกัน เช่น การใช้แสง เสียง อัลตราโซนิก เอ็กซเรย์ แกรมมาเรย์ และอื่น ๆ จากวิธีการทั้งหมดนี้พบว่า การใช้แสงทะลุผ่าน (Light transmittance data) เป็นวิธีที่เหมาะสมและดีที่สุดในการหาคุณภาพภายในผัก และผลไม้ ค่าที่แสงผ่านทะลุ สามารถนำมามีความสัมพันธ์กับค่าคุณภาพหลายชนิด ระดับความสุก การตรวจสอบตำหนิหรือการเกิดโรคภายใน สีภายใน การเก็บรักษาและค่าความแน่นเนื้อหรือเนื้อสัมผัสของผัก ผลไม้ได้

การใช้แสงทะลุผ่านเพื่อตรวจสอบสภาพภายในของวัตถุไม่ใช่นวัตกรรมคิดใหม่เลย ในอดีตหลายร้อยปีมาแล้วได้ใช้แสงสว่างจากเทียนไขตรวจสอบการเกิดจุดเลือดในไข่ หรือการตรวจสอบสุขภาพของมือมนุษย์ด้วยแสงแฟลช (a flash light) จำนวนของแสงสีแดงในมือจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณเลือดที่อยู่ในมือ

นักวิจัยกลุ่ม Norris ได้ศึกษาวิจัยศักยภาพการใช้แสงทะลุผ่านอย่างมุ่งมั่น จนกระทั่งบริษัทได้ผลิตเครื่องที่เป็นการค้าขึ้นมาเครื่องแรก คือ Neotec's Internal Quality Analyzer และได้นำไปใช้ประโยชน์ในโรงบรรจุหีบห่อในลักษณะ On-line automatic sorting system. ระบบนี้จะประกอบด้วยระบบสายพาน (Conveying system) ระบบเซ็นเซอร์ (a sensing system) และระบบ grating system และแผงควบคุมไฟฟ้า (an electronic control system) นับจากนั้นมา จึงนำวิธีนี้มาตรวจสอบคุณภาพภายในของแอปเปิ้ลที่เป็นโรค water core ได้ โดยไม่ต้องสูญเสียเวลาและสิ้นเปลืองแอปเปิ้ลที่นำมาใช้ผ่าเพื่อตรวจสอบอีกเลย ต่อมาในปี 1989 บริษัท Mining and Smelting เป็นบริษัทแรกในโลกที่พัฒนาเครื่องหาปริมาณน้ำตาลผลต่อโดยใช้หลักการของ NIRS และนำมาใช้กับการคัดเลือกแอปเปิ้ลและลูกแพร์ในเวลาต่อมาด้วยระบบ MPS (a multipurpose sensor)

ในระยะแรกของงานวิจัยและพัฒนาวิธีการตรวจสอบคุณภาพภายในผัก ผลไม้โดยวิธีไม่ทำลาย โดยการใช้แสงที่สามารถมองเห็นได้ นำมาใช้ประเมินความสุกแก่ของผลบลูเบอร์รี่ (McClure และคณะ, 1975) ส้ม Satsuma (Chum และคณะ, 1976) มะเขือเทศ (Iwamoto และคณะ, 1979) และมะละกอ (Birth และคณะ, 1984) แต่ในปัจจุบันการใช้แสง NIR ในการประเมินความสุกแก่ของผักผลไม้ หรือการหาองค์ประกอบทางเคมี ตำหนิ การเกิดโรคจากเชื้อ หรือการผิดปกติทางสรีระภายในของผลผลิต มีศักยภาพสูง และกำลังแพร่หลายการใช้ประโยชน์มากยิ่งขึ้น เช่น การศึกษาวิจัยและพัฒนาการหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของหอมใหญ่โดยวิธีไม่ทำลาย (Birth และคณะ, 1985) การหาค่าความหวาน (Soluble solids) ของแตงแคนตาลูปทั้งลูก (Dull และคณะ, 1989) และการหาปริมาณน้ำตาลในลูกท้อ (Kawano และคณะ, 1991, 1995) และแอปเปิ้ล ถึงแม้ว่าจะมีการศึกษาการใช้ NIR transmittance เพื่อหาค่าปริมาณน้ำตาลในส้ม satsuma mandarin ซึ่งมีเปลือกหนา โดยการสร้างสมการ Multiple Linear Regression (MLR) จากข้อมูลสเปกตรัม NIR ของส้มจำนวน 50 ผล โดยใช้ช่วงคลื่น 680 - 1235 นาโนเมตร ที่ใช้ pretreatment แบบ normalized อนุพันธ์อันดับที่สอง (Kawano และคณะ, 1993)

การใช้เทคนิคทางด้าน NIR ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ทำลายตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในประเทศไทยมีการนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเกษตรและอาหาร มากถึง 80% ของปริมาณการใช้ทั้งหมด และส่วนมากจะใช้ในห้องปฏิบัติการ (วารุณี, 2545) การใช้เทคนิค NIR ในการตรวจสอบคุณภาพของผลไม้ของประเทศไทยยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก แต่มีงานวิจัยจากต่างชาติมากมายที่เสนอเกี่ยวกับการใช้เทคนิคนี้ในการตรวจสอบคุณภาพของผลไม้ เช่น การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของมะม่วง (Schmilovitch *et al.*, 2000) การตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลแอปเปิ้ล (Ventura *et al.*, 1998) การคัดแยกผลพืชด้วยเทคนิค NIR (Carlomagno *et al.*, 2004) การศึกษาถึงอุณหภูมิที่มีผลต่อสมการเพื่อทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลแอปเปิ้ล (Peirs *et al.*, 2003) การตรวจหาอาการให้น้ำตาลในผลแอปเปิ้ล (Clark *et al.*, 2003) การตรวจหาอาการผิดปกติภายในผลกีวี (Clark *et al.*, 2004) และมีการเปรียบเทียบถึงวิธีต่างๆ ในการวัด ด้วย NIR เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติภายในของผลกีวี (Schaare and Fraser, 2000) นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคนิค NIR เพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลไม้ชนิดต่างๆ อีกมากมายดังนี้

Sohn *et al.* (2000) ใช้เทคนิค NIR วัดคุณภาพของแอปเปิ้ล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ NIR เพื่อตรวจสอบคุณภาพภายในของแอปเปิ้ล และ ทำการพัฒนาสมการ Calibration ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ความหวาน ปริมาณกรด และความแน่นเนื้อ โดยสแกนผลแอปเปิ้ล ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร นำสเปกตรัมที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับ ค่าต่างๆ ที่ทำการวัดโดยวิธีทางกายภาพและทางเคมี ด้วยโปรแกรม Sesame ซึ่งอาศัยวิธีการทางสถิติ คือ Multiple Linear Regression (MLR) ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล และพบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะใช้ เทคนิค NIR ในการตรวจสอบคุณภาพภายในของแอปเปิ้ล

และในปีต่อมา Sohn *et al.* (2001) ได้ทำการพัฒนาสมการ Calibration เพื่อตรวจสอบความหวานของ แอปเปิ้ลพันธุ์ฟูจิ โดยใช้เทคนิค NIR โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาถึงอิทธิพลของแหล่งเพาะปลูก และปีที่เก็บเกี่ยว ต่อสมการ Calibration ที่วัดความหวานของแอปเปิ้ลพันธุ์ฟูจิ ตัวอย่างที่ใช้เป็นแอปเปิ้ลจากแหล่งต่างๆ กัน 3 แหล่ง ในประเทศเกาหลี อยู่ในช่วงเก็บเกี่ยว ระหว่างปี 1995 - 1997 ประมาณ 2,000 - 3,000 ผล ทำการสแกนน้ำคั้นด้วย NIR InfraAlyzer 500 C ในช่วงคลื่น 1100 - 2500 นาโนเมตร และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Brix ของน้ำคั้น กับ สเปกตรัมที่สแกนด้วยโปรแกรม Sesame โดยวิธี Multiple Linear Regression (MLR) และได้ผลสรุปว่า สามารถใช้เทคนิค NIR ในการประเมินความหวานของแอปเปิ้ลได้ และแหล่งเพาะปลูกรวมถึงปีที่เก็บเกี่ยว มีอิทธิพลต่อการทำสมการ Calibration

Mc Glone *et al.* (1998) ได้ประเมินความแน่นเนื้อ, น้ำหนักแห้งและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของผลกีวีโดยใช้เทคนิค NIR ทำการวัดผลกีวีจากแหล่งต่าง ๆ กันทั้งหมด 5 กลุ่ม ด้วย Fiber interactance probe ในช่วงคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร และ 700 - 1000 นาโนเมตร นำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Partial Least Squares (PLS) โดยโปรแกรม Unscrambler สรุปผลได้ว่า ตัวอย่างที่เรา นำมาวัดควรจะมีหลากหลายในด้านของแหล่งเพาะปลูก อายุ และขนาด เพื่อให้การสร้างสมการมีความครอบคลุมเมื่อนำไปทำนายค่า ส่วนช่วงคลื่น 800 - 1,100 นาโนเมตรเป็นช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการสร้างสมการ เพราะให้ค่าการดูดกลืนแสงได้ดี ในกลุ่มของ คาร์โบไฮเดรต และน้ำ ส่วนในการทำนายความ

แน่นอนนั้นให้ค่าที่ไม่ดีอาจเนื่องมาจากในผลกีวีมีปริมาณ Pectin น้อยกว่า 1% โดยน้ำหนัก จึงทำให้การทำนายค่าของสมการไม่ดีนัก

Kawano *et al.* (1992) ศึกษาการวัดปริมาณน้ำตาล โดย Near Infrared Spectroscopy ด้วย Fiber optic probe ในผลพีชพันธุ์ Shimizu Hakuto โดยวัดในช่วงความยาวคลื่น 680 – 1235 นาโนเมตร ผลพบว่าจาก สเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วย Second derivative ที่ค่า Brix สูง กลาง ต่ำ พบความยาวคลื่นที่ 906 นาโนเมตร อย่างชัดเจน และให้เป็นความยาวคลื่นของน้ำตาลตัวแรก ในสมการ Calibration ค่า Correlation coefficient สูงสุดอยู่ที่ 0.97 และ ความยาวคลื่นที่สร้างสมการที่ได้จากสเปกตรัม Second derivative คือ 906 878 870 และ 889 นาโนเมตร ในขณะที่ Standard Error of Calibration (SEC) คือ 0.48 Brix และ เทคนิค NIR มีความแม่นยำที่จะวัดปริมาณน้ำตาลในผลพีช

Kawano *et al.* (1995) ศึกษาถึงอุณหภูมิต่อการวัดค่า Brix ของพีช โดยใช้ เทคนิค NIRS สแกนผลพีช พันธุ์ Shimizu Hakuto ในช่วงคลื่น 680 – 1235 นาโนเมตร โดยควบคุมอุณหภูมิของผลไม้ โดยการใช้อ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 21 26 และ 31 องศาเซลเซียส ได้ผลดังนี้ สมการ Calibration ที่สร้างจากตัวอย่างที่มีอุณหภูมิคงที่จะวัดตัวอย่างที่มีอุณหภูมิหลากหลายได้ค่าที่ไม่คงที่ สเปกตรัมที่ได้มีผลกระทบจากอุณหภูมิของตัวอย่าง เช่น เมื่อตัวอย่างมีอุณหภูมิสูงขึ้น การดูดกลืนแสงที่ 841 และ 966 นาโนเมตร จะมีค่ามากขึ้นอันเนื่องมาจากน้ำ เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเกิดอิทธิพลได้ง่ายต่อน้ำ ดังนั้นน้ำจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควรคำนึงถึงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และ สมการ Calibration ที่สร้างจากตัวอย่างที่อยู่ในช่วง อุณหภูมิ 21 – 30 องศาเซลเซียส มีความแม่นยำสูงในการทำนายค่าถึงแม้ตัวอย่างเราจะมีอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในช่วงนั้น ดังนั้น เราอาจจะพัฒนาสมการ Calibration โดยการรวมกลุ่มตัวอย่างที่มีอุณหภูมิหลากหลายแล้วจึงสร้างสมการ Calibration ก็ได้

Saranwong *et al.* (1995) ได้พัฒนาสมการ PLS Calibration สำหรับประเมินค่า Brix และน้ำหนักแห้งของมะม่วง โดยใช้ข้อมูลจากสมการ MLR Calibration เนื่องจาก ในการใช้งานเครื่อง Near Infrared Spectrophotometer มีทั้งการใช้ช่วงคลื่นสั้น คือ 500-1200 นาโนเมตร หรือช่วงคลื่นยาว 1100-2500 นาโนเมตร หรืออาจใช้ทั้ง 2 ช่วง คือ 700-2500 นาโนเมตร ในการสร้างสมการ Calibration เพื่อจะศึกษาวิธีการ MLR และ PLS ในการสร้างสมการ Calibration โดยใช้ทั้งช่วงคลื่นสั้นและยาว รวมถึงศึกษาถึงความสัมพันธ์ของทั้ง 2 วิธีการนี้ด้วย

โครงการ "การตรวจสอบคุณภาพภายในของส้มโดยวิธีไม่ทำลายด้วยการใช้เทคนิค Near Infrared Spectroscopy" นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิจัยและพัฒนากระบวนการตรวจสอบคุณภาพส้มที่ปลูกในประเทศไทยโดยนำวิธีการที่ไม่ทำลาย ได้แก่ NIRS เข้ามาใช้ เพื่อเพิ่มศักยภาพในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพภายในของส้มให้มีความถูกต้อง แม่นยำ รวดเร็ว โดยที่ไม่ทำลายผลส้ม ซึ่งช่วยในการคัดแยกและกำหนดราคาตามคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาความสัมพันธ์หรือความเป็นไปได้ในการตรวจสอบคุณภาพภายในผลส้มโดยการวิเคราะห์หา 1) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid; TSS) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำตาลแสดงระดับความหวาน และ 2) ค่ากรด (acidity) ของส้มที่ปลูกในประเทศไทยทั้ง 5 พันธุ์ คือ พันธุ์ธนาธรณ์เบอร์ 1 (No. One), พันธุ์สายน้ำผึ้ง, พันธุ์เขียวหวาน, พันธุ์โชกุน และพันธุ์ฟริมองด์ โดยใช้เครื่อง Near Infrared Spectrophotometer รุ่น PureSpect ในช่วงความยาวคลื่นสั้น

2. สร้างสมการเพื่อใช้ทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดสำหรับส้มแต่ละพันธุ์ และสร้างสมการรวมสำหรับทุกพันธุ์ (Universal calibration) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายคุณภาพของส้มระหว่างสมการทั้งสองแบบ เพื่อหาว่าพันธุ์จะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของสมการหรือไม่ และจะได้นำข้อมูลจากการศึกษามาพัฒนาสมการให้สามารถใช้ได้ในระยะยาวต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ตัวอย่างส้ม

ตารางที่ 4 ตัวอย่างส้มในการทดลองช่วงที่ 1 ตั้งแต่ กรกฎาคม 2549 ถึง มีนาคม 2550

พันธุ์ส้ม	ภาค	จำนวน (ผล)
ธนาธรณ์เบอร์ 1	เหนือ	300
สายน้ำผึ้ง	เหนือ กลาง	400
เขียวหวาน	เหนือ กลาง	200
โชกุน	ใต้	200
ฟริมองด์	เหนือ	100
	รวม	1200

ตารางที่ 5 ตัวอย่างส้มในการทดลองช่วงที่ 2 ตั้งแต่ เมษายน 2550 ถึง มกราคม 2551

พันธุ์ส้ม	ภาค	จำนวน (ผล)
ธนาธรณ์เบอร์ 1	เหนือ	250
สายน้ำผึ้ง	เหนือ กลาง	96
โชกุน	กลาง	270
ฟริมองด์	เหนือ	300
	รวม	916

2. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 2.1 Short wavelength-NIR spectrometer รุ่น PureSpect (Saika Technological Institute Foundation, Japan)
- 2.2 Digital Continuous Bottle-Top Burettes รุ่น DCB 5000 (BOECO, Germany)
- 2.3 Digital Refractometer PR 110 (ATAGO, Japan)
- 2.4 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) รุ่น UM 500 ของ Memmert
- 2.5 pH meter รุ่น CG842 (Schott)
- 2.6 เครื่องแก้วและเคมีภัณฑ์

วิธีการวิจัย

1. ขั้นตอนการสร้างสมการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดของส้มด้วยเทคนิค NIRS

1. เลือกใช้ส้มขนาด เบอร์ 6 ผิวสวยและยังไม่ผ่านการ wax
2. วัดการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดของส้ม ลูกละ 2 ครั้ง ด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrometer PureSpect ช่วงคลื่นสั้น 643 - 970 nm แล้วบันทึกค่าสเปกตรัม
3. ทำการคั้นน้ำจากผลส้มเพื่อนำมาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solid (TSS)) ด้วย Digital Refractometer ATAGO PR 110 และวิเคราะห์หาปริมาณกรด ด้วยวิธีการไทเทรต (A.O.A.C 1990)
4. สร้างสมการของส้มในแต่ละสายพันธุ์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงหรือสเปกตรัมกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) และปริมาณกรด โดยอาศัยวิธีทางสถิติ Partial Least Square Regression (PLSR) คำนวณ โดยใช้โปรแกรมการคำนวณทางสถิติ Unscramble (ver.9.8: CAMO) ดังนี้

- แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น สองกลุ่ม คือ กลุ่มแรกใช้ในการสร้างสมการ Calibration และใช้สมการที่สร้างขึ้น มาทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดของส้มกลุ่มที่สอง เรียกกลุ่มตัวอย่างนี้ว่ากลุ่ม Prediction ในอัตราส่วนประมาณ 70:30 โดยเลือกตัวอย่างส้มกลุ่ม Prediction ให้มีค่า TSS และปริมาณกรด สูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่ม Calibration

- ป้อนค่าทางเคมีให้ตรงกับสเปกตรัมที่วัด ทำการคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ ระหว่างสเปกตรัมกับค่าทางเคมีด้วยวิธีทางสถิติ PLSR

- เปรียบเทียบสมการที่ได้จาก (1) สเปกตรัมดิบและสเปกตรัมที่ทำการปรับแต่งด้วยวิธีดังนี้ (2) Second derivative (2nd derivative) วิธี Savitzky Golay ที่ smoothing points 10:10 และ Polynomial order = 2, (3) Multiplicative Scattering Correction (MSC) แบบ Full ($X = (X - a)/b$), และ (4) 2nd derivative + MSC ใช้วิธีเหมือนข้อ (2) และ (3) เป็นต้น

- เลือกสมการ Calibration ที่ดีที่สุด

2. เปรียบเทียบสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดของส้มระหว่าง
สมการสำหรับส้มแต่ละพันธุ์ และสมการสำหรับส้มทุกพันธุ์

แบ่งการคำนวณเป็น 3 ช่วง คือ

- 2.1 ช่วงที่ 1 ตั้งแต่ กรกฎาคม 2549 ถึง มีนาคม 2550
- 2.2 ช่วงที่ 2 ตั้งแต่ เมษายน 2550 ถึง มกราคม 2551
- 2.3 ตลอดโครงการ 18 เดือน (ช่วงที่ 1 รวมกับช่วงที่ 2)

3. เปรียบเทียบสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดของส้มพันธุ์
เดียวกันใน 2 ฤดูกาลจากการทดลองช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ขั้นตอนการสร้างสมการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดของส้มด้วย
เทคนิค NIRS

1. คุณภาพภายในของส้มที่ใช้ในการทดลอง ช่วงที่ 1 ตั้งแต่ กรกฎาคม 2549 ถึง มีนาคม 2550 ช่วง
ที่ 2 ตั้งแต่ เมษายน 2550 ถึง มกราคม 2551 แสดงในตารางที่ 6 และ 7 ตามลำดับ ลักษณะส้ม
แต่ละพันธุ์แสดงในรูปที่ 3

ตารางที่ 6 ลักษณะและคุณภาพส้มที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 1

พันธุ์ส้ม	ภาค	จำนวน (ผล)	ปริมาณ TSS (°Brix)	ปริมาณ Acidity (%)
ธนาธรนิ่มเบอร์ 1	เหนือ	300	8.10 – 17.70	0.276 – 1.106
สายน้ำผึ้ง	เหนือ กลาง	400	9.85 – 16.70	0.379 – 1.309
เขียวหวาน	เหนือ กลาง	200	8.60 – 15.35	0.145 – 0.878
โชกุน	ใต้	200	8.60 – 15.00	0.319 – 1.481
ฟรุ้งมอนด์	เหนือ	100	8.35 – 16.45	0.441 – 1.544

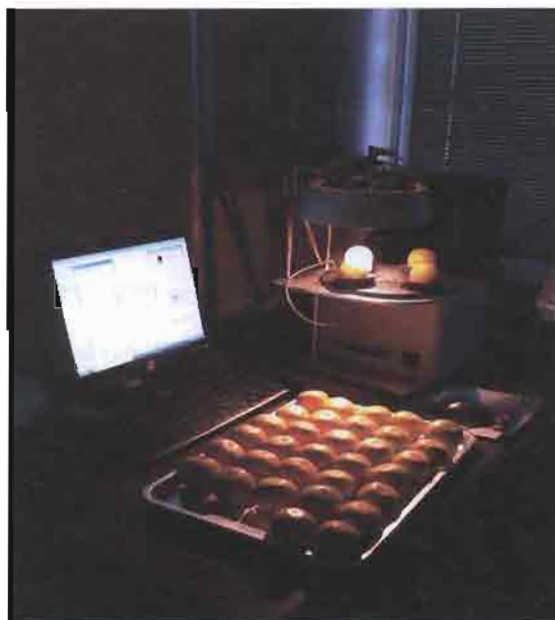
ตารางที่ 7 ลักษณะและคุณภาพส้มที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2

พันธุ์ส้ม	ภาค	จำนวน (ผล)	ปริมาณ TSS (°Brix)	ปริมาณ Acidity (%)
ธนาธรนัมเบอร์ 1	เหนือ	250	8.15 – 13.35	0.538 – 1.372
สายน้ำผึ้ง	เหนือ กลาง	96	9.70 – 14.80	0.369 – 1.710
โชกุน	กลาง	270	8.10 – 14.10	0.344 – 1.267
พริมมอนด์	เหนือ	300	8.00 – 13.80	0.440 – 1.099



รูปที่ 3 แสดงลักษณะภายนอกของส้ม 5 พันธุ์ที่ใช้ในการทดลอง
จากซ้ายมาขวา ธนาธรนัมเบอร์ 1, สายน้ำผึ้ง, โชกุน, เขียวหวาน และพริมมอนด์

2.การวัดการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดของส้ม ลูกละ 2 ครั้ง ด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrometer รุ่น PureSpect (Saika Technological Institute Foundation, Japan) ดังรูปที่ 4 ใช้ช่วงคลื่นสั้น (Short wavelength) คือที่ความยาวคลื่น 643 - 970 นาโนเมตร แสงจากหลอดกำเนิดแสงจะส่องผ่านทะลุผลส้ม (transmission mode) แสงที่ผ่านออกมาจะเดินทางไปตกกระทบยังตัวดีเทคเตอร์ แปลงข้อมูลออกมาในรูปสเปกตรัม แล้วบันทึกค่าสเปกตรัม จากผลการวิจัย 6 เดือนแรก ได้ศึกษาหาสภาวะ การทดลองที่เหมาะสมที่สุด พบว่าการใช้ความเร็วรอบของจานวางตัวอย่างเป็น 6 m/min และความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงฮาโลเจนทั้งสองหลอดรวมเป็น 50 W. ให้ข้อมูลสเปกตรัมที่ดีที่สุดและตัวผิวส้มไม่ถูกทำลายจากแหล่งกำเนิดแสง



รูปที่ 4 แสดงการวัดตัวอย่างส้มด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrometer

3.การวัดค่าคุณภาพภายในผลส้ม ได้แก่ปริมาณ TSS และปริมาณกรดแสดงไว้ในรูปที่ 5 แล้วนำผลการวิเคราะห์ มาคำนวณหาความสัมพันธ์กับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดของส้มในการสร้างสมการต่อไป

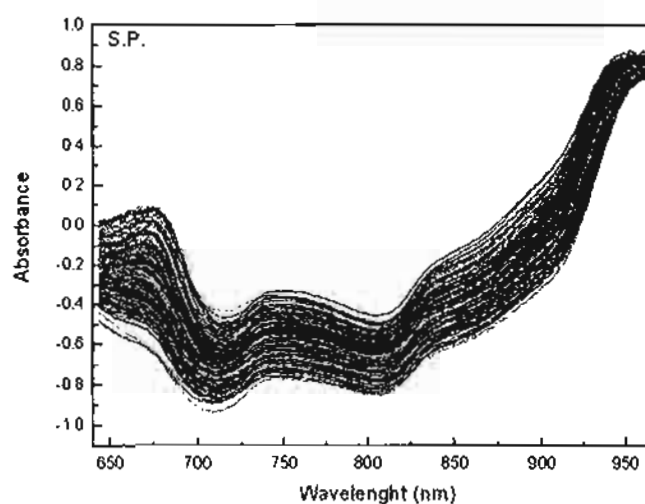
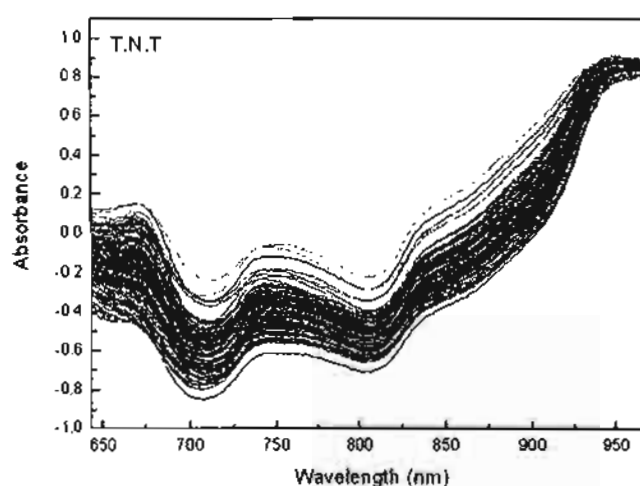


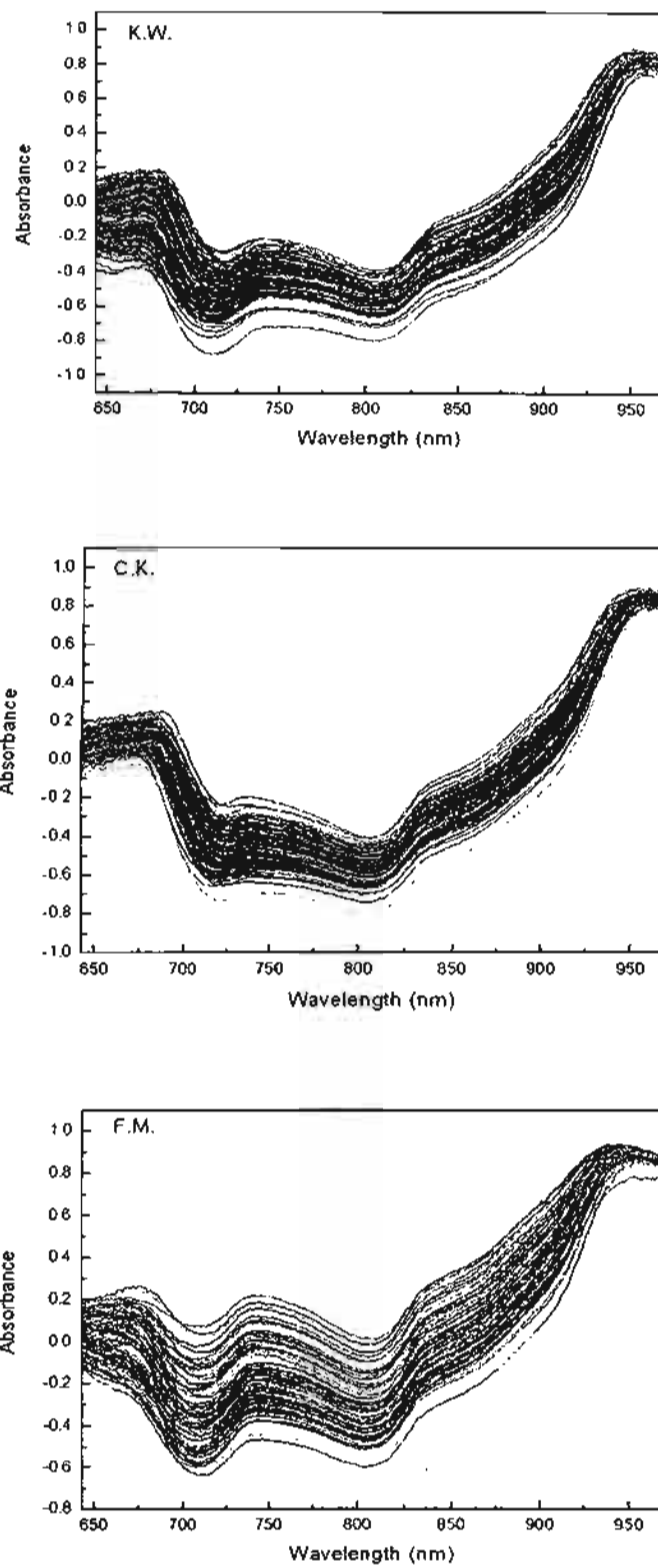
รูปที่ 5 แสดงขั้นตอนการทดลองเพื่อหาปริมาณ TSS และกรดในตัวอย่างส้มที่ผ่านการวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Near Infrared Spectroscopy เรียบร้อยแล้ว
จากซ้ายบนลงขวาล่าง 1) ผลส้มผ่านการสแกนด้วยแสง NIR 2) น้ำส้มที่คั้นได้ 3) นำน้ำส้มมาวิเคราะห์หา TSS และ (4) ไทเทรตหา %acidity ตามลำดับ

2. เปรียบเทียบสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดของส้มระหว่างสมการสำหรับส้มแต่ละพันธุ์ และสมการสำหรับส้มทุกพันธุ์

2.1 ช่วงที่ 1 ตั้งแต่ กรกฎาคม 2549 ถึง มีนาคม 2550

ใช้ส้มทั้งหมด 1200 ผล 5 พันธุ์ได้แก่ ส้มธนาภรณ์เบอร์ 1 ส้มสายน้ำผึ้ง ส้มเขียวหวาน ส้มโชกุนและส้มฟรุ้งมอนด์ สเปกตรัมดิบการดูดกลืนแสงของส้มทั้ง 5 พันธุ์ ในช่วง Near Infrared ตั้งแต่ความยาวคลื่น 643 - 970 นาโนเมตรแสดงในรูปที่ 6 และปริมาณ TSS และกรดของส้มแต่ละพันธุ์ที่วิเคราะห์จากวิธีอ้างอิงแสดงไว้ในตารางที่ 8





รูปที่ 6 แสดงสเปกตรัมดิบของการดูดกลืนแสงในช่วงตั้งแต่ 643 – 970 nm ของส้ม 5 พันธุ์ ได้แก่ หนามเบอร์ 1 (T.N.T), สายน้ำผึ้ง (S.P.), เขียวหวาน (K.W.), โชกุน (S.K.) และพริมมอนด์ (F.M.)

ตารางที่ 8 ช่วงปริมาณ TSS และปริมาณกรด ในส้มที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 1

ชนิด	ปริมาณ	Min.	Max.	Mean	S.D.
ชาชนันท์เบอร์ 1	TSS (Brix)	8.100	17.70	11.26	1.760
	กรด (%)	0.276	1.106	0.568	0.132
	TSS (Brix)	8.100	17.70	11.26	1.762
	กรด (%)	0.276	1.106	0.566	0.132
	TSS (Brix)	8.500	16.25	11.28	1.767
	กรด (%)	0.305	0.926	0.572	0.132
สายน้ำผึ้ง	TSS (Brix)	9.850	16.70	13.09	1.288
	กรด (%)	0.379	1.309	0.631	0.129
	TSS (Brix)	9.850	16.70	13.14	1.280
	กรด (%)	0.379	1.309	0.629	0.128
	TSS (Brix)	10.00	16.55	12.91	1.306
	กรด (%)	0.401	1.180	0.636	0.134
เขียวหวาน	TSS (Brix)	8.600	15.35	11.75	1.784
	กรด (%)	0.145	0.878	0.471	0.160
	TSS (Brix)	8.600	15.35	11.77	1.821
	กรด (%)	0.145	0.878	0.467	0.158
	TSS (Brix)	8.750	15.10	11.68	1.682
	กรด (%)	0.245	0.838	0.483	0.165
โชกุน	TSS (Brix)	8.600	15.00	12.05	1.503
	กรด (%)	0.319	1.481	0.760	0.187
	TSS (Brix)	8.600	15.00	12.07	1.491
	กรด (%)	0.319	1.481	0.763	0.192
	TSS (Brix)	9.40	14.75	12.00	1.555
	กรด (%)	0.417	1.201	0.750	0.172
พร้อมอาร์ท	TSS (Brix)	8.350	16.45	12.43	1.695
	กรด (%)	0.441	1.544	0.904	0.202
	TSS (Brix)	8.350	16.45	12.37	1.746
	กรด (%)	0.441	1.544	0.912	0.206
	TSS (Brix)	9.100	16.40	12.57	1.590
	กรด (%)	0.524	1.305	0.886	0.195
Universal Calibration	TSS (Brix)	8.100	17.70	12.18	1.729
	กรด (%)	0.145	1.544	0.633	0.194
	TSS (Brix)	8.100	17.70	12.17	1.754
	กรด (%)	0.145	1.544	0.634	0.197
	TSS (Brix)	8.750	16.55	12.20	1.670
	กรด (%)	0.259	1.305	0.630	0.187