

รายงานการวิจัย

การสร้างโมเดลของน้ำมังคุดจากสเปกตราสะท้อนกลับความยาวคลื่นใกล้

อินฟราเรด

PLS-Reflectance NIR model determination of

mangosteen juice

1. นายสนธิสุข ชีระชัยขุติ
2. น.ส.จุฑามาศ ผลอุดม
3. น.ส.วรรณชยา เอี่ยมเสถียรพร

RCH
SB
379
M25
819211

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....120232
วัน, เดือน, ปี.....10 ก.พ. 2555

b. 12338801
i.

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2552

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยนี้ ผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ทุนสนับสนุนจนทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสิ้นได้ด้วยดีและต้องขอขอบพระคุณ ห้องปฏิบัติการคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือวัดค่าการดูดกลืนพลังงานแสงด้วยเครื่อง NIR Spectrometer

บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีแนวโน้มการส่งออกมังคุดเพิ่มมากขึ้นในแต่ละปี แต่ก็ยังมีอุปสรรคในการส่งออก เนื่องจากปัญหาในเรื่องคุณภาพภายใน ได้แก่ อาการเนื้อแก้ว ยางไหล เป็นต้น ดังนั้นจึงได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการนำเทคนิคการดูดกลืนแสงช่วงใกล้อินฟราเรด(NIR) ในช่วงความยาวคลื่น 1,100 - 2,500 นาโนเมตร มาใช้ในการทำนายอาการเนื้อแก้ว โดยพิจารณาจากปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของน้ำมังคุด เพื่อนำมาสร้างสมการเพื่อใช้ทำนายอาการเนื้อแก้วจากกลุ่มของมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้ว จากผลในการนำสมการทั้งสองไปใช้ทำนายพบว่าสมการนำมังคุดปกติได้ผลการทำนายที่แม่นยำในกลุ่มของมังคุดปกติ ($R = 0.935$, $SEP = 0.655$, $bias = 0.047$) และให้ผลการทำนายที่ไม่ดีในกลุ่มของมังคุดเนื้อแก้ว ($R = 0.812$, $SEP = 1.245$, $bias = 0.224$) นอกจากนี้การใช้เทคนิคคัดแยกจากสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 1,444 นาโนเมตร และค่าการดูดกลืนพลังงานที่ 0.756 สามารถใช้ในการคัดแยกได้แม่นยำ 82.5 % กล่าวได้ว่าการใช้เทคนิค NIRS มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการทำนายและคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วได้

คำสำคัญ: มังคุด, อาการเนื้อแก้ว และ แสงช่วงใกล้อินฟราเรด

Abstract

In each year, Thailand has a good tendency to increase mangosteen for export. But it still has obstacles because of problems in internal quality such as translucent disorder and gamboges. Therefore, NIR spectroscopy in the range of 1,100-2500 nm was used to predict translucent mangosteen in this research. The total soluble solid of mangosteen juice was considered to develop calibration equations from a normal mangosteen group and a translucent mangosteen group. The result showed that the calibration equation of normal mangosteen juice obtained good accuracy for prediction with a group of normal mangosteen ($R = 0.935$, $SEP = 0.655$, $bias = 0.047$) and poor accuracy for prediction with a group of translucent mangosteen ($R = 0.812$, $SEP = 1.245$, $bias = 0.224$). Besides the prediction from spectrum consideration at wavelength of 1,444 nm and absorbance of 0.756 obtained the accuracy of 82.5%. Therefore, NIR applications have a high potential to predict translucent disorder in mangosteen.

Keywords: mangosteen, translucent and near infrared

สารบัญ

หน้า

ปก.....	ก
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
บทคัดย่อ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ลักษณะทางกายภาพและชีวภาพของมังคุด.....	4
2.2 NIR(Near – Infrared Spectroscopy).....	9
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	17
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	17
3.2 วัสดุดิบ.....	17
3.3 สารเคมี.....	17
3.4 สถานที่ทำการทดลอง.....	17
3.5 วิธีการดำเนินงาน.....	18
3.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	19
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	21
4.1 การศึกษาโมเดลทำนายน้ำมั่งคุดปกติและน้ำมั่งคุดเนื้อแก้ว.....	21
4.2 การศึกษาปริมาณน้ำตาลในน้ำมั่งคุดปกติและน้ำมั่งคุดเนื้อแก้ว.....	32
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	34
บรรณานุกรม.....	35

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก.....	38
ภาคผนวก ข.....	41
ภาคผนวก ค.....	44

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมังคุดต่อน้ำหนักผล(%) ในระยะเวลาต่างๆ ของผลที่อยู่บนต้น.....	7
2.2 น้ำหนักผลและร้อยละของเปลือก กลีบเลี้ยง เมล็ด เนื้อ และจำนวนเมล็ดสมบูรณ์ต่อผล.....	7
2.3 ช่วงต่างๆ ของอินฟราเรดสเปกตรัม.....	10
4.1 รายละเอียดคุณสมบัติของน้ำมังคุดกลุ่มต่างๆ ที่ใช้ในการสร้าง โมเดลและที่ใช้ทำนาย.....	21
4.2 ผลของการทำ pretreatment วิธีการต่างๆ ของข้อมูลการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดของ น้ำมังคุดเพื่อใช้ในการสร้าง โมเดลและนำไปทดสอบโดยการปรับเทียบและการทำนาย.....	25
4.3 ผลการใช้โมเดลของกลุ่มต่างๆ ในการทำนายน้ำมังคุดปกติและน้ำมังคุดเนื้อแก้ว.....	27
4.4 แสดงการวัดค่าการดูดกลืนแสง 0.756 ที่ความยาวคลื่น 1444 นาโนเมตร.....	33

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างคุณภาพภายในของผลมังคุด: (A) คือมังคุดปกติ (B) คือมังคุดเนื้อแก้ว.....	8
2.2 การวัดแบบ Transmittance	11
2.3 การวัดแบบ Reflectance	11
3.1 รูปเครื่องมือ NIRS และช่องใส่ตัวอย่างเพื่อทำการวัด.....	18
4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนพลังงานย่านใกล้อินฟราเรดของมังคุด.....	22
4.2 สเปกตรัมการดูดกลืนพลังงานย่านใกล้อินฟราเรดเฉลี่ยของมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้ว.....	23
4.3 สเปกตรัมการดูดกลืนพลังงานย่านใกล้อินฟราเรดเฉลี่ยของมังคุดปกติ มังคุดเนื้อแก้ว น้ำเปลือกมังคุดและเปลือกมังคุด.....	24
4.4 สเปกตรัมการดูดกลืนพลังงานย่านใกล้อินฟราเรดที่ทำการ pretreatment ด้วยวิธี second-derivative transformation ของมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้ว.....	26
4.5 กราฟแสดงผลค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่วัดได้จริงและปริมาณของแข็งที่ละลาย น้ำได้ของโมเดลกลุ่มน้ำมังคุดปกติ (A), การทำนายโมเดลจากของกลุ่มน้ำมังคุดปกติ (B), การทำนายโมเดลจากของกลุ่มน้ำมังคุดเนื้อแก้ว (C)	28
4.6 กราฟแสดงผลค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่วัดได้จริงและปริมาณของแข็งที่ละลาย น้ำได้ของโมเดลกลุ่มน้ำมังคุดเนื้อแก้ว (A), การทำนายโมเดลจากของกลุ่มน้ำมังคุดปกติ (B), การทำนายโมเดลจากของกลุ่มน้ำมังคุดเนื้อแก้ว (C).....	30
4.7 กราฟแสดงผลค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่วัดได้จริงและปริมาณของแข็งที่ละลาย น้ำได้ของโมเดลกลุ่มน้ำมังคุดรวม (A), การทำนายโมเดลจากของกลุ่มน้ำมังคุดปกติ (B), การทำนายโมเดลจากของกลุ่มน้ำมังคุดเนื้อแก้ว (C).....	31
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับค่าการดูดกลืนแสงในการเปรียบเทียบ น้ำมังคุดปกติและน้ำมังคุดเนื้อแก้วกับสารละลายน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโทส.....	32

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

มังคุดได้รับนามว่า “ราชินีแห่งผลไม้เมืองร้อน” เป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคเนื่องจากมีรสชาติที่ดีที่สุดชนิดหนึ่ง (Morton, 1987) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Garcinia mangostana* L. อยู่ในตระกูล Gutiferae ทรงต้นเป็นพุ่มที่กิ่งแตกออกเป็นคู่แบบสลับใบ มีขนาดใหญ่ ใบหนา มังคุดเจริญเติบโตได้ดีในดินเกือบทุกชนิด แต่ดินที่เหมาะสมควรเป็นดินเหนียวปนทราย ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง สามารถอุ้มน้ำและระบายน้ำได้ดี มีความเป็นกรดอ่อนๆ คือ มีค่าความเป็นกรดต่างของดิน (ค่า pH) ประมาณ 5 - 6 (Pamplona and Garcia, 2001)

มังคุดเป็นไม้ผลที่ตลาดมีความต้องการสูงมากทั้งตลาดภายในและส่งออก ราคาผลผลิตมังคุดคุณภาพดีที่เกษตรกรขายได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เกษตรกรจึงขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้มังคุดเป็นไม้ผลอีกชนิดหนึ่งที่ถูกกำหนดให้เป็นพืชเศรษฐกิจที่จะต้องเร่งรัดเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเพื่อการส่งออก แต่มูลค่าและปริมาณการส่งออกของมังคุดก็ยังไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้ดีเท่าที่ควร ทั้งนี้เนื่องจากยังคงขาดวิธีกักคุณภาพของมังคุดอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้มังคุดที่ส่งออกไปมีประสิทธิภาพที่ไม่ดีนัก เช่น มีผลเน่าเสียปะปนกับผลดี หรือมีลักษณะที่เป็นเนื้อแก้วปะปนกับผลปกติ

การที่มังคุดมีคุณภาพไม่ดีและมีผลเสียปะปนอยู่ แบ่งสาเหตุได้ 2 ประเด็น คือ

1. การเก็บมังคุดโดยไม่ได้รับการเอาใจใส่เท่าที่ควร
2. ไม่ได้รับการคัดแยกผลดีและผลเสีย ภายหลังจากการเก็บเกี่ยว

อีกปัญหาหนึ่งที่สำคัญคือ การเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลจากขาวเป็นขุ่นใส และเนื่องจากที่อ่อนนุ่มกลายเป็นค่อนข้างแข็ง อาการดังกล่าวเรียกว่า “การเกิดอาการเนื้อแก้ว” ไม่สามารถตรวจสอบได้จากภายนอก คือ จะมีลักษณะเป็นเนื้อสีใสบางส่วน หรือทั้งผล เนื้อจะกรอบกว่ามังคุดทั่วไป อาการเนื้อแก้วและยางไหลภายในผลยังไม่พบสาเหตุที่แน่ชัด แต่จะพบมากในมังคุดที่ขาดการดูแลรักษา เช่น ได้รับความไม่สม่ำเสมอ หรือขาดน้ำเป็นเวลานาน ๆ เมื่อได้รับน้ำจากฝนที่ตกชุกในช่วงผลใกล้แก่ ผลมังคุดได้รับน้ำอย่างกะทันหัน เปลือกขยายตัวไม่ทันเกิดรอยร้าว ท่อน้ำภายในผล ก็ได้รับน้ำมากเช่นกัน เกิดแรงดันมากจึงปะทุแตก มีน้ำยางไหลออกมานอกจากนั้นแล้ว การบำรุงรักษาไม่ถูกต้อง มังคุดได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอ อาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีการเจริญเติบโตผิดปกติเกิดเป็นเนื้อแก้วได้ (ธนะชัย, 2534)

จะเห็นว่าถ้าต้องการตรวจสอบคุณภาพของมังคุดเพื่อคัดแยกคุณภาพของมังคุด จะต้องทำการผ่าผลมังคุดออกซึ่งวิธีนี้จะทำลายผลของมังคุด(destructive method) ดังนั้น การตรวจสอบคุณภาพภายในแบบไม่ทำลาย (non-destructive method) จึงมีความสำคัญและมีความต้องการมาก

มีการนำเทคนิค NIRS (Near – Infrared Spectroscopy) ในช่วงความยาวคลื่นสั้นแบบทะลุผ่านมาใช้เพื่อคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดปกติ แต่ยังไม่ได้แสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการหรือโมเดลแสดงความสัมพันธ์ของมังคุดเนื้อแก้วและมังคุดปกติ (Teerachaichayut et al., 2007) จากเหตุผลดังกล่าว จึงได้ทำการวิจัยโดยมีแนวคิดที่จะนำน้ำมังคุดมาสร้างเป็นโมเดลโดยเทคนิค NIRS (Near – Infrared Spectroscopy) โดยจะได้โมเดลของน้ำมังคุดปกติ และ น้ำมังคุดเนื้อแก้ว จากนั้นจึงนำมังคุดตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพภายใน โดยใช้เทคนิค NIRS อันเป็นการตรวจสอบคุณภาพภายในของมังคุดได้โดยไม่ต้องทำลายผลมังคุด(non-destructive method) และจะทำการวิเคราะห์กับโมเดลของน้ำมังคุดเนื้อปกติและเนื้อแก้วที่ได้สร้างไว้ เพื่อแยกกลุ่มของมังคุดที่มีคุณภาพต่างกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อให้ได้โมเดลของน้ำมัจจุคปกติ และ น้ำมัจจุคเนื้อแก้ว
2. เพื่อให้ได้ข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาเทคนิคสำหรับคัดแยกมัจจุคที่มีคุณภาพภายในแตกต่างกัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

นำตัวอย่างมัจจุคของประเทศไทยมาทำการศึกษาค้นคว้าพร้อมทั้งตรวจสอบคุณภาพของน้ำมัจจุคจากมัจจุคปกติและมัจจุคเนื้อแก้ว โดยวิธี NIR Spectroscopy โดยพิจารณาจากข้อมูลดังนี้

1. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ หรือ Soluble Solids Content หรือ SSC ของน้ำมัจจุค
2. วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมัจจุค

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อให้สามารถนำผลการทดลองที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการคัดแยกมัจจุคปกติและมัจจุคเนื้อแก้วออกจากกันได้ จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับกระบวนการควบคุมคุณภาพและส่งออกของมัจจุค

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทางกายภาพและชีวภาพของมังคุด

มังคุดเป็นไม้ผลเมืองร้อนพบมากในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ พม่าและไทย เป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี เป็นที่นิยมชมชอบของผู้บริโภคทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศจนได้รับนามว่าเป็นราชินีแห่งผลไม้ ปัจจุบันมังคุดจัดว่าเป็นผลไม้ที่ตลาดมีความต้องการสูง เพราะนอกจากตลาดภายในประเทศแล้วยังมีการส่งออกทั้งในรูปของผลสด และแช่แข็ง ทำรายได้เข้าสู่ประเทศปีละหลายร้อยล้านบาท

มังคุดมีชื่อสามัญว่า Mangosteen และชื่อพฤกษศาสตร์ว่า *Garcinia mangostana* Linn. ตระกูล *Guttiferae* ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ เป็นไม้ผลขนาดกลาง ต้นโตเต็มที่ 10 - 25 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 25 - 35 เซนติเมตร

ดอก ดอกออกเป็นดอกเดี่ยวๆ หรือคู่ ตามบริเวณปลายกิ่ง ลักษณะของดอกเป็นดอกกะเทยแต่เกสรตัวผู้เป็นหมัน ไม่สามารถผสมเกสรได้ มีกลีบเลี้ยงและกลีบดอกอย่างละ 4 กลีบ ดอกมีสีชมพูเรื่อๆ

ผล มีลักษณะกลม ผิวเปลือกเรียบ ผลอ่อนมีสีเขียว เมื่อแก่จะเริ่มมีลายสีแดงๆ หรือม่วงแดง ชาวสวนเรียกว่า สายเลือด จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดงจนถึงดำ ภายใน 2 - 3 วัน เปลือกมังคุดจะหนาและค่อนข้างแข็ง มีสีม่วง

เมล็ด เจริญมาจากก้านชูไข่ สามารถตัดแบ่งเป็นชิ้นๆ ไปเพาะได้ แต่ละชิ้นได้ต้นกล้า 1 ต้น มีลักษณะเหมือนต้นแม่

เป็นไม้ผลยืนต้นขนาดใหญ่ชอบอากาศร้อนชื้น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25 - 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์สูงประมาณ 75 - 85% ดินควรมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินประมาณ 5.5 - 6.5 และที่สำคัญควรเลือกพื้นที่ปลูกที่มีน้ำเพียงพอตลอดช่วงฤดูแล้ง มังคุดเป็นไม้ผลที่มีระบบรากอาหารค่อนข้างลึกประมาณ 90 - 120 เซนติเมตรจากผิวดิน ดังนั้นจึงต้องการสภาพแล้งก่อนออกดอกค่อนข้างนาน โดยต้นมังคุดที่สมบูรณ์ใบยอดมีอายุระหว่าง 9 - 12 สัปดาห์เมื่อผ่านช่วงแล้งติดต่อกัน 21 - 30 วัน และมีการกระตุ้นน้ำฤกษ์มังคุดจะออกดอก

ใบเป็นแบบใบเดี่ยวขนาดใหญ่มีลักษณะคล้ายรูปไข่กว้าง 4.5 - 10 เซนติเมตร ยาว 12 - 23 เซนติเมตร ผลมีลักษณะเป็นแบบ berry ประกอบด้วย ยอดของรังไข่ในดอก ห่อหุ้มด้วยกลีบเลี้ยง ผลมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.5 - 7 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลเข้มอมม่วงถึงสีม่วงเข้ม เปลือกหนาประมาณ 0.8 - 1 เซนติเมตร ผลมียางสีเหลืองเมื่อปอกเปลือกมังคุดจะเห็นกลีบสีขาวจำนวน 4 - 8 กลีบ แต่ละกลีบจะมีเมล็ดอยู่ภายใน 2 - 3 เมล็ดต่อผล เมล็ดมีความยาวประมาณ 2 เซนติเมตร

มีอยู่สายพันธุ์เดียวเรียกกันว่า พันธุ์พื้นเมือง เพราะมังคุดเป็นพืชที่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด และเมล็ดมังคุดเจริญจากเนื้อเยื่อของต้นแม่ไม่ได้เกิดจากการผสมเกสร จึงแทบจะไม่มีโอกาสกลายพันธุ์เลย ลักษณะพันธุ์ เช่น ทรงต้น ใบ ผล รสชาติและขนาดของผลจะแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นกับสภาพแวดล้อมในการปลูกจากการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะมังคุดในประเทศไทย ซึ่งมีแหล่งที่ปลูก คือ ภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคกลาง พบว่ามีลักษณะดังนี้

มังคุดในภาคกลางและตะวันออก มีลักษณะโดยทั่วไปของใบค่อนข้างเรียว ผลขนาดเล็ก ส่วนหัวผลจะเล็กและยาว เปลือกผลค่อนข้างบาง สีของกลีบที่ปลายหัวผลมีสีแดง ผลเมื่อสุกจะมีสีม่วงดำให้คุณภาพของเนื้อดี ฤดูกาลเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน

ส่วนมังคุดภาคใต้ ลักษณะของใบจะอ้วนและป้อม ผลมีขนาดใหญ่กว่า ให้นำหนักผลดี หัวผลสั้น เปลือกหนา กลีบที่ปลายหัวผลมีสีเขียวเข้ม ผลเมื่อสุกจะมีสีแดงอมชมพู ฤดูกาลเก็บเกี่ยวอยู่ในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน ผลจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงได้ช้ากว่าในช่วงการเก็บรักษา ผลมังคุดจะเริ่มเปลี่ยนสีไปจนมีสีม่วงเข้มหรือม่วงดำ ในระยะเวลาประมาณ 7 วัน ควรเก็บผลมังคุดไว้ในอุณหภูมิห้อง (25 - 30 องศาเซลเซียส) การขนส่งและเก็บรักษาผลมังคุด ควรเก็บที่อุณหภูมิประมาณ 13 องศาเซลเซียส และถ้าบรรจุผลมังคุดในถุงพลาสติกเจาะรูจะทำให้มังคุดคงสภาพได้อยู่ได้ประมาณ 4 สัปดาห์ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2541)

วัยของมังคุด

ได้แบ่งดัชนีระดับสีของมังคุด ออกเป็น 7 ระดับดังนี้

ระดับสีที่ 0 ผลสีเขียวอมเหลืองสม่ำเสมอ หรือมีสีเขียวอมเหลืองแฉกด้วยสีเขียวอ่อนหรือจุดสีเทา มียางสีเหลืองภายในเปลือกในระดับรุนแรงมาก เนื้อและเปลือกไม่สามารถแยกออกจากกันได้ ไม่ควรเก็บเกี่ยวเพราะคุณภาพด้อยมาก ซึ่งผลที่เก็บเกี่ยวได้ในระยะนี้ถึงแม้จะเปลี่ยนสีไปเป็นระดับ 6 ได้ก็ตาม แต่ผลที่ได้จะมีรสชาติไม่ดี

ระดับสีที่ 1 ผลมีสีเหลืองอ่อนอมเขียว มีจุดสีชมพูกระจายอยู่ในบางส่วนของผล ยางภายในเปลือกยังคงมีอยู่ในระดับรุนแรง เนื้อและเปลือกยังไม่สามารถแยกออกจากกันได้ ผลที่เก็บเกี่ยวในระยะนี้ถึงแม้ว่าจะเปลี่ยนสีเป็นระดับ 6 ได้ก็ตาม แต่ผลที่ได้จะมีรสชาติไม่ดี แต่เหมาะต่อการขนส่งไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ หรือสามารถบริโภคได้ภายใน 4 วันหลังการเก็บเกี่ยว

ระดับสีที่ 2 ผลมีสีเหลืองอ่อนอมชมพูกระจายไปทั่วผล ยางภายในเปลือกอยู่ในระดับปานกลาง การแยกตัวระหว่างเนื้อและเปลือกทำได้ยากถึงปานกลาง เป็นระยะอ่อนที่สุดสำหรับการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้ผลที่มีคุณภาพดี

ระดับสีที่ 3 ผลสีชมพูสม่ำเสมอ ประสีชมพูเริ่มขยายเข้ามารวมกัน ไม่แบ่งแยกกันอย่างชัดเจนดังเช่นในระดับที่ 2 ยางภายในเปลือกยังคงมีอยู่ถึงน้อยมาก การแยกตัวระหว่างเนื้อและเปลือกปานกลาง เป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวเพื่อส่งออกต่างประเทศ

ระดับสีที่ 4 ผลสีแดงหรือน้ำตาลอมแดง บางครั้งมีแต้มสีม่วง ภายใต้อกลีอกมีน้อยถึงไม่มีเลย การแยกตัวระหว่างเนื้อและเปลือกดีมาก เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวเพื่อส่งออกต่างประเทศ เป็นระยะที่เก็บรับประทานได้

ระดับสีที่ 5 ผลมีสีม่วงอมแดง ภายใต้อกลีอกไม่มียางเหลืออยู่ เนื้อและเปลือกสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย เป็นระยะที่รับประทานได้

ระดับสีที่ 6 ผลสีม่วงเข้มจนถึงม่วงดำ ภายใต้อกลีอกไม่มียางเหลืออยู่ เนื้อและเปลือกสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย เป็นระยะที่เหมาะสมแก่การรับประทานให้อร่อยมากที่สุด อายุหลังจากนี้อยู่ได้อีกประมาณ 10 วัน ถ้ามีการเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้องอย่างถูกต้อง

การพิจารณาว่าจะเก็บผลมังคุดแก่ระดับไหนจึงจะเหมาะสม ขึ้นอยู่กับระยะทางในการขนส่งและการรอเวลาจำหน่ายเป็นหลัก เพื่อให้ถึงผู้บริโภคเมื่อสีของผิวเป็นสีดำพอดีซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุด วัชของการเก็บเกี่ยวมังคุดที่ดีที่สุดนั้นคือ ช่วงที่ผลมังคุดเริ่มมีสายเลือดได้ 1 - 2 วัน เนื่องจากเปลือกยังแข็งและตึงกดได้ง่าย แต่ถ้าเป็นมังคุดที่มีขนาดเล็กหรือในช่วงที่มังคุดสุกมาก ควรเลือกเก็บขณะที่มังคุดมีสีแดงแล้ว (สุรพงษ์ และ กวีศรี: 2522)

ลักษณะนิสัยในการเจริญเติบโตและออกดอกติดผลจนเก็บเกี่ยวได้ของมังคุดจะมีความสัมพันธ์กันอย่างมากกับปริมาณน้ำฝนและความชื้นในแต่ละรอบปี โดยจะส่งผลถึงคุณภาพของมังคุด เช่น ผลที่มีขนาดเล็ก ยางไหล เป็นโรคเน่าเสีย และอาการเนื้อแก้วของมังคุด โดยเฉพาะอาการเนื้อแก้ว เมื่อเกิดอาการนี้แล้วเนื้อผลปกติอ่อนนุ่มสีขาว จะเปลี่ยนเป็นใสและแข็งเหมือนวุ้น ไม่สามารถที่จะตรวจสอบอาการเนื้อแก้วได้จากภายนอก และยังไม่ทราบสาเหตุที่แน่นอน มีแนวความคิดที่ว่าเมื่อเนื้อผลปกติมีอากาศแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์จะทำให้เห็นเป็นสีขาวเช่นเดียวกับน้ำแข็งที่มีฟองอากาศแทรกอยู่ ซึ่งจะเห็นน้ำแข็งเป็นสีขาวขุ่น ขณะที่เนื้อแก้วนั้นเซลล์ได้รับน้ำมากเกินไปทำให้แรงดันภายในเซลล์เพิ่มมากขึ้นจนดันให้เยื่อหุ้มเซลล์ฉีกขาดน้ำเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่างระหว่างเซลล์ทำให้เห็นเนื้อผลใสเสมือนกับน้ำแข็งที่ไม่มีฟองอากาศแทรกอยู่ภายใน นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของสารบางอย่างอาจทำให้เกิดการแข็งตัวของเนื้อเยื่อขึ้น เช่น การสะสมสารประกอบเพกติน (Pectin) ในรูปที่ไม่ละลายน้ำใน middle lamella มากกว่าปกติ (วรภัทร, 2539)

จากการสำรวจและสอบถามเกษตรกรในแหล่งปลูกมังคุดที่สำคัญ ถึงสาเหตุของการเกิดเนื้อแก้วในผลมังคุด พบว่าพบอาการดังกล่าวเมื่อเก็บเกี่ยวผลมังคุดหลังฝนตกและจากการศึกษาข้อมูลอากาศพบว่าปริมาณน้ำฝนที่มากประกอบกับความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงและแสงแดดน้อยมีความสัมพันธ์กับการเกิดเนื้อแก้วของมังคุด กล่าวคือ ถ้าปริมาณน้ำฝนกับต้นมังคุดประมาณ 75 มิลลิเมตรต่อวัน เปรียบเทียบกับการให้น้ำปกติประมาณ 15 - 20 มิลลิเมตรต่อวัน พบว่าต้นที่ได้รับน้ำมากมีแนวโน้มเกิดอาการเนื้อแก้วมากกว่าต้นที่ได้รับน้ำน้อยแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าหากปริมาณน้ำฝนมากกว่าจะพบว่าผลแตกร้าวกลางผล โดยผิวด้านนอกของ

เปลือกมังคุดจะแตกเป็นแนวขวางและแนวนอนคู่คล้ายกับผลมังคุดราวไปหมดทั้งผลและยังพบอาการเนื้อแก้วและยางไหลในผลมังคุดที่แตกเหล่านั้น

เมื่อศึกษาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อของผลมังคุดในช่วงอายุต่างๆ จะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเร็วมากในช่วง 3 - 4 สัปดาห์ และหลังจากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และน้ำหนักผลเฉลี่ยและร้อยละของเปลือก กลีบเลี้ยง เมล็ด เนื้อ และจำนวนเมล็ดสมบูรณ์ต่อผลจะขึ้นอยู่กับขนาดผล ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งจะพบว่าเมื่อผลมังคุดมีขนาดใหญ่สัดส่วนของเปลือกจะน้อยลง แต่สัดส่วนของเมล็ดและเนื้อมีมากกว่า

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อมังคุดต่อน้ำหนักผลรวม (%) ในระยะเวลาต่างๆ ของผลมังคุดที่อยู่บนต้น -

อายุผล (สัปดาห์)	3	4	5	6	7
เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเนื้อ น้ำหนักผล	6.06	13.10	17.24	17.21	17.81

ที่มา: กวิศร์ และ สุรพงษ์ (2522)

ตารางที่ 2.2 น้ำหนักผลมังคุดและร้อยละของเปลือก กลีบเลี้ยง เมล็ด เนื้อ และจำนวนเมล็ดสมบูรณ์ต่อผล

ขนาดผล	น้ำหนัก (กรัม)	ร้อยละ โดยน้ำหนักของ				จำนวนเมล็ด สมบูรณ์ / ผล
		เปลือก	กลีบเลี้ยง	เมล็ด	เนื้อ	
ใหญ่	90.4	59.4	3.1	5.6	31.9	2
กลาง	54.2	61.7	4.8	2.8	30.7	1
เล็ก	43.5	61.9	5.1	2.2	30.8	0.8

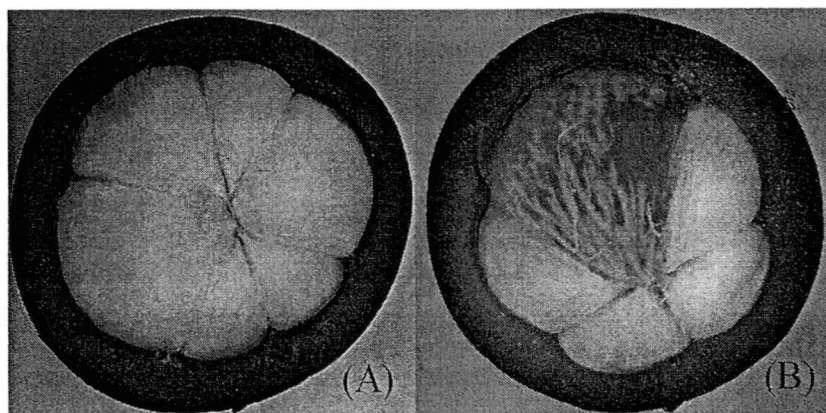
ที่มา: กวิศร์ และ สุรพงษ์ (2522)

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่า ส่วนที่เหลือนอกจากเนื้อมังคุด คือ น้ำหนักของเปลือกมังคุด ซึ่งจะเห็นได้จากตารางที่ 2.2 พบว่าร้อยละโดยน้ำหนักของเปลือกสูงประมาณ 60%

โรคเนื้อแก้ว

สาเหตุ เป็นโรคที่ไม่มีเชื้อสาเหตุแต่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลเมื่อได้รับน้ำมากเกินไปในช่วงในใกล้แก่ส่วนของพืชที่ถูกทำลายผล เนื้อในผล

ลักษณะอาการ เนื้อภายในผลมังคุดโดยปกติจะมีลักษณะนุ่มและมีสีขาว ชุ่ม ส่วนเนื้อมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วจะใส และมีลักษณะคล้ายน้ำอยู่ภายในอาการเนื้อแก้ว ดังภาพที่ 2.1 มักเกิดกับกลีบเนื้อ หรือพูที่มีเมล็ดและลูกกลามไปยังพูข้างเคียงมังคุดเนื้อแก้ว จะมีความกรอบ รสชาติค่อนข้างจืด อาการเนื้อแก้วถ้าเป็นรุนแรงอาจจะสังเกตได้จากภายนอก กล่าวคือ ผิวของเปลือกจะมีรอยร้าวตามแนวอนธาร์รอยร้าวนี้ยาวเนื้อแก้วในผลนั้นจะมีมาก แต่อาการเนื้อแก้วเพียงเล็กน้อย จะไม่สามารถเห็นอาการผิดปกติใดๆ บนผิวของผลเลย



ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างคุณภาพภายในของผลมังคุด: (A) คือมังคุดปกติ (B) คือมังคุดเนื้อแก้ว

การแพร่ระบาด ขึ้นอยู่กับปริมาณฝนที่มากกว่าปกติในช่วงผลมังคุดใกล้แก่ อายุต้น สภาพดินและการจัดการสวน ต้นมังคุดที่มีอายุมากมีโอกาสที่จะเกิดเนื้อแก้วน้อยกว่าต้นอายุน้อย มังคุดที่ปลูกในดินที่มีลักษณะเป็นทรายมีโอกาสจะเกิดเนื้อแก้วได้มากกว่าในดินเหนียวการจัดการน้ำที่เหมาะสม จะช่วยให้การเกิดเนื้อแก้วน้อยลง

เขตการแพร่ระบาด พบได้ทั่วไปในแหล่งปลูกมังคุดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีสภาพฝนตกชุก และต่อเนื่องในช่วงผลมังคุดใกล้แก่ ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม

ความเสียหาย อาการเนื้อแก้วของมังคุดเป็นที่รู้จักกันดีในหมู่ผู้บริโภคชาวไทยและหลายชนชอบที่จะบริโภคมังคุดเนื้อแก้ว แต่ถ้าเกิดอาการรุนแรงโดยมีอาการผลแตกร้าวที่เห็นได้จากภายนอก ก็จะทำให้ผลผลิตขายไม่ได้ต้องคัดออก ซึ่งพบไม่มากนัก

การป้องกันกำจัด

1. จัดการต้นมังคุดให้ออกดอกเร็วกว่าฤดูกาลเพื่อให้สามารถเก็บเกี่ยวได้ก่อนที่จะมีสภาพฝนตกชุก โดยควบคุมและกระตุ้นให้มีการแตกใบอ่อนที่เร็วขึ้น และเสริมสร้างความเจริญเติบโต

ทางใบโดยการจัดการธาตุอาหารพืชที่เหมาะสม สร้างสภาพแวดล้อมให้ต้นมังคุดได้พักตัวเร็วขึ้น เพื่อการชักนำให้ออกดอกได้เร็วกว่าปกติ

2. อาการเนื้อแก้วของมังคุดอาจจะป้องกันได้โดยการให้น้ำมังคุดอย่างสม่ำเสมอในช่วงติดผล การบำรุงรักษาต้นและใบให้ความสมบูรณ์ปราศจากความเสียหายจากอาการใบไหม้ ใบจุดหรือใบร่วง ซึ่งจะช่วยให้มังคุดมีทรงพุ่มที่มีกิ่งและใบสมบูรณ์ การได้รับน้ำมากเกินไปอาจมีผลกระทบน้อยลง หรือไม่มีเลยก็ได้กับอาการผิดปกติของเนื้อในผล ไม่ว่าจะเป็อาการเนื้อแก้ว หรืออาการยางไหลบนผล

3. มีการให้น้ำเหนือทรงพุ่มเป็นระยะๆ ในขณะที่ผลมังคุดเจริญเติบโตเต็มที่ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2541)

2.2 NIR (Near – Infrared Spectroscopy)

NIR Spectroscopy เป็นเทคนิคการวิเคราะห์อย่างหนึ่งที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ โดยอาศัยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนโดยตัวอย่าง เป็นวิธีที่ให้ผลที่ดีและรวดเร็ว ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดผลิตภัณฑ์ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ตั้งแต่การตรวจสอบวัตถุดิบไปจนถึงการตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้

การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับ Infrared นี้ได้ดำเนินมาเป็นเวลานานแล้ว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1800 Sir. William Herschel ได้ศึกษาเกี่ยวกับ heating effect ในช่วงต่างๆ ของสเปกตรัมและพบว่า heating effect มีมากที่สุดแถบของสเปกตรัมที่ปลายสีแดง(red end) ไปแล้วและในช่วงปลายของศตวรรษที่ 19 ได้เริ่มมีการศึกษา Infrared Spectrum ในปี ค.ศ. 1910 Coblentz ได้ศึกษาการดูดกลืนแสง Infrared Spectrum ของสารต่างๆ และได้สร้างความสัมพันธ์ Infrared Spectrum กับโครงสร้างของสารขึ้น ซึ่งยังคงใช้อยู่จนกระทั่งปัจจุบันนี้

ช่วงใกล้ Infrared (Near – Infrared region) หรือ Overtone region เกิดจากการรวมกันของ Infrared ที่อยู่ในช่วงกลาง(นั่นคือเป็น 2ν , 3ν เป็นต้น เมื่อ ν คือความถี่)

ช่วงกลาง Infrared (middle – Infrared region) หรือ fundamental region ยังแบ่งออกได้เป็น

1. group – frequency region เป็นช่วงที่อยู่ระหว่าง $4000 - 1300 \text{ cm}^{-1}$ หรือ $2.8 - 8 \mu\text{m}$
2. finger print region เป็นช่วงที่อยู่ระหว่าง $1300 - 650 \text{ cm}^{-1}$ สเปกตรัมที่ได้ในช่วงนี้ส่วนใหญ่เกิดจากโครงสร้างของโมเลกุลที่สมบูรณ์ ดังนั้นสเปกตรัมที่ได้จึงค่อนข้างยุ่งยาก การวิเคราะห์จึงต้องใช้วิธีเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของสารที่ทราบโครงสร้างแล้ว

ช่วงไกล Infrared (Far - Infrared region) ช่วงนี้ไม่ค่อยจะได้ใช้ในการวิเคราะห์เนื่องจากสเปกตรัมช่วงนี้มักเกิดจากการสั่นของโครงสร้าง ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ช่วงต่างๆ ของอินฟราเรดสเปกตรัม

ช่วง (Region)	ช่วงความยาวคลื่น ($\mu\text{ m}$)	จำนวนคลื่น (wavenumber) (cm^{-1})	ช่วงความถี่ (ν)(Hz)
ช่วงใกล้	0.78 – 2.5	12800 – 4000	$3.8 \times 10^4 - 1.2 \times 10^{14}$
ช่วงกลาง	2.5 – 50	4000 – 200	$1.2 \times 10^{14} - 6.0 \times 10^{12}$
ช่วงไกล	50 – 1000	200 – 10	$6.0 \times 10^{12} - 3.0 \times 10^{11}$

กระบวนการดูดกลืนแสง Near Infrared (The Near Infrared Absorption Process)

โมเลกุลของสารเคมีจะดูดกลืนแสงในช่วง Near Infrared ได้นั้นก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกับการดูดกลืนแสงในช่วง UV – Visible เพียงแต่ต่างกันที่ Near Infrared มีพลังงานน้อยกว่า ดังนั้นโมเลกุลเมื่อดูดกลืนแสง Near Infrared โมเลกุลจะถูกกระตุ้น (excite) เป็นโมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าที่สภาวะพื้น โดยมีพลังงานเปลี่ยนแปลงอยู่ในราว 2 – 10 kcal/mole ซึ่งเป็นพลังงานพอที่จะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่น (vibration) การดูดกลืนแสง Near Infrared ของโมเลกุลไม่ใช่ว่าทุกโมเลกุลของสารจะดูดกลืนแสง Near Infrared ได้หมด แต่จะต้องมีลักษณะเฉพาะ สภาวะก็ต้องเหมาะสมด้วยคือ

1. รังสีหรือแสงนั้นจะต้องมีพลังงานเหมาะสมพอดี (quantise)
2. จะต้องเกิดการควบคู่ (coupling) พอดีระหว่างสนามไฟฟ้าจากการแผ่รังสีกับสารนั้นเมื่อการดูดกลืนพลังงานแล้วจะทำให้เกิดโมเมนต์ขั้วคู่ (dipole moment) ของโมเลกุลนั้นเปลี่ยนไป

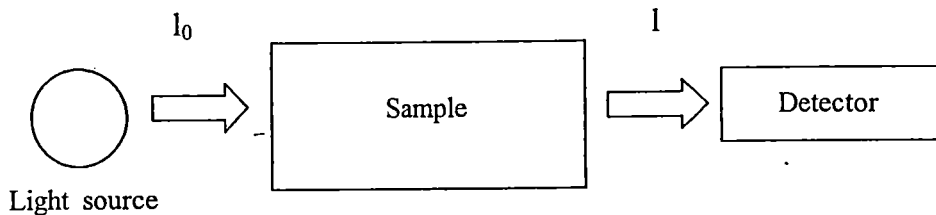
ดังนั้นเมื่อใช้ Near Infrared ผ่านเข้าไปในโมเลกุลของสารใดก็ตาม แล้วเกิดปรากฏการณ์ทั้งสองอย่างข้างบนนี้เรียกว่า Near Infrared active ถ้าไม่มีการการเปลี่ยนโมเมนต์ขั้วคู่ แสดงว่าสารนั้นเป็น Near Infrared inactive ถือว่าไม่มีการดูดกลืนแสง Near Infrared ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ขั้วคู่มากจะได้ Near Infrared absorption peak สูงถ้าเปลี่ยนแปลงน้อยก็จะได้ weak absorption peak

NIR (Near - infrared) Spectroscopy ได้ถูกนำมาใช้งานในช่วงปลายของทศวรรษ 1970 เป็นวิธีการวิเคราะห์โมเลกุลที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกตัวอย่างดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400 - 2500 นาโนเมตร

NIR Spectroscopy มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมหลายๆ ด้าน โดยเฉพาะด้านอาหารและยา ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ในการจำแนกองค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของตัวอย่างทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณได้เป็นอย่างดี

หลักการวัดของเครื่อง NIR Spectroscopy มีด้วยกัน 2 แบบ คือ Reflectance และ Transmittance

สารประกอบทุกชนิดมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสง พลังงานที่ดูดกลืนสามารถวัดได้โดยทางอ้อมด้วยการวัดปริมาณพลังงานที่ถูกส่งผ่านตัวอย่างหรือพลังงานแสงที่สะท้อนกลับออกมาจากตัวอย่าง พิจารณาตัวอย่างที่โปร่งแสงวางอยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดแสง (light source) และอุปกรณ์วัดแสง (Detector) ดังแสดงในรูป 2.2 จะแสดงการวัดแบบ transmittance

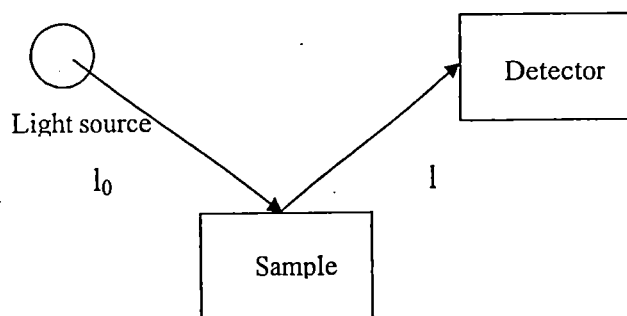


เมื่อ I_0 คือ ความเข้มของแสงเริ่มต้น , I คือ ความเข้มแสงหลังจากส่งผ่านตัวอย่าง

ภาพที่ 2.2 การวัดแบบ Transmittance

สำหรับกรณีที่ตัวอย่างมีลักษณะไม่โปร่งแสง (Opaque sample) แสงจากแหล่งกำเนิดจะไม่สามารถทะลุผ่านตัวอย่างได้และบางส่วนจะถูกดูดกลืนในขณะที่บางส่วนจะถูกสะท้อนกลับออกมาดังแสดงในรูป 2.3 การวัดในลักษณะนี้สามารถวัดจากปริมาณพลังงานที่ถูกดูดกลืนหรือวัดจากปริมาณพลังงานของแสงที่สะท้อนออกมา (เป็นพลังงานที่เหลืออยู่ในแสง) โดยที่

$$\text{Reflelectance } (R) = \frac{I}{I_0} \quad \text{และ} \quad \text{Absorbance} = \log \frac{I}{R}$$



ภาพที่ 2.3 การวัดแบบ Reflelectance

เมื่อพิจารณาที่ผิวของตัวอย่าง ณ ตำแหน่งที่แสงสะท้อน แสงบางส่วนจะสะท้อนออกมาตรงๆ โดยไม่ได้ทะลุเข้าไปในตัวอย่าง แสงบางส่วนนี้จะไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับตัวอย่างเลยแสงในส่วนนี้เรียกว่า “Specular reflectance” แต่จะมีแสงบางส่วนที่ทะลุผ่านเข้าไปในตัวอย่างต่ำกว่าผิวแสงในส่วนนี้จะมีข้อมูลเกี่ยวกับตัวอย่างอยู่ และเป็นแสงที่ต้องการวัดเรียกว่า “Diffuse reflectance” ตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่าง Specular reflectance และ Diffuse reflectance เช่น ผู้ชายคนหนึ่งยืนอยู่หน้ากระจกเงาเห็นภาพตัวเองในกระจกทั้งหมด เนื่องจากแสงที่ส่องจากตัวผู้ชายนี้ไปยังกระจกสะท้อนกลับออกมาโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง ลักษณะนี้คือ Specular reflectance คราวนี้ถ้าผู้ชายคนเดียวกันยืนอยู่ที่หน้าผนังตึกและพยายามมองเงาสะท้อนของตัวเอง เขาจะไม่สามารถมองเห็น ได้ทั้งนี้เนื่องจากว่าแสงที่ส่องออกจากตัวของเขาไปยังตึกจะถูกเปลี่ยนแปลงไปโดยที่ผนังก่อนที่จะสะท้อนออกมาในแบบ Diffuse reflectance แสงในส่วนนี้จะมีข้อมูลเกี่ยวกับผนังตึก เช่น สี ลักษณะของผนัง เป็นต้น โดยที่ข้อมูลในแสงก่อนกระทบผนังตึกจะแตกต่างกับแสงหลังจากสะท้อนออกจากผนัง

ความยาวคลื่นที่เกิดจากการดูดกลืนเป็นฟังก์ชันของโครงสร้างทางโมเลกุลของสารประกอบนั้นๆ ดังนั้นการดูดกลืนแสงจะเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสารประกอบนั้นๆ นั่นคือสารประกอบแต่ละสารจะมี Absorption spectrum ที่แตกต่างกัน โดยที่ Absorption spectrum เป็นพล็อตระหว่างการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่น

การดูดกลืนที่ความยาวคลื่นหนึ่งๆ (หน่วยเป็นนาโนเมตร ; nm) มีการนิยามโดย Beer Lambert law ดังนี้

$$A = \log \frac{I}{T} = abc \quad (1)$$

โดยที่ A = absorbance ; T = Transmittance

a = Absorption coefficient ซึ่งเป็นค่าคงที่สำหรับแต่ละสารประกอบ

b = pathlength หรือความหนาของตัวอย่างในกรณีนี้

c = ความเข้มข้น(Concentration) ของสารประกอบที่ดูดกลืนแสง

การนำสมการนี้ไปใช้หาความเข้มข้นของตัวอย่างโดยการวัด absorbance นั้นจะต้องทราบความหนาของตัวอย่างที่ถูกต้องและจะต้องหาค่า Absorption coefficient โดยหากกลุ่มตัวอย่างที่ทราบค่าความเข้มข้น โดยพลอตกราฟระหว่าง absorbance (A) และความเข้มข้น (C) จะได้กราฟเส้นตรงผ่านจุด origin โดยมีความชันเท่ากับ ab เนื่องจากเราทราบค่า b ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาค่า a ได้โดยง่ายเมื่อจัดเรียงสมการใหม่จะได้

$$C = \frac{A}{ab} \quad (2)$$

ซึ่งสอดคล้องกับสมการ Multiregression ที่นิยมใช้ในการทำการ Calibration ที่อยู่ในรูป

$$Y = B_0 + B_i \left(\log \frac{l}{T_i} \right) + E \quad (3)$$

โดยที่ Y = เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารประกอบที่ดูดกลืนแสง

B_0 = ค่า intercept จาก regression

B_i = สัมประสิทธิ์ regression

i = index ของความยาวคลื่นที่ใช้ที่ตรงกับ T_i

E = random error

ในสมการค่า B แต่ละค่าเปรียบเทียบกับได้กับผลคูณระหว่าง pathlength (b) กับ absorption coefficient (a)

ส่วนประกอบของเครื่อง Near Infrared Spectroscopy (NIR Spectroscopy Components)

ส่วนประกอบหลักและการออกแบบเครื่องมือ Spectrometer แต่ละประเภทจะมีความคล้ายคลึงกันแต่อาจมีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ใช้ในการออกแบบและความต้องการการใช้งานของผู้ออกแบบแต่ละส่วน ส่วนประกอบหลักที่มีความสำคัญ คือ

1. ต้นกำเนิดแสง Near Infrared (NIR Source)

แหล่งกำเนิดรังสีในช่วง NIR นั้นโดยส่วนใหญ่จะใช้หลอดทั้งสแตนเพราคาราคาถูกและใช้งานได้ทันที แล้วใช้ตัวฟิลเตอร์ช่วยกรองแสงในช่วงความถี่ที่ไม่ต้องการออกเพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างร้อนจนเกินไปหรือใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดโดยค่าความยาวคลื่นที่ได้จะขึ้นกับสารที่ใช้ทำตัว LED อย่างไรก็ตาม LED ไม่สามารถให้ความยาวคลื่นในช่วง 1700 - 2500 นาโนเมตรได้ ซึ่งเป็นช่วงที่นิยมนำไปใช้งาน แต่ก็เหมาะสำหรับเครื่องมือแบบพกพาเพราะต้องการกำลังไฟฟ้าน้อย มีอายุการใช้งานที่ยาวนานและพลังงานของผลึกฟลูออไรด์ที่ได้นี้ไม่เพิ่มสูงขึ้นแม้จะมีการเพิ่มกำลังวัตต์ของแหล่งกำเนิด ปัจจุบันแหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้ คือ Quartz Tungsten - Halogen monofilament lamp.

2. โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator)

ถือว่าเป็นหัวใจของเครื่อง Near Infrared Spectroscopy เพราะเป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก (คือ เป็นแสงที่ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ) โมโนโครเมเตอร์ประกอบด้วย

2.1 ช่องที่ปล่อยให้แสงเข้า (Entrance Slit) เพื่อให้แสงที่เข้ามาแรงพอที่จะผ่านออกไปยังสารตัวอย่าง ดังนั้นความกว้างของ Entrance Slit จึงมีความสำคัญ

2.2 กระจกเลนส์และเลนส์ (mirror and lens) เพื่อให้แสงเกิดการสะท้อนไปมา เครื่องบางเครื่องทำให้เกิดการรวมกันของแสง

2.3 ส่วนที่ใช้ทำให้แสงกระจายออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆ เพื่อให้เหมาะแก่การเลือกใช้หรืออาจเป็นส่วนที่ตัดแสงบางช่วงออกไปให้เหลือช่วงที่คลื่นที่แสงที่ต้องการ อุปกรณ์ส่วนนี้อาจจะประกอบด้วย

ก. ฟิลเตอร์ (filter)

ข. ปริซึม (prism)

ค. เกรตติง (grating)

2.4 ช่องแสงออก (exit slit) เป็นส่วนที่จะปล่อยให้แสงที่ผ่านสารตัวอย่างแล้วผ่านไปยังมาตรวัดแสง โดยทั่วไปช่องแสงเข้าและออกมักจะเปิดเท่ากัน หรือสามารถปรับได้ตามความต้องการ

3. ช่องที่ใส่สารตัวอย่างเพื่อการวัด (Sample Compartment)

ตำแหน่งที่วางตัวอย่างจะต้องได้รับการออกแบบให้มีความเหมาะสมกับรูปแบบของการวิเคราะห์และปริมาณของอนุภาคที่ใช้วิเคราะห์ เช่น ถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่างจะเหมาะสำหรับตัวอย่างที่เป็นตะกอนแห้งหรือในกรณีที่ตัวอย่างมีปริมาณมากด้วยเหล่านี้อาจมีการหมุน เป็นต้น เซลล์สำหรับใส่ตัวอย่างเหล่านี้จะต้องทำจากวัสดุที่ยอมให้แสงในช่วง NIR สามารถทะลุผ่านได้ เช่น ควอตซ์หรือแก้ว และมีระยะทางเดินของแสงที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่าง ซึ่งส่วนนี้จะต้องมีฝาปิดเพื่อกันแสงจากภายนอกเข้าไป

4. อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดแสง (NIR detectors)

ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงที่ทะลุผ่านตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการ 2 แบบ คือ

4.1 Photoconductive Effect เกิดเช่นเดียวกับสารกึ่งตัวนำเป็นแบบ Photo Detector

4.2 Heating Effect โดยที่แสง Near Infrared ถูกดูดกลืนจะเกิดความร้อนขึ้นแล้วทำให้ความต้านทานของเส้นลวดในเครื่องวัดเกิดการเปลี่ยนแปลง เรียกว่า "Thermal Detector" ซึ่งใช้เป็นเครื่องวัดที่ครอบคลุมความยาวคลื่นได้กว้างขวาง

การเลือกเครื่องตรวจวัดนั้นขึ้นกับช่วงความยาวคลื่นและการออกแบบตัวแปรต่างๆ ของ Spectrometer ซึ่งซิลิกอนจะเหมาะสำหรับแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้และ NIR ช่วงความยาวคลื่นสั้น (400 - 1100 นาโนเมตร) นอกจากนี้ผู้ผลิตบางรายอาจมีการใช้อินเดียมเทลลูไรด์ อาเซไนด์ในการตรวจวัดความยาวคลื่นในช่วง 800 - 1700 นาโนเมตร

สำหรับเครื่องตรวจวัดที่นิยมใช้ในเครื่องมือประเภทอื่นๆ เช่น ไดโอดอาเรย์ ก็ได้ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัด NIR เพิ่มมากขึ้น แต่ไม่เหมาะสำหรับเครื่องมือแบบพกพาเพราะจะซำรุดได้ง่าย และเมื่อมีการเปลี่ยนอุปกรณ์บ่อยๆ จะทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจวัดลดลง

Spectrometer ขนาดเล็กๆ จะใช้ CCD (Charge Coupled Device เป็น Sensor ที่ทำงานโดยส่วนที่เป็น Sensor แต่ละพิกเซล จะทำหน้าที่รับแสงและเปลี่ยนค่าแสงเป็นสัญญาณอนาล็อก ส่งเข้าสู่วงจรเปลี่ยนค่าอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลอีกที) เป็นเครื่องตรวจวัดแต่มีข้อจำกัดอยู่ที่สามารถตรวจวัดแสงได้เฉพาะในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ และ NIR ในช่วงความยาวคลื่นสั้นเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วผลลัพธ์ที่ได้จะสามารถแบ่งได้เป็น ข้อมูล สเปกตรัม ซึ่งผู้ใช้สามารถนำไปใช้ในการสร้างแบบสอบถามหรือใช้ตรวจวัดค่าที่สนใจต่อไป และแบบที่ให้ผลที่สนใจโดยตรง คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ได้เข้ามามีบทบาทในการรวบรวมและจัดการข้อมูลต่างๆ เหล่านี้

5. เครื่องบันทึกสเปกตรัม (Recorder หรือ Readout Devices)

เครื่องขยาย-แยกสัญญาณและประมวลผล (signal processors and data read out) สัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดจะนำไปเข้ากระบวนการของระบบอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ขยายสัญญาณให้มากขึ้น หรืออาจเปลี่ยนสัญญาณ D.C. เป็น A.C. หรือ A.C. เป็น D.C. อาจมีการกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการออกไป หรือนำสัญญาณที่ได้แยกออก (และเข้ากระบวนการทางคณิตศาสตร์) เข้าเครื่องอินทิเกรชัน หรือเปลี่ยนให้เป็น log scale เป็นต้น (นิพนธ์, 2545)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหลายปีที่ผ่านมา เทคนิคการใช้ NIR spectroscopy ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการประเมินคุณภาพภายในของผลไม้หลายชนิดแบบไม่ทำลายอย่างแพร่หลาย เช่น การหาปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ในผลแคนตาลูป (Dull et al., 1989), การหาปริมาณน้ำตาลในผลเมลอน (Dull et al., 1992), การหาปริมาณน้ำตาลในผลพีช (Kawano et al., 1992), การหาปริมาณน้ำตาลในผลส้ม (Kawano et al., 1993), การหาปริมาณน้ำตาลและปริมาณน้ำหนักรเนื้อแห้งในผลกีวี (McGlone and Kawano et al., 1998), การหาปริมาณน้ำตาลในมะเขือเทศ (Slaughter et al., 1996), การหาปริมาณน้ำตาลในผลแตงโมและสับปะรด (Guthrie et al., 1998), การหาปริมาณน้ำตาลในผลแอปเปิล (Ventura et al., 1998), การหาปริมาณน้ำหนักรเนื้อแห้งในผลอะโวคาโด (Clark et al., 2003), การหาปริมาณน้ำตาลในผลพรุณ (Slaughter et al., 2003) การหาปริมาณน้ำตาลและน้ำหนักรเนื้อแห้งในผลมะม่วง (Saranwong et al., 2003) และ การประเมินความหวานของผลมังคุด (สนธิสุข และคณะ, 2551)

สำหรับการทำนายการเกิดอาการเนื้อแก้วในมังคุดแบบไม่ทำลาย มีนักวิจัยจำนวนมากได้พยายามที่จะหาเทคนิคเพื่อใช้ในการคัดแยก เช่น การใช้ความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะมาใช้ในการคัดแยกผลมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วกับมังคุดปกติ มีการบันทึกข้อมูลการคัดแยกมังคุดผล

ปกติและผลที่มีอาการเนื้อแก้ว โดยใช้วิธีการลอยน้ำหรือใช้ความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างเป็นเกณฑ์ โดยตั้งสมมุติฐานว่าผลมังคุดที่มีความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) มากกว่า 1 และทำการทดสอบ ได้ผลว่ามังคุดที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1 จะเป็นมังคุดเนื้อแก้ว 75.13 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลมังคุดมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 จะเป็นมังคุดเนื้อปกติ 90.68 เปอร์เซ็นต์ (ชนะชัย, 2534) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากยังคงมีความถูกต้องในการคัดแยกน้อยจึงทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับ และได้เคยมีงานวิจัยโดยการนำเทคนิค NIR spectroscopy ช่วงความยาวคลื่นสั้นแบบทะลุผ่านมาใช้ในการทำนายอาการเนื้อแก้วภายในผลมังคุดแบบไม่ทำลายได้อย่างแม่นยำ (Teerachaichayut et al., 2007) นอกจากนี้ได้เคยมีงานวิจัยการใช้ความแตกต่างของความชื้นบริเวณเปลือกมาใช้ในการคัดแยกผลมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วกับมังคุดปกติเช่นกัน (Teerachaichayut et al., 2008)

นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยได้พยายามสร้าง โมเดลของผลแอปเปิ้ล จากการใช้ NIRS ซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามสถานที่ ฤดูกาลและพันธุ์ (Peirs et al. 2003) เช่นเดียวกับผลการวิจัยของ Sohn et al. (2001) ที่สร้าง โมเดลทำนายความหวานของแอปเปิ้ลพันธุ์ฟูจิ ที่มีความแตกต่างกันไปตามสถานที่ปลูกและปีที่เก็บเกี่ยว

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.1.1 เครื่อง NIRS ยี่ห้อ Bran+Luebbe รุ่น InfraAlyzer500 , Norderstedt, Germany
- 3.1.2 เครื่อง reflectometer ยี่ห้อ Atago รุ่น PR-101 Palette Series, Atago Co.,Ltd., Japan
- 3.1.3 Vernier Caliper ยี่ห้อ scorpion (ขนาด 150×0.05 mm ,6×1/128 in)
- 3.1.4 เครื่องชั่งระบบเมตริกแบบดิจิตอล ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BL 1500S
- 3.1.5 เครื่องคั้นน้ำผลไม้
- 3.1.6 เครื่องแก้ว
- 3.1.7 อุปกรณ์เครื่องครัว ได้แก่ มีด , เขียง , ถาด และ ส้อม

3.2 วัตถุดิบ

- 3.2.1 มังคุด อยู่ในวัยระดับสีที่ 4
- 3.2.2 มังคุด อยู่ในวัยระดับสีที่ 5
- 3.2.3 มังคุด อยู่ในวัยระดับสีที่ 6

3.3 สารเคมี

- | | | |
|---------------------|-------|-----|
| 3.3.1 น้ำตาลกลูโคส | SIGMA | USA |
| 3.3.2 น้ำตาลซูโครส | SIGMA | USA |
| 3.3.3 น้ำตาลฟรุกโทส | SIGMA | USA |

3.4 สถานที่ทำการทดลอง

- 3.4.1 คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 3.4.2 สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.5 วิธีการดำเนินงาน

3.5.1 การศึกษาสมการทำนายน้ำมันงาคุดปกติและน้ำมันงาคุดเนื้อแก้ว

คัดเลือกมังคุดที่มีระดับสี 4 ถึง 6 ระบุหมายเลขที่มังคุดแต่ละผลเพื่อทำสัญลักษณ์ วัดขนาด ความกว้างและความสูงของมังคุดแต่ละผล โดยใช้ Vernier Caliper ชั่งน้ำหนักมังคุดแต่ละผลโดยใช้เครื่องชั่งระบบเมตริก ผ่านมังคุดเพื่อความเป็นมังคุดปกติหรือมังคุดเนื้อแก้ว และกั้นน้ำโดยใช้เครื่องกั้นน้ำผลไม้ โดยกรองด้วยผ้าขาวบางใส่บีกเกอร์ นำน้ำมันงาคุดที่ได้มาวัดค่าความหวาน (ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้) โดยใช้เครื่อง refractometer นำน้ำมันงาคุดที่วัดค่าความหวานแล้วไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ย่านความถี่ใกล้อินฟราเรด (Near - Infrared: NIR) ตั้งแต่คลื่นความถี่ 1100 nm ถึง 2500 nm โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (วัดค่าโดยใช้หลักการสะท้อนกลับของคลื่นแสง) ดังภาพที่ 3.1 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์และสร้างโมเดลของน้ำมันงาคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วเพื่อใช้ในการทำนายต่อไป



ภาพที่ 3.1 รูปเครื่องมือ NIRS และช่องใส่ตัวอย่างเพื่อทำการวัด

3.5.2 การศึกษาปริมาณน้ำตาลในน้ำมัจจุคปกติและน้ำมัจจุคเนื้อแก้ว

เก็บตัวอย่างน้ำมัจจุคปกติและน้ำมัจจุคเนื้อแก้ว อย่างละ 300 ml ส่งวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบของปริมาณน้ำตาลกลูโคส , ซูโครส , ฟรุกโทส โดยใช้วิธี HPLC (High Performance Liquid Chromatography) นำสารละลายน้ำตาล (กลูโคส , ซูโครส , ฟรุกโทส) มาทำวัดค่าการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดด้วยเครื่อง NIRS วิเคราะห์สเปกตรัมน้ำมัจจุคปกติและน้ำมัจจุคเนื้อแก้วเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของสารละลายน้ำตาล (กลูโคส , ซูโครส , ฟรุกโทส)

3.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

จัดกลุ่มข้อมูลของมัจจุคที่นำมาทำการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มน้ำมัจจุครวม กลุ่มน้ำมัจจุคปกติ และกลุ่มน้ำมัจจุคเนื้อแก้ว

นำข้อมูลมาจัดกลุ่มน้ำมัจจุครวมจำนวน 300 ตัวอย่าง ทั้งนี้ได้ทำการสุ่มแบ่งกลุ่มดังกล่าวแยกออกเป็นอีกสองกลุ่ม โดยที่กลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดลและเปรียบเทียบ จำนวน 200 ตัวอย่าง และกลุ่มที่สองใช้เพื่อการทำนายจำนวน 100 ตัวอย่าง ทั้งนี้ ข้อมูลตัวของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกลุ่มที่หนึ่งจะครอบคลุมข้อมูลของกลุ่มที่สอง และข้อมูลทั้งสองกลุ่มจะมีค่าการกระจายใกล้เคียงกัน

นำข้อมูลมาจัดกลุ่มน้ำมัจจุคปกติจำนวน 213 ตัวอย่าง ทั้งนี้ได้ทำการสุ่มแบ่งกลุ่มดังกล่าวแยกออกเป็นอีกสองกลุ่ม โดยที่กลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดลและเปรียบเทียบ จำนวน 143 ตัวอย่าง และกลุ่มที่สองใช้เพื่อการทำนายจำนวน 70 ตัวอย่าง ทั้งนี้ ข้อมูลตัวของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของกลุ่มที่หนึ่งจะครอบคลุมข้อมูลของกลุ่มที่สอง และข้อมูลทั้งสองกลุ่มจะมีค่าการกระจายใกล้เคียงกัน

นำข้อมูลมาจัดกลุ่มน้ำมัจจุคเนื้อแก้วจำนวน 87 ตัวอย่าง ทั้งนี้ได้ทำการสุ่มแบ่งกลุ่มดังกล่าวแยกออกเป็นอีกสองกลุ่ม โดยที่กลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้างโมเดลและเปรียบเทียบ จำนวน 57 ตัวอย่าง และกลุ่มที่สองใช้เพื่อการทำนายจำนวน 30 ตัวอย่าง ทั้งนี้ ข้อมูลตัวของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของกลุ่มที่หนึ่งจะครอบคลุมข้อมูลของกลุ่มที่สอง และข้อมูลทั้งสองกลุ่มจะมีค่าการกระจายใกล้เคียงกันเช่นเดียวกัน

ในข้อมูลที่แยกไว้ใช้เพื่อการสร้าง โมเดลและเปรียบเทียบของแต่ละกลุ่ม นำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลของแต่ละกลุ่ม โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยบางส่วนโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด หรือ partial least squares regression (PLSR) และใช้วิธีการเปรียบเทียบแบบ cross-validation ทั้งนี้เพื่อให้ได้โมเดลที่ดีที่สุดของแต่ละกลุ่ม เพื่อในการวิเคราะห์เปรียบเทียบต่อไป ทั้งนี้ในการเลือกให้ได้โมเดลที่ดีที่สุดจะพิจารณาจากจำนวน latent variables (LV) ที่ให้ได้ค่าของความผิดพลาดจากการเปรียบเทียบ หรือ standard error of calibration (SEC) ต่ำที่สุด และมีค่า bias ต่ำ

ในการประเมินประสิทธิภาพในการทำนายของ โมเดลแต่ละ โมเดล ใช้ข้อมูลของกลุ่มที่แยกไว้สำหรับการทำนายของแต่ละกลุ่มมาทำการทำนายโดยวิธี cross-predictions และพิจารณาเปรียบเทียบผลค่าของ correlation coefficient (R) และ ค่าของความผิดพลาดจากการทำนาย หรือ standard error of prediction (SEP) และค่า bias ที่ได้ เพื่อตัดสินใจว่า โมเดลแต่ละ โมเดลมีความสามารถในการทำนายได้แม่นยำมากน้อยต่างกันอย่างไร โดยที่ โมเดลที่มีประเมินประสิทธิภาพในการทำนายได้แม่นยำกว่าจะต้องมีค่าของ correlation coefficient ที่สูงกว่า และมีค่า standard error of prediction (SEP) ที่ต่ำกว่า ทั้งนี้จะต้องมีค่า bias ที่ต่ำ

ในการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดดังกล่าวข้างต้น ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ The Unscrambler (version 9.6, CAMO AS, Trondheim, Norway)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาโมเดลทำนายน้ำมัจจุคปกติและน้ำมัจจุคเนื้อแก้ว

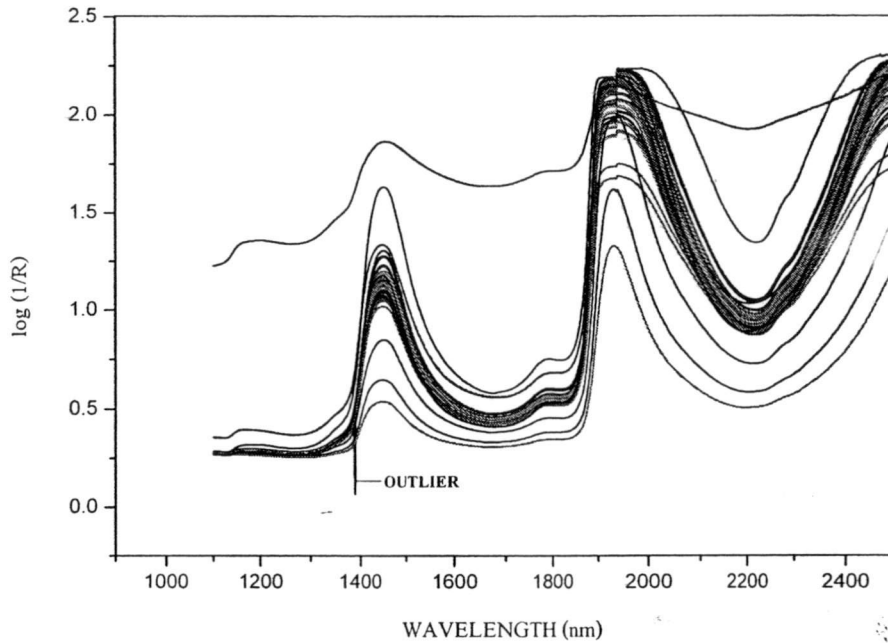
ข้อมูลคุณสมบัติของตัวอย่างในแต่ละกลุ่มแสดงในตารางที่ 4.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเฉลี่ยของน้ำมัจจุคเนื้อแก้วจะต่ำกว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเฉลี่ยของน้ำมัจจุคปกติ อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของน้ำมัจจุคปกติและน้ำมัจจุคเนื้อแก้วในบางตัวอย่างมีค่าของการกระจายตัวอยู่ในส่วนที่ overlap กัน

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดคุณสมบัติของน้ำมัจจุคกลุ่มต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างโมเดลและที่ใช้ทำนาย

กลุ่มตัวอย่าง	กลุ่มย่อย	จำนวน	ค่าต่ำสุด- สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	หน่วยที่ใช้
น้ำมัจจุครวม	สำหรับ สร้างโมเดล	200	10.8-21.6	17.36	1.916	°Brix
	สำหรับ ทำนาย	100	11.9-21.2	17.34	1.867	°Brix
น้ำมัจจุคปกติ	สำหรับ สร้างโมเดล	143	11.9-21.6	17.67	1.796	°Brix
	สำหรับ ทำนาย	70	12.0-21.0	17.64	1.712	°Brix
น้ำมัจจุคเนื้อแก้ว	สำหรับ สร้างโมเดล	57	10.8-20.0	16.57	2.05	°Brix
	สำหรับ ทำนาย	30	11.8-19.4	16.67	1.959	°Brix

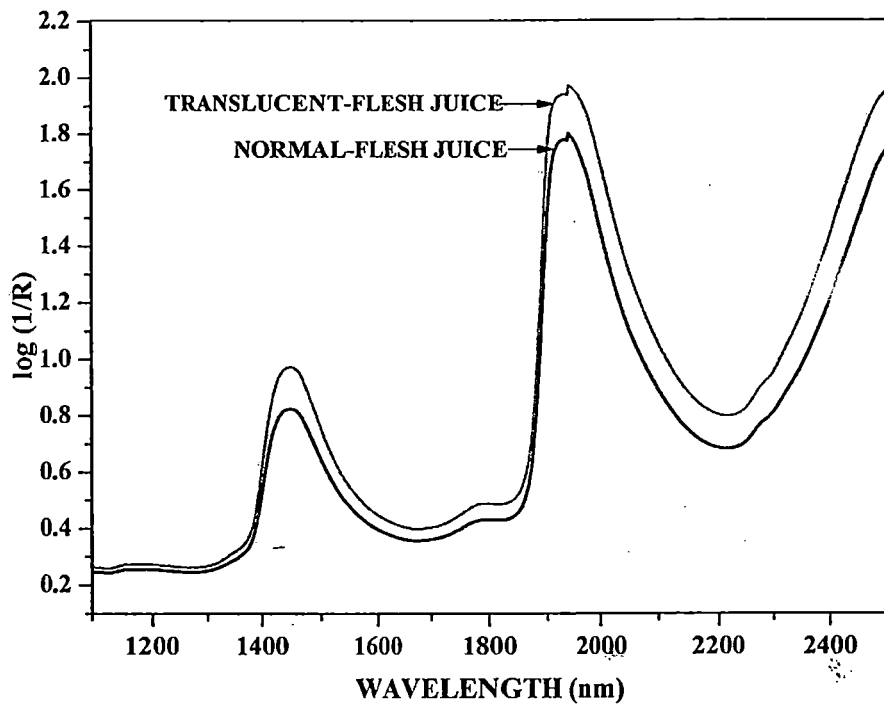
สเปกตรัมของน้ำมัจจุค

เมื่อนำน้ำมัจจุคมาวัดค่าการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรด จะได้สเปกตรัมของน้ำมัจจุคดังแสดงในภาพที่ 4.1 จะเห็นว่า มีบางข้อมูลที่แสดงผลสเปกตรัมที่มีผิดปกติไป ตัวอย่างที่แสดงลักษณะของสเปกตรัมที่ผิดปกตินี้จะถือว่าเป็น outlier และไม่นำมาใช้เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ผล



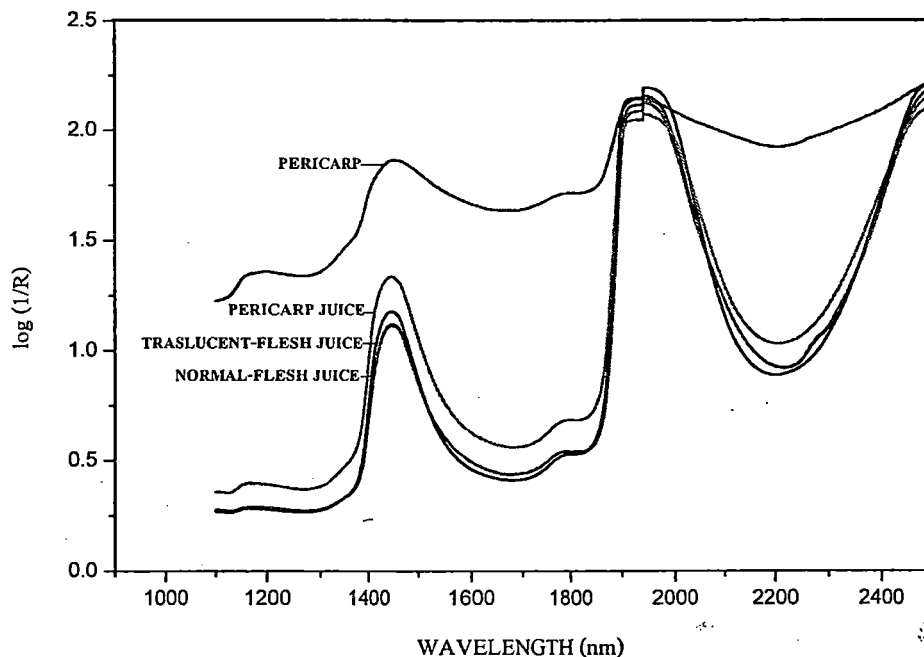
ภาพที่ 4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนพลังงานย่านใกล้อินฟราเรดของมังคุด

สเปกตรัมของน้ำมังคุดมีระดับการดูดกลืนพลังงานอยู่ในช่วงกว้าง โดยในบางตัวอย่างมีระดับการดูดกลืนพลังงานอยู่สูงมากและบางตัวอย่างมีระดับการดูดกลืนพลังงานที่ต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของความหวานหรือปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่แตกต่างกัน และเมื่อนำสเปกตรัมของน้ำมังคุดปกติและของน้ำมังคุดเนื้อแก้วมาเฉลี่ยและพล็อตกราฟ จะได้ดังภาพที่ 4.2 จะเห็นว่าเกิด peak ที่ชัดเจนขึ้น 2 บริเวณ ได้แก่ บริเวณความยาวคลื่น 1,450 nm และบริเวณความยาวคลื่น 1,930 nm ซึ่งตรวจสอบแล้วบริเวณดังกล่าวทั้งสองนั้นเป็นบริเวณความยาวคลื่นที่แสดง peak การดูดกลืนพลังงานของน้ำ แสดงว่าในน้ำมังคุดมีน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญ และจากเส้นสเปกตรัมของน้ำมังคุดเฉลี่ย จะเห็นว่าเส้นกราฟสเปกตรัมเฉลี่ยของน้ำมังคุดเนื้อแก้วจะมีค่าการดูดกลืนพลังงานสูงกว่าน้ำมังคุดปกติซึ่งผลที่ได้จากการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Teerachaichayut *et al.* (2007)



ภาพที่ 4.2 สเปกตรัมการดูดกลืนพลังงานย่านใกล้อินฟราเรดเฉลี่ยของมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้ว

ในการวิจัยนี้ได้ทดลองนำเปลือกของมังคุด และนำเปลือกมังคุดมาคั้นน้ำเพื่อทำการวัดการดูดกลืนพลังงานเปรียบเทียบกับน้ำมังคุดเช่นกัน และผลที่ได้แสดงในภาพที่ 4.3 โดยจะเห็นได้ว่าลักษณะของสเปกตรัมของเปลือก และน้ำเปลือกมังคุดไม่แตกต่างไปจากสเปกตรัมของน้ำมังคุด กล่าวคือจะปรากฏ peak ให้เห็นชัดเจนที่สองบริเวณคือบริเวณความยาวคลื่น 1,450 nm และบริเวณความยาวคลื่น 1,930 nm ซึ่งก็คือ peak ของน้ำ แต่จะเห็นว่าระดับการดูดกลืนพลังงานของน้ำเปลือก และเปลือกจะมีระดับสูงกว่าสเปกตรัมของน้ำมังคุด



ภาพที่ 4.3 สเปกตรัมการดูดกลืนพลังงานย่านใกล้อินฟราเรดเฉลี่ยของมังคุดปกติ มังคุดเนื้อแก้ว น้ำเปลือกมังคุดและเปลือกมังคุด

นำข้อมูลดิบที่ได้จากการวัดโดยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดมาทำการ pretreatment ด้วยวิธีการต่างๆ แล้วนำไปสร้างโมเดลของน้ำมังคุด จากนั้นทำนายผลที่ได้เปรียบเทียบกับกันได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

จากการเปรียบเทียบผลการทำ pretreatment ด้วยวิธีการต่างๆ จะเห็นได้ว่าการทำด้วยวิธีการทำอนุพันธ์อันดับสอง หรือ second-derivative transformation ให้ผลต่อการสร้างโมเดลที่มีประสิทธิภาพที่สุด ดังนั้นจึงกำหนดในการวิจัยนี้ใช้ second-derivative transformation สำหรับการทำ pretreatment ในข้อมูลการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดเพื่อการวิเคราะห์

ตารางที่ 4.2 ผลของการทำ pretreatment วิธีการต่างๆ ของข้อมูลการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรดของน้ำมันคุดเพื่อใช้ในการสร้าง โมเดลและนำไปทดสอบโดยการปรับเทียบและการทำนาย

	การปรับเทียบ				การทำนาย			
	N	LV	R	SEC	N	LV	R	SEP
ข้อมูลดิบ	200	6	0.935	0.679	100	6	0.864	0.947
ข้อมูลดิบ + MSC	200	3	0.927	0.719	100	3	0.897	0.826
ข้อมูลดิบ + 2 nd derivative	200	6	0.952	0.587	100	6	0.902	0.817
ข้อมูลดิบ + smoothing	200	6	0.931	0.701	100	6	0.867	0.933
ข้อมูลดิบ + smoothing + MSC	200	2	0.919	0.754	100	2	0.899	0.821
ข้อมูลดิบ + smoothing + 2 nd derivative	200	6	0.947	0.618	100	6	0.896	0.829

N คือ จำนวนตัวอย่าง

LV คือจำนวน latent variables ที่ใช้ในการสร้างโมเดล

R คือ correlation coefficients

SEC คือ standard error of calibration

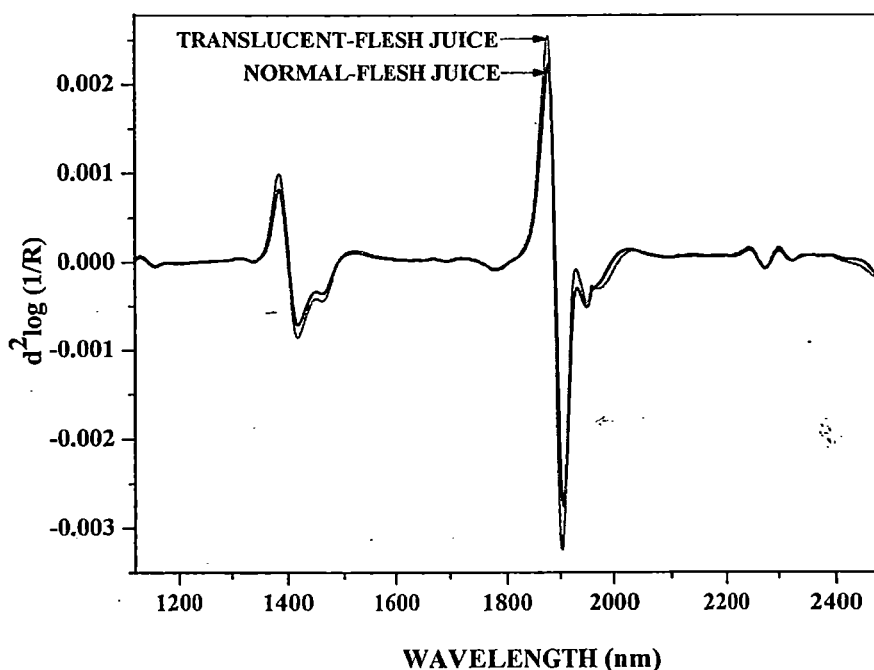
SEP คือ standard error of prediction

MSC วิธีการ pretreatment แบบ multiplicative scatter correction

2nd derivative วิธีการ pretreatment แบบ the second derivative โดยใช้วิธีของ Savitzky-Golay

Smoothing วิธีการ pretreatment แบบ the Savitzky-Golay spectral smoothing

กราฟของสเปกตรัมของน้ำมัจคุดปกติเฉลี่ยและของน้ำมัจคุดเนื้อแก้วเฉลี่ยภายหลังจากการทำ second-derivative transformation หรือสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับสองของการดูดกลืนพลังงานของน้ำมัจคุดปกติเฉลี่ยและของน้ำมัจคุดเนื้อแก้วเฉลี่ย เขียนได้ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 สเปกตรัมการดูดกลืนพลังงานย่านใกล้อินฟราเรดที่ทำการ pretreatment ด้วยวิธี second-derivative transformation ของมัจคุดปกติและมัจคุดเนื้อแก้ว

จากสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับสองของการดูดกลืนพลังงานของน้ำมัจคุด จะเห็นว่าเกิด peak ที่ชัดเจนขึ้น 5 บริเวณ ได้แก่ บริเวณความยาวคลื่น 1,450 nm 1,460 nm 1930 nm 1,940 nm และ 2,274 nm ซึ่งตรวจสอบแล้วว่าที่บริเวณ 1,450 nm และ 1,460 nm ทั้งสองนี้เป็นบริเวณความยาวคลื่นที่แสดง peak การดูดกลืนพลังงานของน้ำในช่วง first overtone และบริเวณ 1,930 nm และ 1,940 nm ทั้งสองนี้เป็นบริเวณความยาวคลื่นที่แสดง peak การดูดกลืนพลังงานของน้ำในช่วง combination ส่วนบริเวณ 2,274 nm เป็นบริเวณความยาวคลื่นที่แสดง peak การดูดกลืนพลังงานของ starch แสดงว่าในน้ำมัจคุดนอกจากจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญแล้ว ยังมี starch เป็นส่วนประกอบด้วยเช่นกัน

โมเดลของน้ำมัจคุดในกลุ่มน้ำมัจคุดรวม กลุ่มน้ำมัจคุดปกติและกลุ่มมัจคุดเนื้อแก้วที่ได้หลังจากการทำ pretreatment ของข้อมูลการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดด้วยวิธี second-derivative transformation แล้ว นำมาทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลและนำไปใช้ทำนายกลุ่มน้ำมัจคุดปกติและน้ำมัจคุดเนื้อแก้ว ได้ผลวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.3

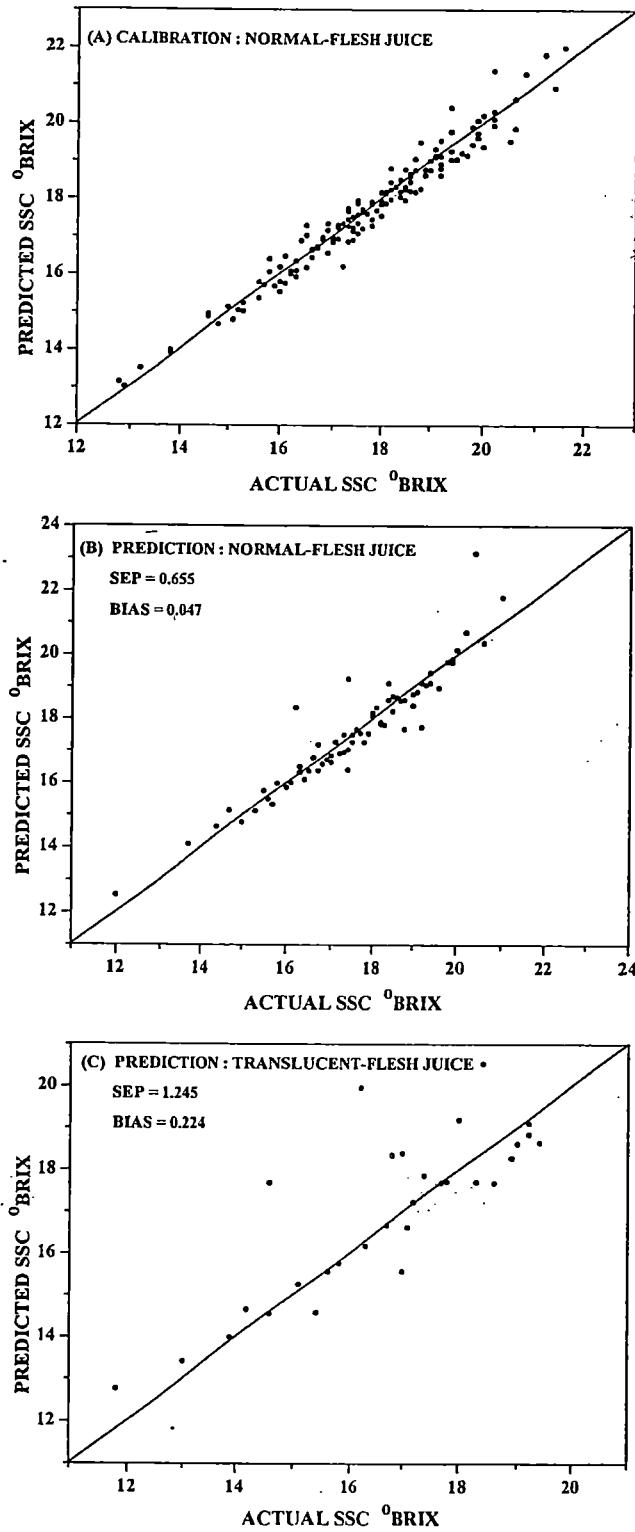
ตาราง 4.3 ผลการใช้โมเดลของกลุ่มต่างๆ ในการทำนายน้ำมัจจุคปกติและน้ำมัจจุคเนื้อแก้ว

	การทำนาย									
	โมเดล				การทำนาย					
	N	LV	R	SEC	น้ำมัจจุคปกติ (N = 70)			น้ำมัจจุคเนื้อแก้ว (N = 30)		
R					SEP	Bias	R	SEP	Bias	
กลุ่มน้ำมัจจุคปกติ	143	6	0.966	0.462	0.935	0.655	0.047	0.812	1.245	0.224
กลุ่มน้ำมัจจุคเนื้อแก้ว	57	7	0.964	0.546	0.791	1.071	0.605	0.831	1.134	0.166
กลุ่มน้ำมัจจุครวม	200	6	0.945	0.634	0.947	0.553	0.052	0.863	1.027	0.122

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า โมเดลของน้ำมัจจุคปกติเหมาะสมในการใช้ทำนายกับกลุ่มของน้ำมัจจุคปกติ (SEP = 0.655 and bias = 0.047) แต่ให้ผลไม่ดีเมื่อใช้ทำนายกับกลุ่มน้ำมัจจุคเนื้อแก้ว (SEP = 1.245 and bias = 0.224) ขณะที่โมเดลของน้ำมัจจุคเนื้อแก้วไม่เหมาะสมในการใช้ทำนายกับกลุ่มน้ำมัจจุคเนื้อแก้ว (SEP = 1.134 and bias = -0.166) และกลุ่มของน้ำมัจจุคปกติ (SEP = 1.071 and bias = -0.605) ส่วนโมเดลของน้ำมัจจุครวมเหมาะสมในการใช้ทำนายกับกลุ่มของน้ำมัจจุคปกติ (SEP = 0.553 and bias = 0.052) แต่ให้ผลไม่ดีเมื่อใช้ทำนายกับกลุ่มน้ำมัจจุคเนื้อแก้ว (SEP = 1.027 and bias = 0.122) เช่นกัน

ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าโมเดลของน้ำมัจจุคของทุกกลุ่ม เมื่อนำไปใช้ในการทำนายน้ำมัจจุคเนื้อแก้วแล้วจะให้ผลที่ไม่ดีทั้งหมด

ในภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการทำนายของโมเดลของน้ำมัจจุคปกติ โดยผลการทำนายจะได้ผลดีเมื่อใช้ทำนายในกลุ่มน้ำมัจจุคปกติ ในทางตรงกันข้ามจะไม่ได้ผลดีเมื่อใช้ทำนายในกลุ่มน้ำมัจจุคเนื้อแก้ว

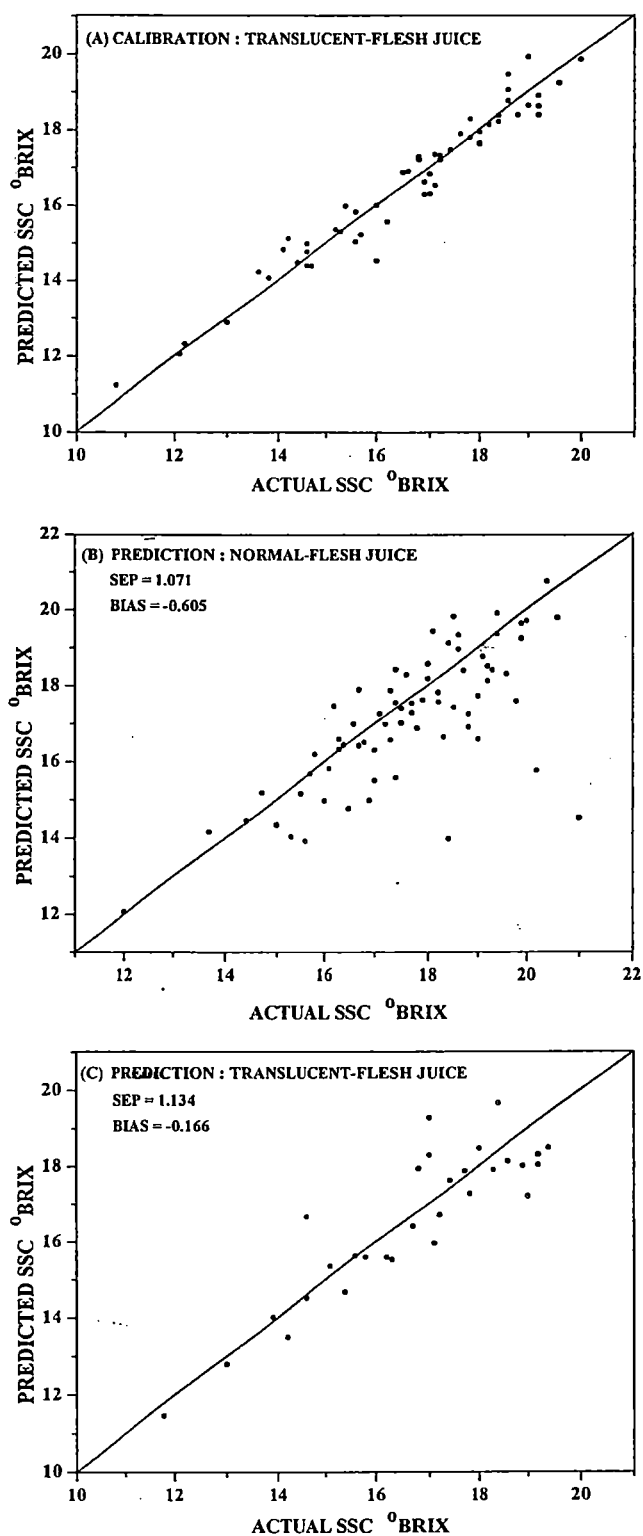


ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงผลค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่วัดได้จริงและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของโมเดลกลุ่มน้ำมังคุดปกติ (A), การทำนายโมเดลจากของกลุ่มน้ำมังคุดปกติ (B), การทำนายโมเดลจากของกลุ่มน้ำมังคุดเนื้อแก้ว (C)

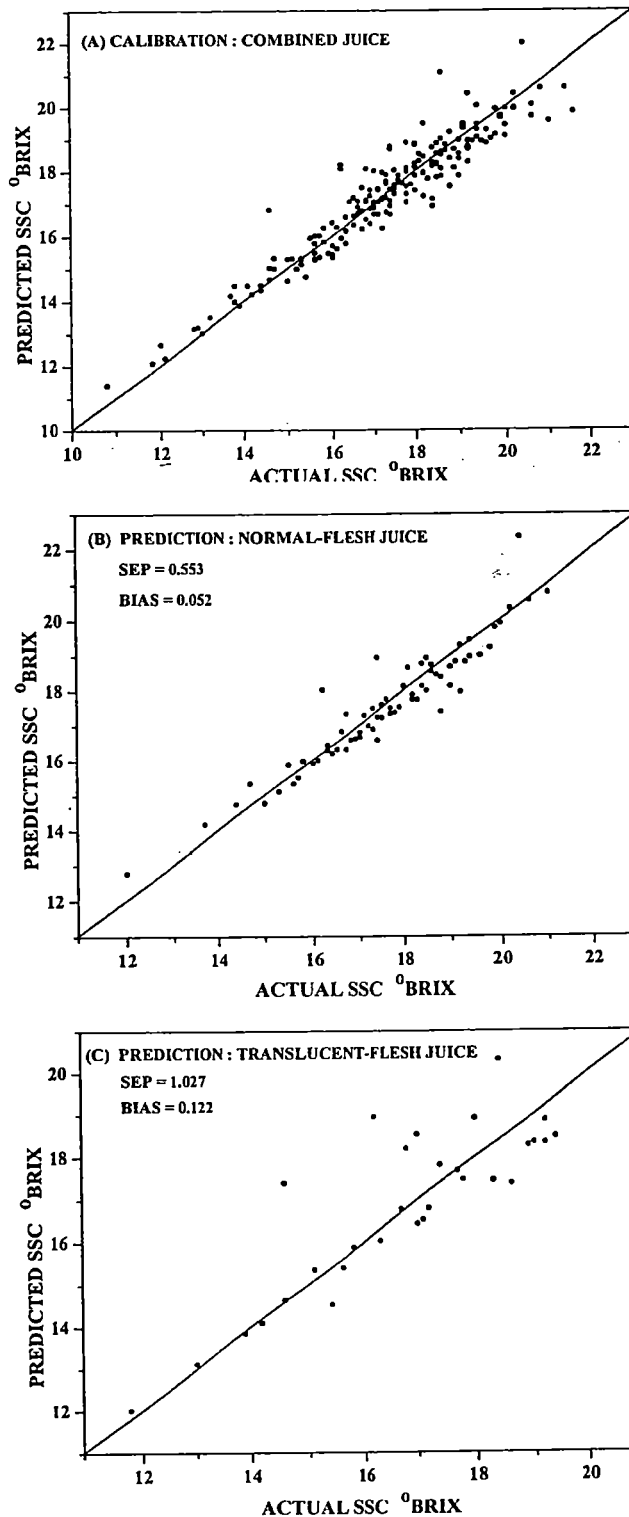
ในรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการทำนายของโมเดลของน้ำมั่งคุดเนื้อแก้ว โดยผลการทำนายจะได้ผลไม่ดีเมื่อใช้ทำนายในกลุ่มน้ำมั่งคุดปกติ และเช่นเดียวกันจะไม่ได้ผลดีเมื่อใช้ทำนายในกลุ่มน้ำมั่งคุดเนื้อแก้ว

ในรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการทำนายของโมเดลของน้ำมั่งคุดรวม โดยผลการทำนายจะได้ผลดีเมื่อใช้ทำนายในกลุ่มน้ำมั่งคุดปกติ ในทางตรงกันข้ามจะไม่ได้ผลดีเมื่อใช้ทำนายในกลุ่มน้ำมั่งคุดเนื้อแก้ว

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าประสิทธิภาพในการทำนายจะดีก็ต่อเมื่อใช้โมเดลของน้ำมั่งคุดปกติ ใช้ทำนายในกลุ่มน้ำมั่งคุดปกติ แต่ประสิทธิภาพในการทำนายจะไม่ได้ผลดีเลยถ้าใช้โมเดลทั้งหมดมาทำนายในกลุ่มน้ำมั่งคุดเนื้อแก้ว



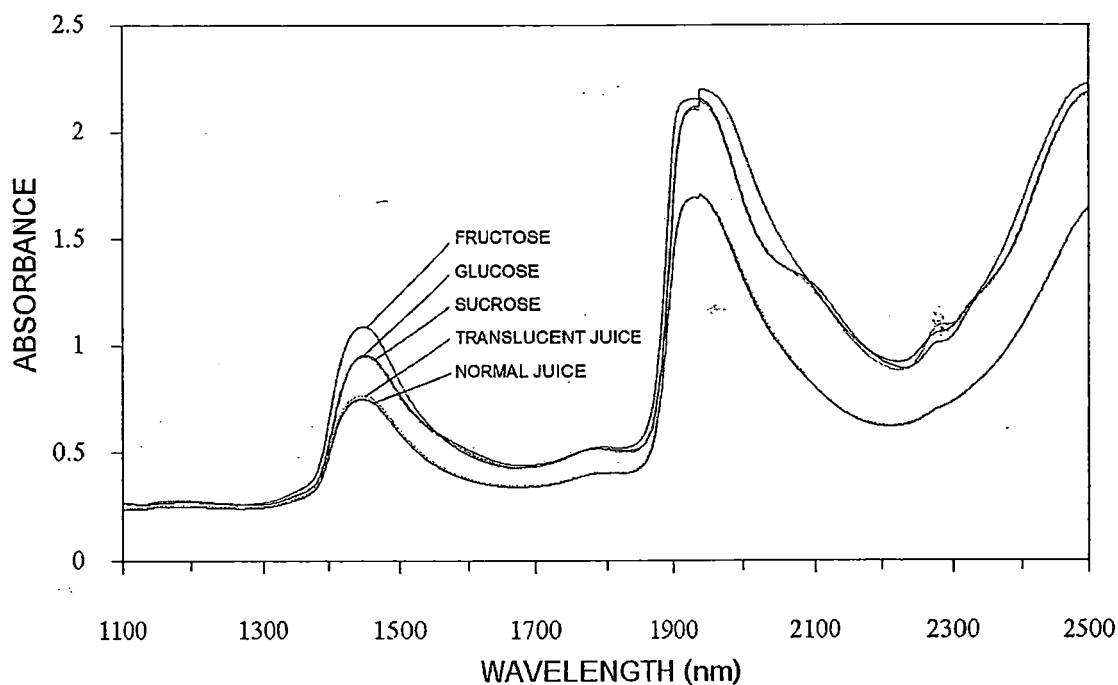
ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงผลค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่วัดได้จริงและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของโมเดลกลุ่มน้ำมังคุดเนื้อแก้ว (A), การทำนายโมเดลจากของกลุ่มน้ำมังคุดปกติ (B), การทำนายโมเดลจากของกลุ่มน้ำมังคุดเนื้อแก้ว (C)



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงผลค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่วัดได้จริงและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของโมเดลกลุ่มน้ำมังคุดรวม (A), การทำนายโมเดลจากของกลุ่มน้ำมังคุดปกติ (B), การทำนายโมเดลจากของกลุ่มน้ำมังคุดเนื้อแก้ว (C)

4.2 การศึกษาปริมาณน้ำตาลในน้ำมัจคุดปกติและน้ำมัจคุดเนื้อแก้ว

เมื่อนำน้ำมัจคุดปกติ น้ำมัจคุดเนื้อแก้ว สารละลายน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโทส ไปวัดค่าการดูดกลืนพลังงานแสง และหาค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของน้ำมัจคุดปกติ และน้ำมัจคุดเนื้อแก้วมาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโทส แสดงได้ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับค่าการดูดกลืนแสงในการเปรียบเทียบน้ำมัจคุดปกติและน้ำมัจคุดเนื้อแก้วกับสารละลายน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุคโทส

จากภาพที่ 4.8 จะเห็นว่าในช่วงความยาวคลื่น 2272 ถึง 2286 นาโนเมตร จะเห็นความแตกต่างของสารละลายน้ำตาลทั้งสามชนิดได้อย่างชัดเจน ที่ความยาวคลื่น 1444 นาโนเมตร จะเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำตาลฟรุคโทสมีมากกว่าสารละลายน้ำตาลอีกสองชนิดที่เหลือ และที่ความยาวคลื่นนี้เองที่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างน้ำมัจคุดปกติและน้ำมัจคุดเนื้อแก้วได้อย่างชัดเจน โดยจะเห็นว่าที่ความยาวคลื่นนี้ น้ำมัจคุดเนื้อแก้วจะมีค่าการดูดกลืนแสงมากกว่าน้ำมัจคุดปกติ ซึ่งตรงกับผลการตรวจวิเคราะห์ที่ได้จากสถาบันอาหาร ซึ่ง ณ ความยาวคลื่นนี้เองที่สามารถบ่งชี้ได้อย่างคร่าวๆ ว่า น้ำมัจคุด unknown นั้นเป็นน้ำมัจคุดปกติหรือน้ำมัจคุดเนื้อแก้ว โดยวัดที่ค่าการดูดกลืนแสง 0.755808 หรือประมาณ 0.756

ตารางที่ 4.4 แสดงการวัดค่าการดูดกลืนแสง 0.756 ที่ความยาวคลื่น 1444 นาโนเมตร

น้ำมั่งคุดที่วัด	ถูก	ผิด	รวม
น้ำมั่งคุดปกติ(< 0.756)	123	14	137
น้ำมั่งคุดเนื้อแก้ว(> 0.756)	23	17	40
รวม	146	31	177
%	82.5	17.5	100

จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่าการดูดกลืนแสง 0.756 ที่ความยาวคลื่น 1444 นาโนเมตร สามารถแบ่งแยกน้ำมั่งคุดปกติและน้ำมั่งคุดเนื้อแก้วได้อย่างถูกต้อง 82.5%

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

โมเดลของน้ำมัจจุสามารถใช้ในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้อย่างแม่นยำ โมเดลของน้ำมัจจุรวมหรือโมเดลของน้ำมัจจุปกติที่สร้างจากข้อมูลที่ทำ pretreatment ด้วยวิธี second-derivative transformation สามารถนำไปใช้ในการทำนายกลุ่มของน้ำมัจจุปกติได้อย่างแม่นยำ แต่ได้ผลไม่ดีเมื่อนำไปทำนายกลุ่มของมัจจุที่เป็นเนื้อแก้ว โดยทุกโมเดลของน้ำมัจจุ เมื่อนำไปใช้ทำนายกลุ่มของมัจจุเนื้อแก้วจะได้ผลที่ไม่ดีเลย สำหรับการเปรียบเทียบน้ำมัจจุปกติและน้ำมัจจุเนื้อแก้วกับสารละลายน้ำตาลกลูโคส ซูโครส และฟรุกโทส สรุปได้ว่าในช่วงความยาวคลื่น 2272 ถึง 2286 นาโนเมตร จะเห็นความแตกต่างของสารละลายน้ำตาลทั้งสามชนิดได้อย่างชัดเจน ที่ความยาวคลื่น 1444 นาโนเมตร จะเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำตาลฟรุกโทสมีมากกว่าสารละลายน้ำตาลอีกสองชนิดที่เหลือ และสามารถแยกความแตกต่างระหว่างน้ำมัจจุปกติและน้ำมัจจุเนื้อแก้วได้อย่างชัดเจน และสามารถบ่งชี้ได้อย่างคร่าวๆ ว่า น้ำมัจจุ unknown นั้นเป็นน้ำมัจจุปกติหรือน้ำมัจจุเนื้อแก้ว โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง 0.755808 หรือประมาณ 0.756 ซึ่งมีความถูกต้อง (accuracy) 82.5%

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการใช้เทคนิค NIR ในการคัดแยกน้ำมัจจุปกติและน้ำมัจจุเนื้อแก้วมีความเป็นไปได้ จากผลที่ได้นี้จึงมีความสำคัญในการนำไปพัฒนาระบบที่ใช้ในการคัดแยกคุณภาพมัจจุเนื้อแก้วออกจากมัจจุปกติให้ได้แม่นยำมากขึ้น

บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2541. มังคุด. คำแนะนำที่ 38.
แหล่งที่มา: <http://web.ku.ac.th/agri/mangost/index.html>, 24 กรกฎาคม 2550.
- นิพนธ์ ดังคณานุกรณ์. 2545. หลักพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี.
น.39-61. ใน การอบรมเชิงปฏิบัติการการควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27-28 พฤศจิกายน 2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ธนัชชัย พันธุ์เกษมสุข. 2534. การศึกษาวิธีการคัดคุณภาพของผลมังคุด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วรภัทร ลัดคนทีนวงศ์. 2539. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ความมีชีวิตของเซลล์ และปัจจัยของน้ำที่มีผลต่อการเกิดเนื้อแก้วในผลมังคุด (*Garcinia mangostana* L.). กรุงเทพฯ :
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สุรพงษ์ และ กวีศรี. 2522. คู่มือดัชนีการเก็บเกี่ยวมังคุด. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สนธิสุข ธีระชัยชยติ, วารุณี ธนะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, ศุมาพร เกษมสำราญ. 2551. การหาปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ในผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39(3 พิเศษ): 156-159.
- Clark, C. J., V. A. McGlone, C. Requejo, A. White and A. B. Woolf. 2003. Dry matter determination in 'Hass' avocado by NIR spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology** 29: 300-307.
- Dull, G.G., G.S. Birth, D.A. Smittle and R.G. Leffler. 1989. Near infrared analysis of soluble solids in intact cantaloupe. **Journal of Food Science** 54, 393-395
- Dull, G.G., R.G. Leffler, G.S. Birth and D.A. Smittle. 1992. Instrument for non-destructive measurement of soluble solids in honeydew melons. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers** 35, 735-737
- Guthrie, J. and B. Wedding. 1998. Robustness of NIR calibrations for soluble solids in intact melon and pineapple. **J. Near Infrared Spectrosc.** 6: 259-265.
- Kawano, S., H. Watanabe and M. Iwamoto. 1992. Determination of sugar content in intact peaches by near infrared spectroscopy with fiber optics in interactance mode. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science** 61, 445-451

- Kawano, S., T. Fujiwara and M. Iwamoto. 1993. Non-destructive determination of sugar content in satsuma mandarin using near infrared (NIR) transmittance. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science** 62, 465-470
- McGlone, V.A. and S. Kawano. 1998. Firmness, dry-matter and soluble-solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology** 13, 131-141
- Morton, J. F. 1987. **Fruits of warm climates**. Creative Resource Systems Inc., USA.
- Peirs, A., J. Tirry, B. Verlinden, P. Darius and B.M. Nicolai. 2003. Effect of biological variability on the robustness of NIR models for soluble solids content of apples. **Postharvest Biology and Technology** 28, 269-280
- Pamplona, P. P. and M. E. Garcia. 2001. **Handbook on Mangosteen: Production Practices in the ASEAN**. University of Southern Mindanao, Kabacan, Cotabato, The Philippines.
- Saranwong, S., J. Sornsrivichai and S. Kawano. 2003. Performance of a portable NIR instrument for brix value determination of intact mango fruit. **Journal of Near Infrared Spectroscopy** 11, 175-181
- Slaughter, D. C., D. Barrett and M. Boersig. 1996. Nondestructive determination of soluble solids in tomatoes using NIR spectroscopy. **J. Food Sci.** 61 (4): 695-697.
- Slaughter, D.C., J.F. Thompson and E.S. Tan. 2003. Nondestructive determination of total and soluble solids in fresh prune using near infrared spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology** 28, 437-444
- Sohn, M.R., Y.K. Kwon and R.K. Cho. 2001. Development of robust calibration for determination sweetness of fuji apple fruit using near infrared reflectance spectroscopy. **Near Infrared Analysis** 2 (1), 55-58
- Teerachaichayut, S., K.Y. Kil, A. Terdwongworakul, W. Thanapase, Y. Nakanishi. 2007. Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology** 43, 202-206
- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, and S. Pathaveerat. 2008. Multiple Parameters for Prediction of Translucent Flesh in Mangosteens. **Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal** Vol.X. Manuscript FP 08 007.

Ventura, M., de A. Jager, de H. Putter and F.P.M.M. Roelofs. 1998. Non-destructive determination of soluble solids in apple fruit by near infrared spectroscopy (NIRS). **Postharvest Biology and Technology** 14, 21-27

ภาคผนวก ก.



ฝ่ายบริการห้องปฏิบัติการ

รายงานผลทดสอบ

หน้า 1/1

หมายเลขปฏิบัติการ MC 00273

ชื่อที่อยู่ของผู้รับบริการ คุณวรรณชยา เอี่ยมเสถียรพร
31/2085 ม.พฤษยา 12 ต.คลองสาม
อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

รายละเอียดตัวอย่าง น้้ามังคุดปกติ

หมายเลขตัวอย่าง -

ลักษณะและสภาพตัวอย่าง บรรจุถุงพลาสติกปิดสนิท จำนวน 1 ซวด ปริมาตรประมาณ 300 มล.
ไม่มีฉลาก และสภาพตัวอย่างที่รับปกติ

วันเดือนปีที่รับตัวอย่าง 10 ตุลาคม 2551

วันเดือนปีที่ทดสอบ 13-16 ตุลาคม 2551

รายการทดสอบ	วิธีทดสอบ	ผลการทดสอบ (g/100 ml)
ฟรุกโตส	In-house method based on AOAC (2005), 982.14 (NFI T 997)	2.42
กลูโคส	In-house method based on AOAC (2005), 982.14 (NFI T 997)	2.32
ซูโครส	In-house method based on AOAC (2005), 982.14 (NFI T 997)	18.34

ผู้ทดสอบ

(นางสาวสรวิศา วรวงศ์)

นักวิเคราะห์

ผู้รับรอง

(นางสาวรุ่งกานต์ นวลแดง)

นักวิเคราะห์อาวุโส

ปฏิบัติงานในฐานะทีมจัดการวิชาการ

17 ต.ค. 2551

nf10.021

รายงานนี้รับรองผลเฉพาะชิ้นตัวอย่างที่ได้ทดสอบเท่านั้น

FT 001-02/05/45

ห้ามคัดถ่ายรายงานผลการทดสอบแต่เพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันอาหาร



ฝ่ายบริการห้องปฏิบัติการ


รายงานผลทดสอบ

หน้า 1/1

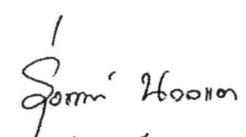
หมายเลขปฏิบัติการ MC 00272
ชื่อที่อยู่ของผู้รับบริการ คุณวรรณษา เอี่ยมเสถียรพร
 31/2085 ม.พฤษยา 12 ต.คลองสาม
 อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
รายละเอียดตัวอย่าง น้้ามังคุดเนื้อแก้ว
หมายเลขตัวอย่าง -
ลักษณะและสภาพตัวอย่าง บรรจุถุงพลาสติกปิดสนิท จำนวน 1 ขวด ปริมาตรประมาณ 500 มล.
 ไม่มีฉลาก และสภาพตัวอย่างที่รับปกติ
วันเดือนปีที่รับตัวอย่าง 10 ตุลาคม 2551
วันเดือนปีที่ทดสอบ 13-16 ตุลาคม 2551

รายการทดสอบ	วิธีทดสอบ	ผลการทดสอบ (g/100 ml)
ฟรุกโตส	In-house method based on AOAC (2005), 982.14 (NFI T 997)	2.78
กลูโคส	In-house method based on AOAC (2005), 982.14 (NFI T 997)	2.93
ซูโครส	In-house method based on AOAC (2005), 982.14 (NFI T 997)	15.32

ผู้ทดสอบ


 (นางสาวสรวิศา วรวงศ์)
 นักวิเคราะห์

ผู้รับรอง


 (นางสาวรุ่งกานต์ นวลแดง)
 นักวิเคราะห์อาวุโส
 ปฏิบัติงานในฐานะทีมจัดการวิชาการ
 17 ต.ค. 2551

ฟปอ.021

รายงานนี้รับรองผลเฉพาะชิ้นตัวอย่างที่ได้ทดสอบเท่านั้น

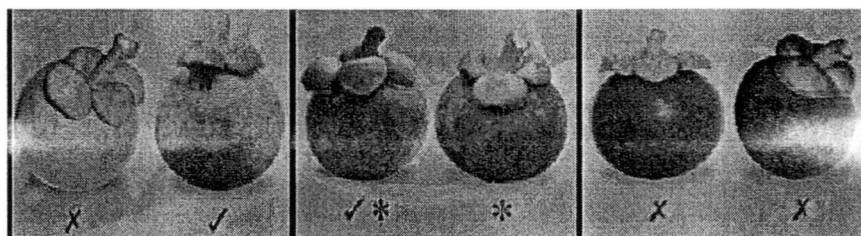
FT 001-02/05/45

ห้ามคัดถ่ายรายงานผลการทดสอบแต่เพียงบางส่วนโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันอาหาร

ภาคผนวก ข.

ดัชนีการเก็บเกี่ยวมังคุดเพื่อการส่งออก

เก็บเกี่ยวในระยะที่เหมาะสม



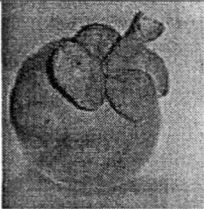
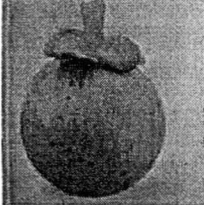
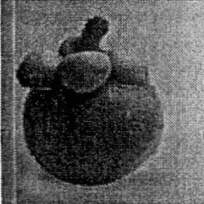
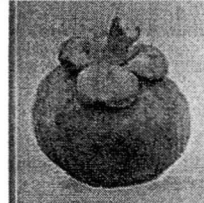
ภาพที่ (1) ข. แสดงระยะของมังคุดในการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม

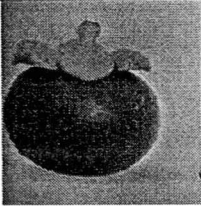
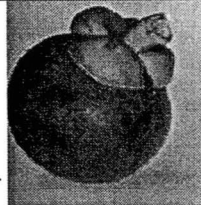
โดย X = ระยะที่ไม่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว

✓ = ระยะเก็บเกี่ยวเพื่อการส่งออก

* = ระยะเก็บเกี่ยวเพื่อจำหน่ายภายในประเทศ

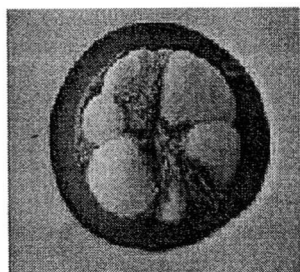
ตารางที่ (1) ข. แสดงระยะและลักษณะของมังคุดในวัยต่างๆ

ระยะมังคุด	ลักษณะ
ระยะที่ 1	 <ul style="list-style-type: none"> ● ผลมีสีเหลืองอมเขียว ● มียางในเปลือกมาก ● เนื้อและเปลือกไม่สามารถแยกออกจากกันได้
ระยะที่ 2	 <ul style="list-style-type: none"> ● ผลมีสีเหลืองอ่อนอมชมพู ● มีจุดประสีชมพูทั่วผล ● เนื้อและเปลือกแยกออกจากกันได้ยากปานกลาง
ระยะที่ 3	 <ul style="list-style-type: none"> ● ผลมีสีชมพูสม่ำเสมอ ● มียางในเปลือกน้อย ● เนื้อและเปลือกแยกออกจากกันได้ปานกลาง
ระยะที่ 4	 <ul style="list-style-type: none"> ● ผลมีสีแดงหรือน้ำตาลอมแดง ● มียางในเปลือกน้อย ● เป็นระยะเกือบจะรับประทานได้

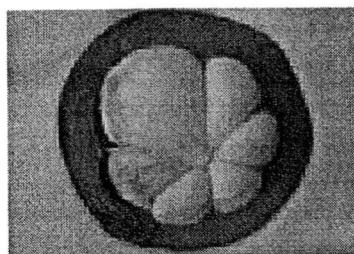
ระยะมั่งคุด	ลักษณะ
ระยะที่ 5 	<ul style="list-style-type: none"> ● ผลมีสีม่วงอมแดง ● ไม่มียางในเปลือก ● เนื้อและเปลือกสามารถแยกออกจากกันได้ไม่ทนต่อแรงกด
ระยะที่ 6 	<ul style="list-style-type: none"> ● ผลมีสีม่วงเข้มจนถึงดำ ● ไม่มียางในเปลือก ● เป็นระยะที่เหมาะสมต่อการรับประทาน

ลักษณะตำหนิของผลมั่งคุด

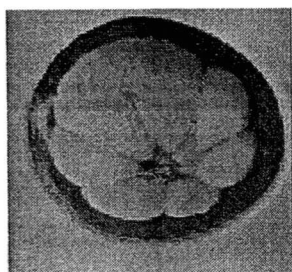
ตำหนิภายใน



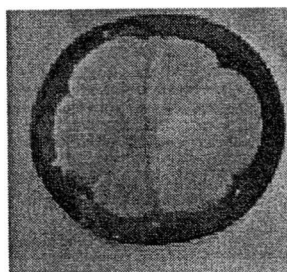
ภาพที่ (2)ข. แสดงลักษณะเปลือกติด



ภาพที่ (3)ข. แสดงเปลือกและเนื้อที่ชำรุดจากการกด



ภาพที่ (4)ข. แสดงอาการยางไหล



ภาพที่ (5)ข. แสดงอาการเนื้อแก้วและยางไหล

ภาคผนวก ก.

The Robustness of PLS Models for Soluble Solids Content of Mangosteen using Near Infrared Reflectance Spectroscopy

Sontisuk Teerachaichayut^{1*} • Anupun Terdwongworakul² •
Jutamas Phonudom¹ • Wanchaya Uamsatianporn¹

¹ Department of Food-processing Engineering, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

² Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhonpathom 73140, Thailand

Corresponding author: * ktsontis@kmitl.ac.th

ABSTRACT

This research investigated the soluble solids content in translucent flesh which is an internal defect of mangosteen fruit (*Garcinia mangostana* L.). Near infrared (NIR) reflectance spectroscopy was used for the development of partial least squares calibration models for the prediction of the soluble solids content. Samples of 213 normal mangosteens and 87 translucent mangosteens were used for this experiment. Juice samples extracted from both normal flesh and translucent flesh were measured for their soluble solids contents. Diffuse reflectance spectra of juice samples were acquired in a range of 1100 to 2500 nm. In this research, a NIR spectrometer was able to predict the soluble solids content of mangosteen. The best model was developed with second derivative treatment. The calibration model of normal-flesh juice obtained high accuracy for prediction with a set of normal flesh samples (standard error of prediction (SEP) = 0.655, bias = 0.047) and poor accuracy for prediction with a set of translucent flesh samples (SEP = 1.245, bias = 0.224). The results indicate that NIR technology has high potential to develop calibration models for the prediction of the difference in quality of flesh in mangosteen.

Keywords: internal defect, NIR, prediction, quality, translucent flesh

INTRODUCTION

Mangosteen is called the “queen of the tropical fruits” because it is considered to be one of the most popular and delicious fruits. The edible aril is white, soft and juicy with a luscious and slightly acid taste (Martin 1980). Translucent flesh in mangosteen where the soft-white flesh changes to crisp-translucent flesh is an internal disorder. It may occur from nutrient imbalance and excessive water uptake into the flesh or mechanical injuries (Pankasemsuk *et al.* 1996). This defect makes quality unacceptable for export. Therefore, a reliable and high accuracy technique for translucent flesh detection is required.

In recent years, soluble solids content (SSC) has been chemical data commonly used for assessing quality of fruits by NIR spectroscopy such as cantaloupe (Dull *et al.* 1989), melon (Dull *et al.* 1992), peach (Kawano *et al.* 1992), mandarin (Kawano *et al.* 1993), apple (Ventura *et al.* 1998), kiwifruit (McGlone *et al.* 1998), prune (Slaughter *et al.* 2003) and mango fruit (Saranwong *et al.* 2003). A number of investigations have compensated for the effect of growing seasons. Peirs *et al.* (2003) used NIR reflectance spectroscopy to analyze the effect of orchard, season and cultivar on the robustness of calibration models for SSC of apples. Sohn (2001) applied NIR reflectance spectroscopy to develop calibration models for sweetness determination of Fuji apple with different growing districts and harvest years. As for detection of defects in fruit, Teerachaichayut *et al.* (2007) used an NIR transmittance spectrometer to qualitatively evaluate intact mangosteens for translucent flesh detection by using the difference in absorbance.

This study investigated the prediction of the SSC in mangosteen flesh from the normal and translucent aril. The difference in SSC between the normal and translucent flesh was emphasized.

MATERIALS AND METHODS

Fruit samples

A set of 300 mangosteen samples from a Thai local fruit auction was used for this study. The samples were transported to the laboratory and stored in an air-conditioned room under 25°C for about 12 h prior to the measurements. The samples were cut open and photographed to record internal visible flesh appearance as shown in Fig. 1. Then the quality of each fruit was inspected and judgement was made to assign the samples to a group of normal flesh (N = 213) or a group of translucent flesh (N = 87).

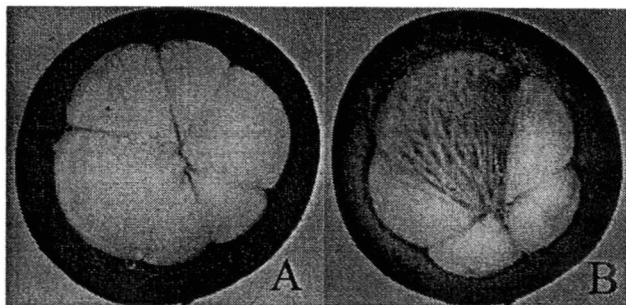


Fig. 1 Example of different internal quality of mangosteens expressing normal flesh (A) and translucent flesh (B).

Chemical analysis

The whole flesh was removed from its peel and juice extracted using a manual fruit squeezer. Each juice sample was filtered in order to separate the dispersed solid particles. The juice from each sample was measured for the soluble solids content (SSC) with a digital refractometer (PR101, Palette Series, Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan).

Table 1 Description of calibration and prediction sample sets of mangosteen juice.

Sample group	Set	N	Range	Mean value	Standard deviation	Unit
Overall juice	Calibration	200	10.8-21.6	17.36	1.916	°Brix
	Prediction	100	11.9-21.2	17.34	1.867	°Brix
Normal-flesh juice	Calibration	143	11.9-21.6	17.67	1.796	°Brix
	Prediction	70	12.0-21.0	17.64	1.712	°Brix
Translucent-flesh juice	Calibration	57	10.8-20.0	16.57	2.05	°Brix
	Prediction	30	11.8-19.4	16.67	1.959	°Brix

Table 2 Results of preprocessing for PLSR models using combined juice.

	Calibration				Prediction					
	PLSR model				Normal-flesh juice (N = 70)			Translucent-flesh juice (N = 30)		
	N	LV	R	SEC	R	SEP	Bias	R	SEP	Bias
Normal-flesh juice	143	6	0.966	0.462	0.935	0.655	0.047	0.812	1.245	0.224
Translucent-flesh juice	57	7	0.964	0.546	0.791	1.071	-0.605	0.831	1.134	-0.166
Combined juice	200	6	0.945	0.634	0.947	0.553	0.052	0.863	1.027	0.122

N is number of samples

LV is the number of latent variables chosen for the calibration model

R is multiple correlation coefficients

SEC is standard error of calibration

SEP is standard error of prediction

Spectral acquisition

The filtered juice from each sample was introduced into a sample cell and the NIR spectra were immediately measured using a grating near infrared (NIR) reflectance spectrometer (InfraAlyzer 500, Bran+Luebbe, Norderstedt, Germany). The spectrometer was installed with PbS detector in the region of 1100 to 2500 nm (with 2 nm increments). The average spectrum of 2 repeated spectra measured for each sample was used for the evaluation.

Data analysis

Three data sets were created for analysis in this study. They consisted of combined juice group, normal-flesh juice group, and translucent-flesh juice group. The combined juice group of 300 samples was randomly divided into 200 samples for a calibration set and 100 samples for a prediction set having similarly distributed SSC. The normal-flesh juice sub-group of 213 samples was divided into 143 samples for a calibration set and 70 samples for a prediction set. Finally, the translucent-flesh juice sub-group of 87 samples was divided into 57 samples for a calibration set and 30 samples for a prediction set.

For each data set, partial least squares regression (PLSR) was performed to obtain models using the calibration sets and validated using the validation sets. The pre-processing procedures to the acquired spectra were investigated so as to establish the optimum calibration model. Cross-validation was used to evaluate the quality of the calibration model. The standard error of calibration (SEC) with cross validation was investigated to choose the number of latent variables (LV) in the calibration model. The SSC measurements, the predicted values, the correlation coefficient and the standard error of prediction (SEP) were used to judge the predictive performance of the calibration models. Cross-predictions of the calibration models were also performed and the results of the cross-predictions were compared using SEP to judge the difference, relation and accuracy of the models among groups. Data were analyzed using 'The Unscrambler' (version 9.6, CAMO AS, Trondheim, Norway), the statistical program for multivariate calibration.

RESULTS AND DISCUSSION

The characteristics of samples in each group are shown in **Table 1**. The mean Brix value of translucent-flesh juice was lower than the mean Brix value of normal-flesh juice. However, in the perspective of standard deviation, an overlap of Brix value was observed.

NIR spectra

The average NIR spectra from the group of normal-flesh juice and the group of translucent-flesh juice are shown in **Fig. 2**. The spectrum characterizing the translucent-flesh

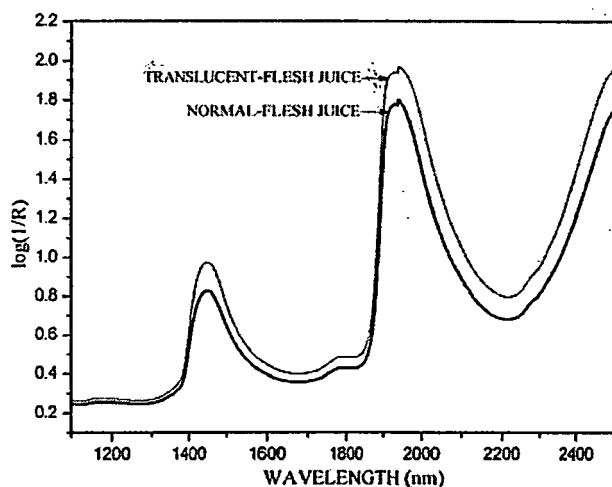


Fig. 2 Averaged original spectra of normal-flesh juice and translucent-flesh juice.

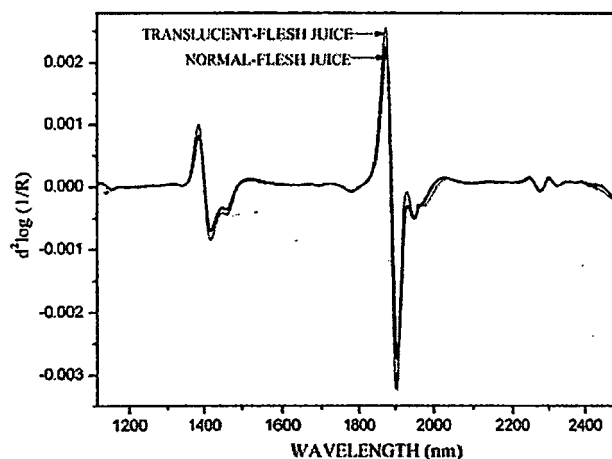


Fig. 3 Averaged second-derivative spectra of normal-flesh juice and translucent-flesh juice.

juice was higher in absorbance than that of normal-flesh juice. This agreed with a previous investigation (Teerachai-chayut *et al.* 2007), though from a different mode of measurement, that the translucency in mangosteen led to greater transmission of NIR light.

The optimal data preprocessing algorithms of second-derivative transformation were found to give the optimum performance. Representative second-derivative spectra of

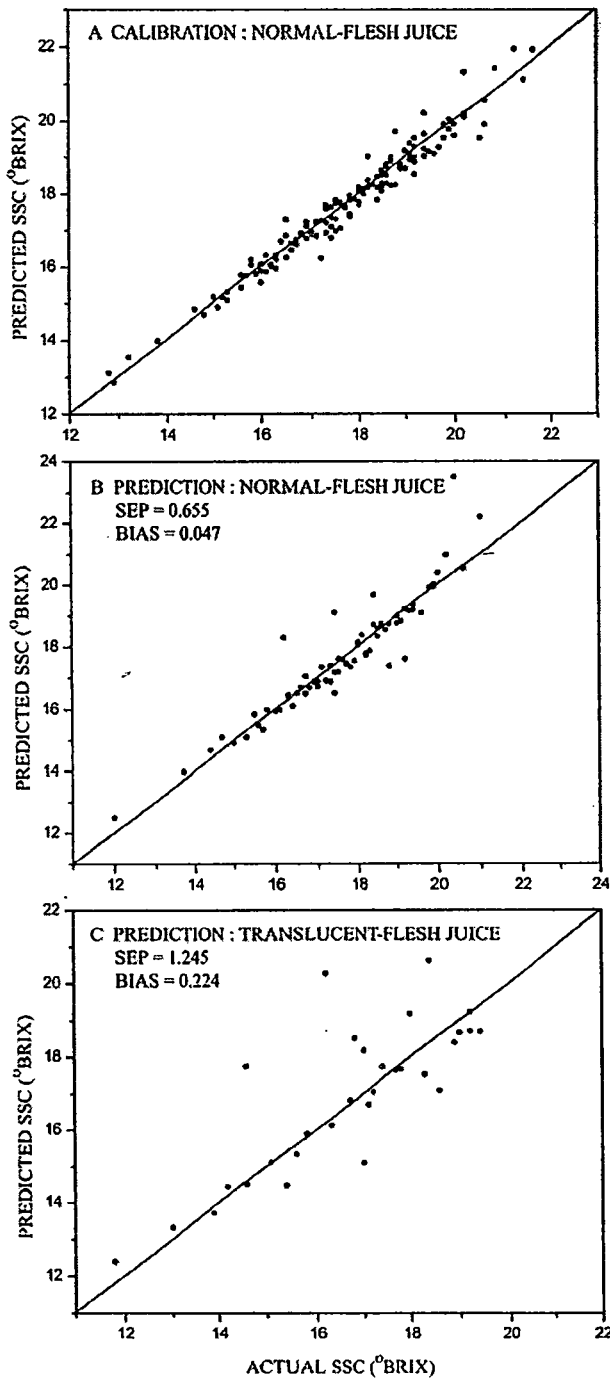


Fig. 4 Scatter plots of actual SSC and predicted SSC for the calibration set of normal-flesh juice group (A), the prediction with a set of normal-flesh juice (B) and the prediction with a set of translucent-flesh juice (C).

the group of normal-flesh juice and the group of translucent-flesh juice are shown in Fig. 3. The second-derivative technique was used to process NIR absorbance data for analysis.

PLS calibration models were established for mangosteen juice using the second-derivative preprocessing data. Table 2 shows the results of calibration and prediction for PLS models of normal-flesh juice, translucent-flesh juice and combined juice. The calibration model of normal-flesh juice was suitable for prediction of its own sample set (SEP = 0.655 and bias = 0.047) but the lowest performance was obtained for prediction with translucent-flesh juice set (SEP = 1.245 and bias = 0.224). The calibration model of translucent-flesh juice was unsuitable for prediction of both normal-flesh juice set (SEP = 1.071 and bias = -0.605) and its own sample set (SEP = 1.134 and bias = -0.166). The

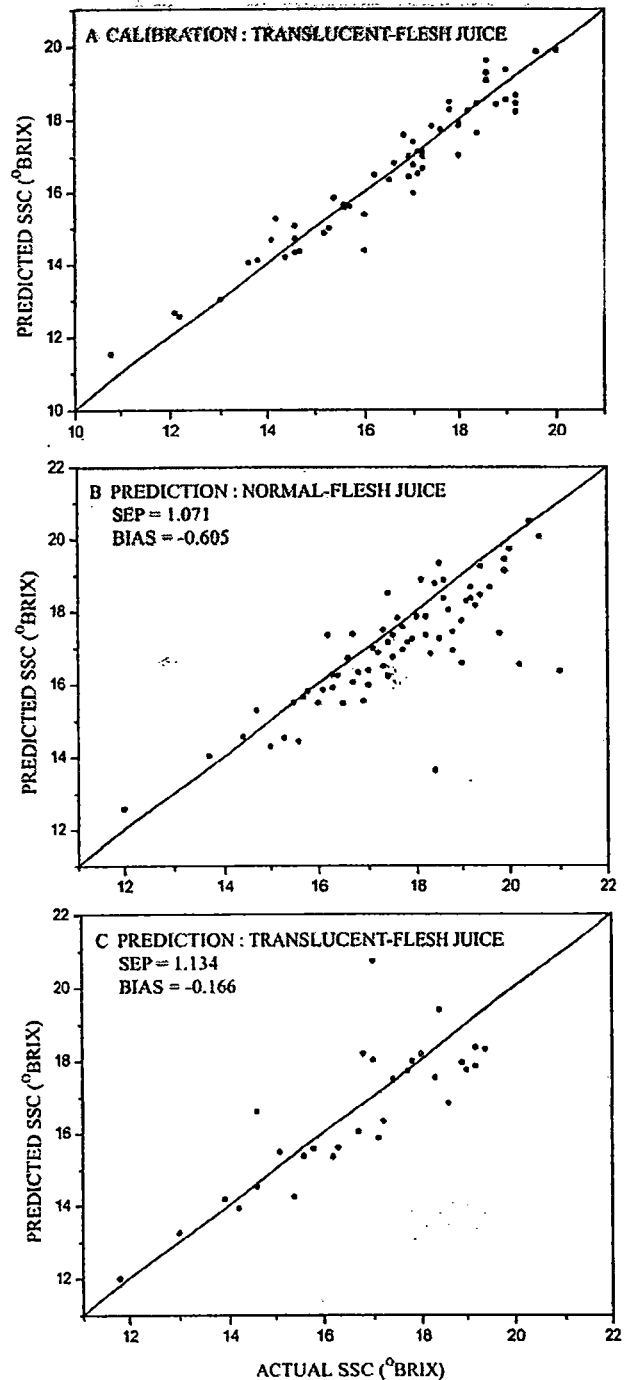


Fig. 5 Scatter plots of actual SSC and predicted SSC for the calibration set of translucent-flesh juice group (A), the prediction with a set of normal-flesh juice (B) and the prediction with a set of translucent-flesh juice (C).

calibration model of combined juice showed the best performance for prediction of normal-flesh juice set (SEP = 0.553 and bias = 0.052) but gave poorer performance for prediction of translucent-flesh juice set (SEP = 1.027 and bias = 0.122).

Therefore, all of the prediction sets of translucent-flesh juice set obtained poor accuracy when using all calibration models for prediction. Fig. 4 shows the performance of the normal-flesh juice calibration model for SSC prediction. The prediction accuracy was satisfied when normal-flesh juice set was used for the prediction. On the other hand, the prediction accuracy was unsatisfied when translucent-flesh juice set was used for the prediction. Fig. 5 presents the performance of the translucent-flesh juice calibration model for SSC prediction. The prediction accuracy was unsatisfied when both normal-flesh juice set and translucent-flesh juice