

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญ

ส้มเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งของโลก และนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย ทั้งในรูปแบบผลสดและน้ำคั้น ซึ่งให้คุณค่าทางอาหารสูง รวมทั้งนำมาแปรรูปในเชิงอุตสาหกรรม เช่น แยมส้ม น้ำส้มบรรจุกระป๋อง เป็นต้น โดยเฉพาะประเทศสหรัฐอเมริกา ส้มจัดเป็นแหล่งวิตามินซี ที่สำคัญที่สุดของผู้บริโภค สำหรับประเทศไทยส้มเขียวหวานนับว่ามีความสำคัญทางเศรษฐกิจ จากสำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตรกล่าวว่า ส้มเขียวหวานเป็นสินค้าในจำนวน 30 รายการที่อยู่ในส่วนของแผนพัฒนาการเกษตร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพร้อมทั้งปรับปรุงคุณภาพ มาตรฐาน ให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาด ในปัจจุบันคุณภาพของส้มที่ผลิตได้จัดว่ามีคุณภาพดี และเพื่อจะรักษาคุณภาพที่ดีของส้มจนถึงมือผู้บริโภค จะต้องมีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ถูกต้อง (दनัย, 2543)

2.2 แหล่งการผลิตส้ม

แหล่งผลิตที่สำคัญของโลกอยู่ในบริเวณเมดิเตอร์เรเนียน ได้แก่ ประเทศสเปน โปรตุเกส อิราเอล นอกจากนี้ประเทศบราซิล จีน ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย เป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งปลูกที่มีปริมาณสูงเช่นกัน สำหรับประเทศไทยมีแหล่งปลูกส้มเขียวหวานที่สำคัญกระจายอยู่ทั่วประเทศ แถบภาคเหนือ เช่น เชียงใหม่ น่าน แพร่ ลำปาง สุโขทัย พะเยา เชียงราย ภาคกลาง เช่น ชัยนาท สิงห์บุรี สระบุรี อ่างทอง ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา ลพบุรี ปทุมธานี นครนายก นนทบุรี ภาคตะวันออก นครนายก จันทบุรี ตราด ฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี ชลบุรี ระยอง ภาคตะวันตก เช่น นครปฐม สมุทรสาคร สุพรรณบุรี ราชบุรี กาญจนบุรี ภาคใต้ กระบี่ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ระนอง ปัตตานี ยะลา นราธิวาส จากข้อมูลของฝ่ายข้อมูลส่งเสริมการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร พบว่า ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกส้มเขียวหวาน ปี 2539 รวมประมาณ 275,907 ไร่ อนาคตปริมาณพื้นที่สวนส้มแหล่งใหม่ๆ มีโอกาสเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ

สวนส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งมีแหล่งผลิตอยู่ที่จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดใกล้เคียง เช่น เชียงราย ลำพูน น่าน และพื้นที่การเพาะปลูกของส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง เฉพาะที่บริษัทธนาคาร ปี 2540 มีพื้นที่ปลูกทั้งที่ให้ผลผลิตแล้วและยังไม่ให้ผลผลิตรวม 1,600 ไร่ ผลผลิตรวมประมาณ 4-6 ตันต่อไร่ ซึ่งมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจาก ปี 2539 ถึงร้อยละ 30 โดยปริมาณการส่งออกรวม 400 ตันมูลค่า 12 ล้านบาท ไปยังต่างประเทศ ได้แก่ สิงคโปร์ อินโดนีเซีย มาเลเซีย และฮ่องกง (เปรมปรี, 2544)

2.3 พันธุ์และลักษณะประจำพันธุ์

ส้มเป็นผลไม้ที่มีพันธุ์หลากหลายสามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

2.3.1 กลุ่มส้มเกลี้ยงและส้มตรา (*Oranges group : Citrus sinensis*)

ส้มกลุ่มนี้นิยมปลูกเพื่อรับประทานสดหรือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูป เช่น น้ำส้มบรรจุกระป๋อง ส่วนเปลือกใช้ทำแยมผิวส้ม (marmalade) เป็นต้น ลักษณะของส้มกลุ่มนี้คือเปลือกไม่ล่อนออกจากเนื้อ กลีบส้มแต่ละกลีบติดกันแน่น ทำให้การแกะเปลือกออกจากเนื้อและการแยกกลีบออกจากกันทำได้ยาก ส้มกลุ่มนี้สามารถแบ่งกลุ่มย่อยได้ดังนี้

1. ส้มที่มีรสหวาน (Sweet orange: *C. sinensis*) เช่น ชามูติ (Shamouti) วาเลนเซีย (Valencia) ส่วนส้มเนเวล (Navel orange) ได้แก่ พันธุ์อชิงตันเนเวล ในประเทศไทย ส้มกลุ่มนี้ ได้แก่ ส้มตรา หรือส้มแข็ง
2. ส้มที่มีรสเปรี้ยวหรือรสออกขม (Sour or bitter orange: *C. aurantium*) มีถิ่นกำเนิดทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย เป็นส้มที่มีรสเปรี้ยวจัด ขนาดผลโต มีเมล็ดมาก สามารถนำมาแปรรูปเป็นน้ำส้มคั้น แยมผิวส้ม น้ำมันหอมระเหยพันธุ์ที่ปลูก เช่น รูบี้บีด (Ruby Blood) โดเบิลฟิโน (Doblefina) และ โมโร (Moro)

2.3.2 กลุ่มส้มจีน ส้มเขียวหวาน (Mandarines and Tangerines group: *Citrus reticulata*)

ส้มกลุ่มนี้มีถิ่นกำเนิดทางประเทศจีน ปลูกกันมากในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น จีน ญี่ปุ่น ไต้หวัน ไทย เป็นต้น โดยมีลักษณะสำคัญคือเปลือกอ่อนและล่อน แกะออกง่าย กลีบส้มสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย ส้มจีนและส้มเขียวหวานมีลักษณะแตกต่างกันคือ ส้มจีน (mandarin) ผลโตกว่าส้มเขียวหวาน (tangerine) เปลือกค่อนข้างหนาและขรุขระกว่า ได้ผลกลวง ผลและเนื้อมีสีเข้ม มีหลายสายพันธุ์ ได้แก่ ซัทซุม่า (Satsuma)

คิง (King) ส่วนส้ม Common ได้แก่ ส้มจีน (Pongan) แดนซี (Dancy) และ ฟรีมอนต์ (Fremont) เป็นต้น

2.3.3 กลุ่มส้มโอและเกรฟฟรุ้ท (Pomeloes and Grapefruits group)

แบ่งได้เป็นดังนี้

1. ส้มโอ (Pomelo: *C. grandis*) เป็นส้มที่มีผลโตกว่ากลุ่มอื่นๆ รูปร่างทรงผลมีหลายลักษณะ เช่น ทรงกลม ทรงแป้น มีจุก และไม่มีจุก เปลือกหนา แต่ทั้งเปลือกและกลีบสามารถแยกออกจากกันได้ง่ายกว่ากลุ่มส้มเกลี้ยงและส้มตรา ลักษณะเนื้อภายในมีหลายสี เช่น สีขาว สีชมพู และสีทับทิม เป็นต้น

2. เกรฟฟรุ้ท (Grapefruit: *C. Pstsfidisi*) ลักษณะคล้ายส้มโอ แต่ผลเล็กกว่า ทรงผลมีลักษณะกลมแป้น เปลือกบาง กลีบไม่แยกจากกัน มีทั้งพันธุ์ที่มีเมล็ดและไม่มีเมล็ด เนื้อภายในมีทั้งสีขาวและสีชมพู

2.3.4 กลุ่มมะนาว (Common Acid Members group)

ได้แก่ ซิตรอน (Citron: *C. medica*) มะนาวฝรั่ง (Lemon: *C. limon*) และมะนาวไทย (Lime: *C. aurantifolia*) เป็นต้น (เปรมปรี, 2538; Davies and Albrigo, 1973; Baldwin, 1993)

ส้มเขียวหวาน (*Citrus reticulata* Blunco) มีชื่อสามัญว่า Mandarin หรือ Tangerine จัดเป็นผลไม้เขตร้อน (subtropical fruit) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศจีนต่อมาได้แพร่กระจายไปยังทวีปยุโรป และทวีปอเมริกาเหนือและใต้ สามารถปลูกได้ทั้งในเขตร้อนและเขตร้อน สำหรับประเทศไทยพันธุ์ส้มเขียวหวานที่ปลูก ได้แก่

1. ส้มเขียวหวานชนิดเปลือกค่อนข้างหนา มักเรียกว่าส้มบางบน ซึ่งผลมีขนาดใหญ่ รูปร่างมีผลนูนเล็กน้อยน้ำหนักผลดี มีรสหวานปานกลาง ไม่หวานแหลมนัก เดิมปลูกกันมากบริเวณตำบลบางมด เขตราชบุรีบูรณะ และเขตบางขุนเทียน ส้มเขียวหวานในแหล่งปลูกนี้มีชื่อเสียงในด้านคุณภาพ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันและมักเรียกว่า ส้มบางมด ระยะเวลาจากสภาพสวนบริเวณบางมดที่เปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งปัญหาในด้านน้ำเค็ม น้ำเสีย และอื่นๆ ทำให้พื้นที่การปลูกส้มเขียวหวานกระจายออกไปโดยทั่ว เช่น พื้นที่ในจังหวัดปทุมธานีซึ่งเป็นเขตที่มีการชลประทานที่สมบูรณ์แบบที่สุด นอกจากนี้ ยังแพร่ไปปลูกในแหล่งอื่นอีกด้วย เช่น น่าน แพร่ จันทบุรี ตราด และเชียงใหม่ เป็นต้น

2. ส้มเขียวหวานพันธุ์แหลมทอง เป็นส้มที่มีลำต้นขนาดใหญ่ ผลผลิตปานกลางขนาดผลปานกลาง มีรสหวานดี ถึงแม้ผลส้มยังไม่ถึงอายุ รสไม่เปรี้ยวมาก มีการปลูกกันมากบริเวณท่าสนุน วัดเพลง จังหวัดราชบุรี ปัจจุบันปลูกกันน้อยมาก เนื่องจากผลผลิตต่อต้นต่ำกว่า ส้มเขียวหวานธรรมดา

3. ส้มฟริมองต์ มีชื่อภาษาอังกฤษว่า Fremont เป็นลูกผสมของส้มคลีเมนไทม์ (Clementine) จัดอยู่ในกลุ่มส้มแมนดาริน (Mandarin) มีรายงานว่านำเข้ามาปลูกในประเทศไทย ประมาณ 20 ปี โดยปลูกกันมากในภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ และอีกหลายแห่งในจังหวัดแพร่ และน่าน

4. ส้มโชกุนหรือส้มสายน้ำผึ้ง ส้มโชกุน หรือเพชรยะลา เป็นส้มที่มีแหล่งกำเนิดในจังหวัดยะลา และได้ชื่อว่า "ส้มโชกุน" เพราะผลส้มพันธุ์นี้มีคุณภาพดีกว่าส้มเขียวหวานหลายๆ ด้าน ซึ่งคุณโทงหุย เจ้าของสวนเทียบความยิ่งใหญ่ของส้มพันธุ์นี้เท่ากับ "โชกุน" แต่กรมวิชาการไม่เห็นด้วยกับชื่อนี้ โดยให้เหตุผลว่าส้มพันธุ์นี้เกิดในประเทศไทย จึงควรมีชื่อเป็นไทยมากกว่าจึงมีการประกวดตั้งชื่อส้มพันธุ์นี้ที่จังหวัดยะลาได้ชื่อใหม่ว่า "ส้มเพชรยะลา" อันเป็นเกียรติแก่จังหวัดยะลาที่เป็นแหล่งกำเนิด อย่างไรก็ตาม ชื่อใหม่นี้ก็ไม่เป็นที่แพร่หลายเท่ากับชื่อ ส้มโชกุน ที่เรียกกันมาก่อนหน้านี้ แต่สวนส้มธนาธร อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ บอกว่าได้นำมาเมล็ดส้มโชกุนมาจากยะลา แล้วมาเพาะเมล็ดเป็นต้นพันธุ์ใหม่ จึงให้ชื่อว่า "ส้มสายน้ำผึ้ง" ความจริงก็เป็นพันธุ์เดียวกัน

5. ส้มธนาธร เป็นส้มพันธุ์ที่นำมาจากประเทศอิสราเอล รสชาติดี ปลูกที่อำเภอแม่ฮาด จังหวัดเชียงใหม่ (สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงใหม่, 2544 : ระบบออนไลน์)

2.4 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของส้มเขียวหวาน

ส้มเขียวหวานมีทรงต้นสูงประมาณ 2-8 เมตร ทรงพุ่มมีลักษณะแน่นทึบ จัดเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก ลำต้นไม่มีหนาม กิ่งแก่ มีสีเขียวเข้ม ลักษณะกิ่งอ่อนเป็นเหลี่ยมเรียว ใบรูปไข่ ค่อนข้างยาวรูปโล่หรือรูปหอก ปลายและฐานใบมีลักษณะมน ส่วนปลายสุดของใบมีรอยเว้าเข้าผิวท้องใบ มีสีเขียวอมเหลือง ผิวหลังใบเป็นมันสีเขียวเข้ม ผลรูปทรงกลมแบน ผิวเปลือกสีเขียวอมเหลือง หรือส้มอมเหลืองจนถึงแดงอมส้ม ผิวเปลือกจะเรียบมีต่อมน้ำมันอยู่ภายในมีกลิ่นหอมแรง เปลือกด้านในมีสีเขียวอ่อน เนื้อมีน้ำมาก สีส้ม รสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อยผลส้มมีการเจริญแบบ sigmoid curve แบ่งได้ 3 ระยะ คือ

1. ระยะการแบ่งเซลล์ (cell division) ขนาดและน้ำหนักของผลส้มมีค่าเพิ่มขึ้นในเวลา 1 ถึง 1.5 เดือนหลังดอกบาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และพันธุ์

2. ระยะการขยายขนาดของเซลล์ ทั้งในส่วนเนื้อและเปลือกผล สีเปลือกเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง

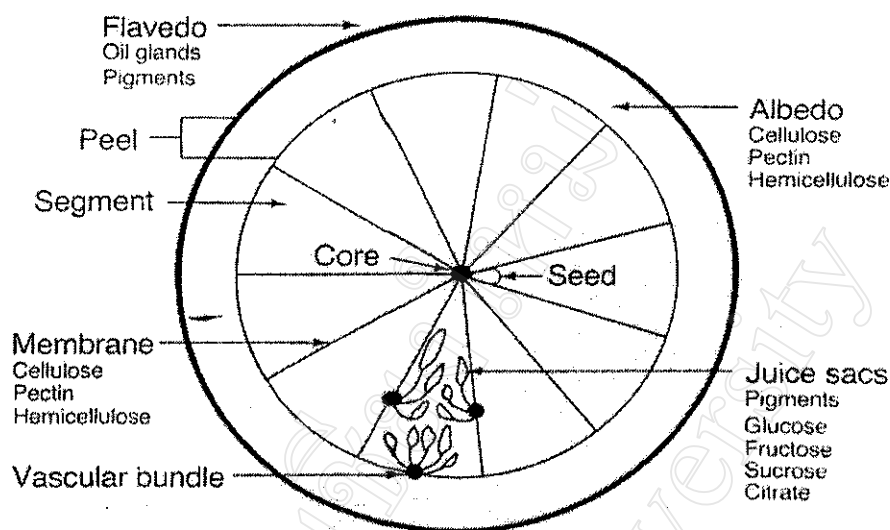
3. ระยะแก่ผล ซึ่งเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในผล เช่น ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, TSS) จะเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณกรดที่ไตเตรต (titratable acidity, TA) ได้มีค่าลดลง ผลส้มแก่สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 9 ถึง 10 เดือน หรือสังเกตจากสีผิวของส้มจะเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง

ผลส้มจัดเป็น berry type ชนิดพิเศษที่เรียกว่า hesperidium ซึ่งเจริญมาจากรังไข่ของผลส้ม แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.1

1. เปลือก (peel หรือ rind) ประกอบด้วย เซลล์ผิว (epidermis) มีชั้น cuticle หุ้มอยู่ด้านบนชั้นนอกสุด (exocarp) จะมีการสะสมมากขึ้นระหว่างการเจริญเติบโตของผล ความหนาของชั้น cuticle ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม flavedo เป็นเซลล์ที่อยู่ใต้ชั้นเซลล์ผิวมีสีเขียวสีเหลืองหรือสีส้มเนื่องจากมี chloroplast ที่สามารถเปลี่ยนไปเป็น chromoplast เมื่อมีผลแก่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อระดับอุณหภูมิต่ำลงสามารถเปลี่ยนกลับไปเป็น chloroplast ได้ ถ้าเก็บเกี่ยวผลล่าช้าในชั้นของ flavedo นี้มีส่วนของต่อมน้ำมัน (oil gland) อยู่ เซลล์ที่อยู่ใกล้กับต่อมน้ำมันเป็นแหล่งสำคัญในการสะสมน้ำมัน เมื่อผลแก่ผนังของเซลล์ที่อยู่ใกล้กับต่อมน้ำมันจะบางและถูกทำลายได้ง่ายในชั้น flavedo นี้ไม่มีกลุ่มท่อลำเลียง ชั้น albedo เป็นเซลล์พวก spongy parenchyma เกาะกันอย่างหลวมๆ คล้ายร่างแห ทำให้มีช่องว่างระหว่างเซลล์จำนวนมากเซลล์ของชั้น albedo มีสีเขียวไม่มี chloroplast หรือ chromoplast

2. กลีบ (segment หรือ section) เป็นส่วนของชั้นกลาง (mesocarp) ไม่มีสีประกอบด้วย segment wall ที่เป็นผนังบางๆ แบ่งระหว่าง locule มี membrane 2 ชั้นของ 2 locule มาประกบกัน จึงสามารถแยกออกจากกันเป็นกลีบได้ กุ้ง (juice sac) เป็นส่วนที่เจริญมาจากผนังของ segment wall เข้าไปภายใน locule และเป็นส่วนของผลที่นำมารับประทานภายในตัวกุ้งประกอบด้วยน้ำตาลและกรด ซึ่งส่วนมากเป็นกรดส้ม (citric acid) เมล็ดมีขนาดรูปร่าง และจำนวนแตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์

3. ใ้กลาง (juice vesicle) ประกอบขึ้น ด้วยกลุ่มท่อลำเลียงหลายอันรวมกัน อย่างหลวมๆ และมีเนื้อเยื่อ spongy อยู่รอบๆ กลุ่มท่อลำเลียงบางเส้นต่อกับด้าน stylar end ของเมล็ด



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของผลส้ม

ส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของส้มเขียวหวาน มีลักษณะของขนาด รูปร่าง ทรงต้น เหมือนกับส้มเขียวหวานมาก ส่วนลักษณะที่แตกต่างไปจากส้มเขียวหวาน กล่าวคือ ส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งจะมีทรงพุ่มแน่นและชะลูดกว่าส้มเขียวหวาน ลักษณะของกิ่ง ใบ จะตั้งขึ้น (erect form) ส่วนส้มเขียวหวาน กิ่งและใบมีลักษณะห้อยลงมา (weeping form) ใบของส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งมีสีเขียวเข้มกว่าส้มเขียวหวาน แต่มีขนาดเล็กกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้ใบมีกลิ่นหอม ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งมีขนาดปานกลาง สีของผลเหมือนกับส้มเขียวหวาน เมื่อแก่จัดผิวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม ปอกง่าย ล่อน ส่วนของชานจะนิ่ม ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีมากของส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งและยังให้น้ำส้มในปริมาณมาก รสชาติเข้มข้น หวาน แลคมอมเปรี้ยวเล็กน้อย และมีน้ำหนักผลสดดีกว่าส้มเขียวหวานเมื่อเทียบกับผลในขนาดเดียวกัน (ชัตติยา, 2541)

2.5 คุณค่าทางอาหารของส้ม

ส้มเขียวหวานเป็นผลไม้ที่มีวิตามินสูงชนิดหนึ่ง ในปริมาณ 100 กรัมของผลที่บริโภคได้ ประกอบด้วยพลังงาน สารอาหาร แร่ธาตุ และวิตามินอื่นๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางอาหารของผลส้มเขียวหวานต่อ 100 กรัมส่วนที่บริโภคได้

องค์ประกอบ	ปริมาณ
พลังงานอาหาร	44 แคลอรี
คาร์โบไฮเดรต	9.9 กรัม
โปรตีน	0.6 กรัม
ไขมัน	0.2 กรัม
น้ำ (ความชื้น)	88.7 กรัม
เส้นใย	0.2 กรัม
แคลเซียม	31 มิลลิกรัม
เหล็ก	0.8 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	18 มิลลิกรัม
วิตามินเอ	4000 หน่วยสากล
วิตามินบี 1	0.04 มิลลิกรัม
วิตามินบี 2	0.05 มิลลิกรัม
วิตามินซี	18 มิลลิกรัม

ที่มา : ฝ่ายข้อมูลการวิเคราะห์กองโภชนาการ, 2540.

2.6 การเก็บเกี่ยวผลส้ม

ส้มเป็นผลไม้จำพวก non-climacteric fruits คือ อัตราการหายใจของผลภายหลังการเก็บเกี่ยวจะลดลงเรื่อยๆ และคุณภาพของผลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก การเก็บเกี่ยว เมื่อถึงระยะสุกแก่เต็มที่ (mature) จะได้ผลคุณภาพดีเหมาะสำหรับการบริโภค แต่หากเก็บเกี่ยวก่อนผลที่มีอายุอ่อนเกินไปส้มจะมีรสเปรี้ยว (दनय, 2545) เมื่อผลส้มเริ่มสุกแก่ ปริมาณน้ำตาลจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อถึงระยะก่อนผลสุกแก่เต็มที่ อัตราการเพิ่มของน้ำตาลจะลดลง ส่วนกรดก็มีปริมาณลดลง ไม่ควรเก็บเกี่ยวผลส้มหลังฝนตกหรือหลังการให้น้ำแบบฉีดพ่นทำให้ผลเปียก เพราะส้มที่ยังเปียกจะมีเซลล์ผิวที่เต่ง จึงเป็นแผลได้ง่าย นอกจากนั้นต่อมน้ำมันที่เปลือกยังแตกง่ายทำให้เกิดตำหนิที่ผิวได้ ซึ่งทำให้ง่ายต่อการแพร่ระบาดของโรคหลังการเก็บเกี่ยว

2.6.1 ดัชนีการเก็บเกี่ยว

ดัชนีการเก็บเกี่ยวที่ดีควรเป็นดัชนีที่สามารถตรวจสอบได้ง่าย ไม่ซับซ้อน ไม่ต้องการทำลายผลผลิต ใช้อุปกรณ์ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และราคาไม่แพงโดยดัชนีการเก็บเกี่ยวจะพิจารณาจาก

1. การนับอายุ จากระยะออกดอกถึงดอกบานประมาณ 1 เดือน และจากระยะจากดอกบานถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 8-9 เดือน ในส้มพันธุ์ฟริมองด์ สำหรับส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งจะมีอายุประมาณ 10-11 เดือน ส่วนส้มเขียวหวานประมาณ 10 เดือน โดยเริ่มออกดอก ในเดือนกุมภาพันธ์และเก็บเกี่ยวในเดือนธันวาคม (นิวัตร์, 2538)
2. การวัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น ความต้านทานแรงกดของผล ความถ่วงจำเพาะ และปริมาณน้ำคั้น
3. การวัดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของผลส้ม โดยใช้เครื่องมือและวิธีการต่างๆ เช่น การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid, TSS) ด้วยเครื่อง Refractometer มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ ($^{\circ}\text{Brix}$) และการหาปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (Titratable acidity, TA) โดยการนำน้ำส้มคั้น 25 มิลลิลิตร ไตเตรตกับด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล (N) โดยมีวิธีการอ่านค่าสัดส่วน TSS/TA ดังนี้คือ ทุก 1 มิลลิลิตรของสารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไตเตรตได้มีค่าเท่ากับความเข้มข้นของกรดคิดเป็นร้อยละ 0.1 (Schneider, 1968) ส่วนการวัดหาอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เทียบกับปริมาณกรดที่สามารถไตเตรตได้ (Total soluble solid/Titratable acidity ratio ; TSS/TA) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีปฏิบัติกัน ซึ่งค่าอัตราส่วนที่จัดว่าส้มแก่แล้วควรจะไม่ต่ำกว่า 6.5 หรือจากการหาความเข้มข้นของน้ำส้ม โดยชั่งน้ำหนักผลส้มแล้วบีบหรือคั้นเอาน้ำออก และนำกากออกมาชั่งใหม่อีกครั้งแล้วคำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักผลทั้งหมด น้ำส้มที่ได้จากผลส้มที่แก่พอดีจะมีความเข้มข้นร้อยละ 50 (दनัย, 2545)

2.6.2 วิธีการเก็บเกี่ยว

วิธีการเก็บเกี่ยวผลส้มเขียวหวาน มี 2 วิธีคือ

1. การใช้แรงงานคน โดยปลิดขั้วผล หรือใช้กรรไกรตัด ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กับผลส้มสายน้ำผึ้งการปลิดผลด้วยมือเปล่าจะเก็บเกี่ยวผลได้เร็วขึ้นแต่มีผลเสียหายมากกว่าการใช้กรรไกรตัด ในขณะที่ใช้ใส่ผลส้มเป็นตะกร้าหรือถุงย่ามผ้าใบชนิดหนา สำหรับผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งจะตัดผลส้มใส่ในถุงย่ามผ้าใบซึ่งผูกติดไปกับเกษตรกรก่อน จากนั้นจึงจะลำเลียงไปใส่ในตะกร้า

2. การใช้เครื่องพ่นแรง ส่วนใหญ่จะพบในต่างประเทศที่รัฐ แคลิฟอร์เนียและรัฐฟลอริดาของสหรัฐอเมริกา อีสราเอล และ ออสเตรเลีย เป็นต้น โดยการใช้เครื่องเขย่ากิ่งใช้เครื่องเป่า และการใช้สารเคมี เช่น กรดแอสคอร์บิก กรดน้ำส้ม เป็นต้น

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลส้ม

2.7.1 ขนาดของผล ปัจจัยที่ทำให้ขนาดผลแตกต่างกัน เช่น

1. การบำรุงต้น ต้นส้มที่ได้รับการดูแลอย่างดี ได้รับน้ำและอาหารเพียงพอในระยะเวลาที่เหมาะสม ย่อมให้ผลที่ได้ขนาดมาตรฐานหรือขนาดใหญ่

2. จำนวนผลที่ติดอยู่บนต้น ถ้าจำนวนมากหรือส้มติดผลดก จำนวนผลส้มทั้งหมดจะมีขนาดเล็กกว่าปกติและคุณภาพด้อยลง เนื่องจากอาหารที่ผลิตได้ไม่เพียงพอ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการปลิดผลออก เพื่อให้จำนวนผลเหลืออยู่พอดีที่ต้นจะสามารถหาเลี้ยงได้ และผลมีคุณภาพดี หรืออาจเลือกใช้วิธีบำรุงต้นให้มากขึ้นโดยไม่ต้องปลิดผลออก

3. จำนวนใบและจำนวนผลมีส่วนสัมพันธ์กันถ้ามีใบน้อยเกินไป ต้นส้มจะสร้างอาหารมาเลี้ยงผลไม่เพียงพอ ทำให้ผลมีขนาดเล็กกว่าปกติ คุณภาพของผลด้อยลง ยิ่งผลส้มมีขนาดใหญ่ก็ยิ่งต้องการจำนวนใบมากขึ้น (วิกิตำนา, 2541)

Ketsa กล่าวว่ เมื่อผลส้มเขียวหวานมีขนาดเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solid) และปริมาณกรดทั้งหมด (Total acid) จะลดลงโดยปริมาณกรดทั้งหมดจะลดลงเร็วกว่าขึ้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ดังนั้นผลขนาดใหญ่จะมีรสหวานกว่าผลเล็ก การที่ TSS และ TA ลดลงตามขนาดผลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเค็จางของปริมาณน้ำส้มที่มีมากขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลต่อคุณภาพของผลส้ม

2.7.2 สีของผลและสีของเนื้อผล

สังเกตได้ว่าส้มที่วางจำหน่ายนั้นมีสีที่แตกต่างกันทั้งที่เป็นพันธุ์เดียวกัน เช่น ส้มที่ปลูกทางภาคเหนือ สีจะส้มจัด แดงจัด ส่วนส้มเขียวหวานที่ปลูกในภาคกลาง สีจะออกเขียว เขียวอมเหลือง หรือเหลืองอ่อน การที่สีของผลและสีของเนื้อผลแตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ แต่ที่เด่นชัดคือปัจจัยที่เกิดจากสภาพภูมิอากาศเป็นสำคัญ ถ้าอุณหภูมิของอากาศในเวลากลางวันกับกลางคืนแตกต่างกันมาก สีของผลส้มก็จะยิ่งเข้มขึ้น โดยเฉพาะในตอนที่มีผลส้มจะแก่ อุณหภูมิเป็นตัวกระตุ้นให้สีเข้มขึ้น เช่น ส้มที่ปลูกทางภาคเหนือ จะมีสีเข้มกว่าส้มที่ปลูกในภาคกลาง หรือส้มที่แก่ในช่วงอากาศหนาวจะมีสีเข้มกว่าส้มที่แก่ในช่วงที่มีอากาศร้อน ทั้งที่เป็นต้นเดียวกัน หรือปลูกในที่เดียวกัน (วัฒนา, 2528)

2.7.3 ปริมาณน้ำตาลและกรดในผล

เมื่อผลส้มเริ่มแก่จะมีการสร้างน้ำตาลขึ้นเรื่อยๆ ขณะที่ปริมาณกรดจะลดลง อาจจะมีมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น การบำรุงรักษาต้น ถ้าต้นสมบูรณ์ แข็งแรงได้รับอาหารและน้ำในอัตราที่พอเหมาะก็จะมีปริมาณน้ำตาลมาก อายุผลก็เช่นเดียวกัน ถ้าปล่อยให้ส้มอยู่บนต้นนานๆ ความหวานหรือปริมาณน้ำตาลก็จะเพิ่มมากขึ้น และปัจจัยที่สำคัญ อีกประการหนึ่งที่มีผลต่อการสร้างน้ำตาลในผลส้มคืออุณหภูมิในช่วงที่ผลเริ่มจะแก่ ถ้ามีอุณหภูมิ สูงผลส้มจะสร้างน้ำตาลได้มาก ยังมีช่วงอุณหภูมิสูงติดต่อกันนานๆ จะทำให้ผลส้มมีปริมาณ น้ำตาลเพิ่มมากขึ้นหรือหวานมากขึ้น ส่วนปริมาณกรดในผลส้มจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ ปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน เช่น การบำรุงรักษาต้นส้ม อายุของผลส้มและความแตกต่างของ อุณหภูมิในเวลากลางวันกับกลางคืน ถ้ามีอุณหภูมิแตกต่างกันมากปริมาณกรดในผลจะยิ่งมาก (วัฒนา, 2528) มนตรี (2527) กล่าวว่า ผลส้มเขียวหวาน อายุ 39 สัปดาห์มีอัตราส่วนน้ำตาลต่อ กรดเท่ากับ 18.0 ผลมีรสเปรี้ยวอมหวานเล็กน้อย ผู้ชิมไม่ชอบแต่เมื่อผลมีอายุมากขึ้นอัตราส่วน ดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นทำให้ผลมีรสหวานขึ้น เปรี้ยวน้อยลงผู้ชิมชอบมากขึ้น

2.7.4 ความหนาของเปลือก

ส้มที่ปลูกในแหล่งต่างๆ กันจะมีความหนาของเปลือกไม่เท่ากัน ทั้งที่เป็นส้ม พันธุ์เดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในแหล่งปลูกต่างๆ แตกต่างกัน ส้มที่ ปลูกในที่ที่มีความชื้นในอากาศน้อยหรือความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ส้มจะปรับตัวโดยสร้างเปลือกให้หนา เพื่อป้องกันการคายน้ำออกจากผล ทำให้เกิดช่องว่างมากระหว่างผิวเปลือกนอกกับเนื้อในเพื่อ รักษาความชื้นไว้ในทางตรงกันข้าม ถ้าปลูกส้มในที่ที่มีความชื้นของอากาศสูง เปลือกส้มจะบาง เพราะมีการคายน้ำน้อย

2.8 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลส้ม

การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลผลิต ซึ่งการ เปลี่ยนแปลงบางอย่างจะเป็นประโยชน์ เช่น การสุกของผลไม้ การเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่จะเป็น สาเหตุทำให้ผลไม้เสื่อมคุณภาพ เช่น การหายใจ การผลิตเอธิลีน การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบ และการสูญเสียน้ำหนัก

1. การหายใจเป็นการเร่งการเสื่อมสภาพ ทำให้คุณค่าของผลผลิตและคุณภาพด้าน รสชาติลดลง และเกิดการสูญเสีย น้ำ จึงมีผลต่ออายุการเก็บรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว

2. การผลิตเอธิลีน เอธิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีความสำคัญต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ โดยเฉพาะการสุกและนำไปสู่กระบวนการเสื่อมสภาพต่อไป ดังนั้นการควบคุมปริมาณของเอธิลีน ทำให้สามารถชะลอการเสื่อมคุณภาพของผลไม้ และเป็น การยืดอายุการเก็บรักษาด้วย

3. การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบ เช่นการเปลี่ยนแปลงสีผิวหรือรงควัตถุจากสีเขียว เป็นสีเหลือง ส้ม แดง น้ำเงิน แล้วแต่ชนิดของผลผลิตผล ซึ่งเป็นสิ่งต้องการในผลไม้ แต่ในผักการเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้คุณภาพลดลง และการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอินทรีย์ เป็นต้น จะมีผลต่อรสชาติของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

4. การสูญเสียน้ำหนักเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ผลไม้เสื่อมคุณภาพ ภายหลังจากเก็บเกี่ยว เนื่องจากผลไม้มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการสูญเสีย น้ำ จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำหนักลดลง เกิดการเหี่ยว เสียรูปทรง ลดความกรอบ ฉ่ำน้ำ และ อาจมีผลต่อปฏิกิริยาเคมีทำให้เสียรสชาติได้

การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ตระกูลส้มที่สำคัญ ได้แก่

2.8.1 การเปลี่ยนสีเปลือก

ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตผลต่างๆ มักมีการเปลี่ยนแปลงสีขึ้น โดยสีเขียวจะหายไป และปรากฏสีเหลืองหรือแดงขึ้นมาแทน ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของรงควัตถุพวกคลอโรฟิลล์จนกลายเป็นสารไม่มีสี อาจเป็นการทำงานของเอนไซม์ *chlrophyllase* ดังที่พบว่าเมื่อใช้เอธิลีนเร่งการสลายสีเขียวของเปลือกส้ม จะมีการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ตัวนี้ควบคู่กัน ทำให้เห็นสีเหลืองของรงควัตถุคาโรทีนอยด์ ซึ่งมีอยู่แล้วแต่ถูกสีเขียวข่มอยู่ ให้ปรากฏชัดเจนออกมาพร้อมกับการสังเคราะห์คาโรทีนอยด์ขึ้นด้วย (Gross, 1987) Gross (1981) กล่าวว่า ปริมาณคาโรทีนอยด์ของเปลือกส้ม Dancy tangerine เพิ่มขึ้น เมื่อผลสุกประมาณ 300 $\mu\text{g/g}$ fresh wt ในส้มซึ่งเก็บเกี่ยวขณะที่มีสีเขียวอยู่และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20°C พบว่า มีปริมาณคาโรทีนอยด์ต่ำกว่าผลที่ปล่อยให้สุกบนต้น อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของคาโรทีนอยด์ระหว่างการสุกสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งผลที่ติดอยู่บนต้นและผลที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว (Eilati *et al.*, 1975) เอธิลีนเป็นตัวสำคัญที่เร่งการสลายคลอโรฟิลล์ และเกิดการสังเคราะห์คาโรทีนอยด์ และการใช้เอธิลีนจะเร่งการเกิดคาโรทีนอยด์ ได้เร็วกว่าการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ และทำให้สีผิวของผลไม้ส้มมีสี

การเร่งการขจัดสีเขียวเป็นวิธีการที่นิยมใช้กับส้ม เนื่องจากเมื่อผลแก่เก็บเกี่ยวได้แล้วมีรสชาติและองค์ประกอบภายในเหมาะสมก็ตาม แต่ผิวยังเขียวอยู่มากจึงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเพราะคิดว่าผลยังไม่สุก (Cohen, 1978) ทำให้จึงจำเป็นต้องขจัดสีเขียวออกเพื่อให้ผิว

มีสีเหลืองสวยงาม การขจัดสีเขียวในผลไม้ตระกูลส้มเป็นการกำจัดคลอโรฟิลล์ออกจากเปลือก ซึ่งการขจัดสีเขียวนั้นไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพในของส้ม (Kader, 1985) การเร่งขจัดสีเขียว โดยใช้ ก๊าซเอทิลีนขึ้นอยู่กับสภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม ทั้งนี้อุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มข้นของก๊าซเอทิลีนที่ใช้จะผันแปรไปตามพันธุ์ และสภาพของผลไม้ขณะเก็บเกี่ยว (दनัย และ นิธิยา, 2535) นอกจากนี้ระยะความแก่ของผล (fruit maturity) มีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการขจัดสีเขียว ด้วย (Vakis, 1975).

2.8.2 การสูญเสียน้ำ

การสูญเสียน้ำภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตขณะที่มีการเก็บรักษา (สายชล, 2528) โดยมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักคุณภาพของผลและทำให้รูปร่างเปลี่ยนไป (दनัย, 2534) โดยทั่วไปถ้าหากมีการสูญเสียน้ำเพียง 5-10% ของน้ำหนัก จะทำให้ผลเหี่ยว ความแน่นเนื้อลดลง รสชาติไม่ดี (Peleg, 1985) นอกจากนี้จะทำให้ผลเหี่ยว เสียรูปทรง ยังทำให้เปลือกผลบาง แข็ง ปอกรับประทานยาก และวางจำหน่ายไม่ได้ทั้งๆ ที่คุณภาพภายในยังไม่เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ชูชาติ (2537) กล่าวว่า ในผลไม้ตระกูลส้มการสูญเสียน้ำเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยว การสูญเสียน้ำของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นของอากาศ การเคลื่อนที่ของอากาศ ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ (दनัย, 2534) และปัจจัยภายในของผลผลิตเอง เช่น ลักษณะโครงสร้างของพืช สารเคลือบผิว รูปร่างโครงสร้างผิวเปลือก และขนาด ของผล (สายชล, 2528) สำหรับส้มเขียวหวานการสูญเสียน้ำหนักมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร แต่ตรงกันข้ามกับขนาดของผล นั่นคือการสูญเสียน้ำหนักเกิดขึ้นกับผลที่มีขนาดเล็กมากกว่าผลที่มีขนาดใหญ่ และยังขึ้นอยู่กับความหนาของเปลือก โดยผลที่มีเปลือกหนามีการสูญเสียน้ำมากกว่าผลที่มีเปลือกบาง เนื่องจากผลที่มีเปลือกหนาจะมีจำนวน ปากใบ (stomata) มากกว่า ขณะเดียวกันผลที่มีเปลือกบางมีชั้นของ flavedo ที่หนากว่าทำให้ประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียน้ำได้ดีกว่า (Ketsa, 1990)

2.9 ความผิดปกติทางสรีรวิทยาของผลส้ม

ลักษณะอาการที่ผิดปกติไปจากเดิมนี้อาจมีผลเนื่องมาจากสภาพของภูมิอากาศ ดิน น้ำ หรือธาตุอาหาร ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจทราบหรือไม่ทราบสาเหตุที่แท้จริงก็ได้ แต่ผลที่ปรากฏ คือ ต้นพืชหรือสวนใดสวนหนึ่งของต้นพืชมีอาการไม่ปกติ ซึ่งลักษณะเช่นนี้เรียกว่า "อาการผิดปกติ

ต้นพืชหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของต้นพืชมีอาการไม่ปกติ ซึ่งลักษณะเช่นนี้เรียกว่า “อาการผิดปกติทางสรีรวิทยา” (physiological disorders) อาการผิดปกติในผลส้มที่มีการศึกษาอย่างกว้างขวางและเป็นต้นแบบของพืชอื่นคือ เกิดอาการขาดธาตุอาหาร (nutrient deficiency symptoms) นอกจากนี้ยังมีอาการอื่นอีกหลายอย่างด้วยกัน เช่น อาการฟ้ามภายในผล อาการผลลาย อาการแตดเผา อาการผลแตก และอาการพอง เป็นต้น โดยรายละเอียดของอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา มีดังต่อไปนี้

1. อาการข้าวสารหรือฟ้าม (Granulation หรือ Ricimg) อาการฟ้ามในผลของพืชตระกูลส้ม มีหลายลักษณะ เช่น ฟ้ามแห้ง ฟ้ามโต หรือเกิดทั้งสองลักษณะในผลเดียวกัน (Burns and Achor, 1989) พบมากในส้มพริ้มองต์ (Snowdon, 1990) อาการฟ้ามโตเป็นลักษณะที่ juice sac มีสีขาวขุ่นและแห้ง ไม่มีน้ำ

2. อาการผลพอง (Puffiness) ลักษณะอาการพอง (puffiness) ของผลส้มคือ ส่วนของเปลือกแยกตัวออกจากส่วนเนื้อเกิดเป็นช่องว่างระหว่างเปลือกกับผล เมื่อแกะผลออก ส่วนเนื้อสามารถแยกออกจากส่วนเปลือกอย่างง่ายดาย ซึ่งมักพบในผลส้มแก่เกินขนาดและเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม ส่วนในช่วงอื่นมักไม่พบลักษณะอาการดังกล่าว โดยอาการผลพองทำให้เกิดการเสียหายต่อผลส้ม เนื่องจากการกระแทกหรือเบียดกัน อาการผลพอง เกิดจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในช่วงเวลาดังกล่าวนั้นลดต่ำลง ส่งผลต่อผลส้มมีการปรับตัว เพื่อลดการสูญเสียน้ำให้น้อยลง (จวี, 2542)

3. อาการผลแตก (Fruit cracking) ลักษณะของอาการผลแตกคือ ผลแตกในขณะที่ผลยังอ่อนอยู่ มักพบในพันธุ์ส้มที่มีเปลือกบาง เช่น ส้มเขียวหวาน อาการดังกล่าวอาจรุนแรงมากในบางพื้นที่ หรือเฉพาะบางสวน หรือบางช่วงเวลาในรอบปี ข้อสันนิษฐานจากอาการดังกล่าว มักพบในพื้นที่ที่มีการผลิตส้ม 3 ถึง 4 รุ่นในต้นเดียวกัน (เปรมปวี, 2544) เนื่องจากส้มแต่ละรุ่นมีความต้องการปริมาณปุ๋ยในสัดส่วนที่แตกต่างกัน เช่น ส้มรุ่นเล็ก (ระยะตั้งแต่กลีบดอกโรยจนถึงผลอายุ 3 เดือน) จะต้องการธาตุไนโตรเจนที่สูงในช่วงนี้ เพื่อการเจริญเติบโตและขยายขนาดของผล ในขณะที่ส้มบนต้นเดียวกันที่มีอายุผล 7-8 เดือนจะมีความต้องการธาตุโปแตสเซียมสูงกว่าไนโตรเจน การได้รับไนโตรเจนสูงในช่วงนี้จะส่งผลให้เปลือกหนา ผลมีสีเขียวและแก่ช้าลงรสชาติจืดหรืออาจมีรสเปรี้ยวมากกว่า กากและขานค่อนข้างหยาบและเหนียว ในทางเดียวกันหากให้ปุ๋ยโปแตสเซียมสูงเพื่อบำรุงส้มรุ่นใหญ่ ส้มรุ่นเล็กจะได้รับผลกระทบคือ ทำให้ผลอ่อนมีปริมาณน้ำตาลสูงขึ้น และเกิดแรงดึงดูดน้ำสูงขึ้นในขณะที่ผลยังไม่มีการขยายขนาดไว้รองรับน้ำในปริมาณที่มากจึงไม่สามารถคายน้ำออกได้ทันและเกิดอาการผลแตกขึ้น ส่วนส้มที่มีอายุ 4-5

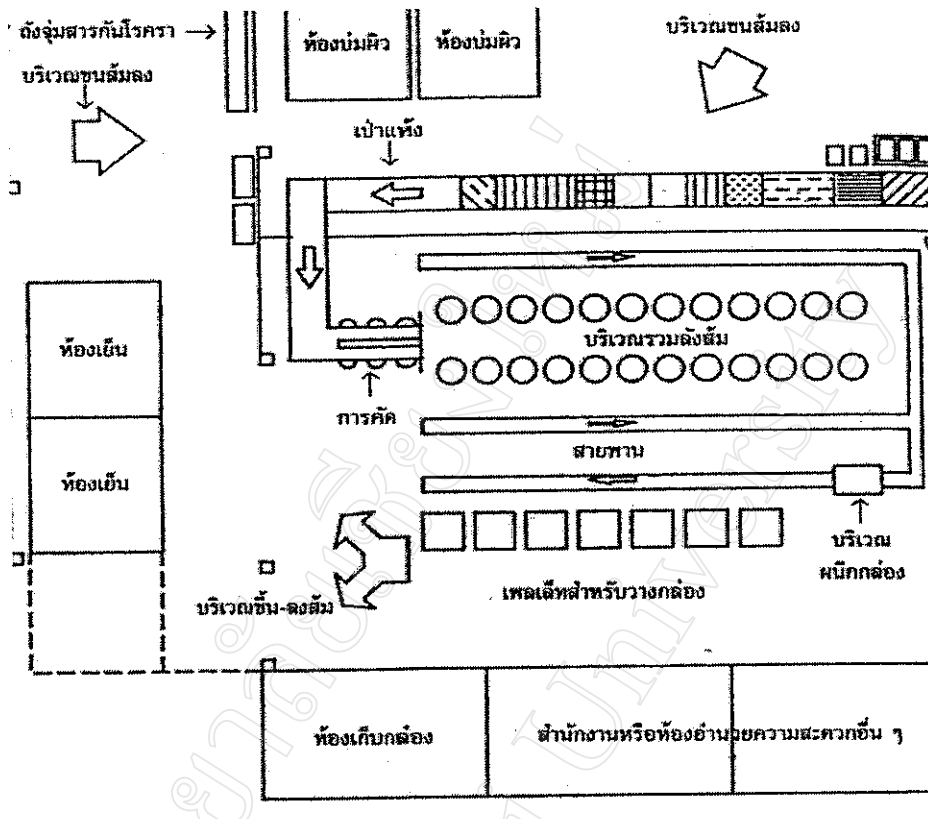
เดือน ถ้าหากได้รับปุ๋ยโปรแตสเซียมสูงในช่วงนี้อาจไม่เกิดอาการผลแตก เพราะผลมีขนาดใหญ่กว่าแต่ไม่สามารถขยายได้อีก ผลผลิตที่ได้จึงมีขนาดเล็กลง ดังนั้นในทางปฏิบัติที่เหมาะสม คือ ควรมีการแบ่งพื้นที่สวนออกเป็นสวนๆ เพื่อควบคุมการออกดอกในต้นให้เหลือเพียง 1 รุ่นบนต้นก็จะง่ายต่อการจัดการดูแลและสามารถผลิตส้มที่มีคุณภาพสูงได้ง่ายมากขึ้น

4. อาการแดดเผา (Sun burn) สามารถพบได้ในใบ ดอก ผล กิ่ง ต้น โดยเกิดกับส่วนของต้นส้มด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งหันเข้าหาดวงอาทิตย์ในช่วงบ่ายของวัน ระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนมีนาคม เนื่องจากแนวโคจรดวงอาทิตย์อ้อมผ่านซีกโลกใต้ ทำให้ผลส้มเกิดวงสีเหลืองที่ผิว หากอาการรุนแรงทำให้ภายในผลตรงบริเวณแดดเผาเกิดการแห้งได้

5. อาการผิวฉ่ำจากลม (Wind scar) เกิดจากลมพัดแล้วทำให้ผลส้มได้เสียดสีกับใบหรือกิ่งก้านของต้นส้ม พบในพื้นที่เพาะปลูกแถบภาคกลาง มีลักษณะเป็นที่ราบลุ่มและลมพัดผ่านตลอดเวลา อาการที่เกิดขึ้นนี้แม้ไม่ส่งผลต่อคุณภาพด้านรสชาติ ทำให้ผลส้มสูญเสียลักษณะปรากฏที่ดีไปและราคาจะต่ำลง

2.10 การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผลส้ม

การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ถือเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งในการรักษาคุณภาพส้มและเป็นสร้างความมั่นใจในการซื้อส้มบริโภคของผู้บริโภค ทั้งนี้ต้องเชื่อมกับกระบวนการจัดการก่อนการเก็บเกี่ยวหรือการจัดการในสวนที่ดีด้วย สวนส้มขนาดใหญ่ เช่น สวนธนาธร สวนทรายทอง สวนปทุมมีน มีโรงคัดบรรจุหีบห่อที่เต็มรูปแบบ โดยคำนึงถึงความต้องการของตลาดเป็นเรื่องสำคัญ ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ขั้นตอนในโรงคัดบรรจุหีบห่อเต็มรูปแบบของประเทศออสเตรเลีย ซึ่งถือว่าเป็นประเทศที่เข้มงวดในระบบประกันคุณภาพผักและผลไม้ที่ดีที่สุดแห่งหนึ่งของโลก (เปรมปรี, 2544)



ภาพที่ 2.2 รูปแบบโรงค้ดบรจหีบห่อที่ประเทศออสเตรเลีย

2.11 คุณภาพของผลิตผลและมาตรฐาน

การกำหนดมาตรฐานของผลล้มนับว่ามีความสำคัญ เพราะมาตรฐานใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ซื้อผู้ขายได้ และยังใช้ในการตัดสินข้อโต้แย้งที่อาจจะเกิดขึ้นในแง่ของคุณภาพระหว่างการค้าขายด้วย แม้แต่ในประเทศไทยเองเมื่อการค้าขายล้มนขยายตัวมากการกำหนดมาตรฐานเพื่อใช้เป็นแบบเดียวกันทั่วประเทศ จะทำให้การจำหน่ายล้มนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การกำหนดมาตรฐานของล้มนควรเกิดจากความร่วมมือของเกษตรกร พ่อค้า ผู้ประกอบการส่งออก

และภาครัฐบาล ซึ่งรับผิดชอบงานด้านมาตรฐาน เช่น กระทรวงพาณิชย์ และกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปัจจุบันชั้นมาตรฐานของส้มในประเทศไทย มีการกำหนดมาตรฐานกันโดยเกษตรกร และพ่อค้ารายใหญ่เป็นกลุ่มเท่านั้น ยังไม่มีชั้นมาตรฐานที่ใช้กันทั่วประเทศ แต่ในอนาคตการกำหนดชั้นมาตรฐานเพื่อกำหนดคุณภาพของส้มเพื่อใช้กันทั่วประเทศจะเป็นสิ่งที่จำเป็น

ข้อกำหนดในการจัดคุณภาพของส้ม ในการกำหนดชั้นมาตรฐานของผลส้ม ควรต้องคำนึงถึงปัจจัยคุณภาพหลายประการ เช่น ความแก่ สี ความแข็งของผล ขนาด รูปร่าง ตำหนิต่างๆ อัตราส่วนของของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อกรด อาการผิดปกติทางสรีรวิทยาต่างๆ เช่น Sunburn, Chilling injury และความสม่ำเสมอของผล เป็นต้น นอกจากนี้ในบางแห่งมีการกำหนดรสชาติด้วยว่าต้องไม่มีรสชาติที่ผิดปกติ เช่น การเกิดรสชาติและกลิ่นหมัก เป็นต้น คุณภาพมาตรฐานขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภค ความสามารถในการผลิตของเกษตรกร คุณลักษณะของผลิตผล ตลอดจนสภาพในการขนส่ง ซึ่งสิ่งเหล่านี้มักมีข้อขัดแย้งกัน ทำให้การกำหนดมาตรฐานต้องกำหนดอย่างเป็นกลาง ซึ่งทุกฝ่ายยอมรับได้คณะกรรมการการเศรษฐกิจเพื่อยุโรปแห่งสหประชาชาติ หรือ UN/ECE และโครงการมาตรฐานอาหาร FAO/WHO หรือ Codex ได้ตั้งแนวทางในการกำหนดมาตรฐานผลิตผลเอาไว้โดยต้องมีข้อกำหนดต่างๆ ดังนี้ คือนิยามของผลิตผลข้อกำหนดพื้นฐาน ข้อกำหนดเรื่องขนาด ข้อกำหนดเกี่ยวกับภาชนะบรรจุ และข้ออนุโลมและที่กำลังพิจารณาเพิ่มเติมคือ เรื่องการปนเปื้อนของสารเคมีที่ติดมากับผลิตผล รวมทั้งความถูกสุขลักษณะต่างๆ (คณัย, 2543)

คุณภาพหมายถึงลักษณะประจำของบุคคลหรือสิ่งของ ผลไม้ที่มีคุณภาพดีหรือมีลักษณะที่ดีย่อมจำหน่ายได้ราคาสูงกว่าผลไม้ที่มีคุณภาพต่ำ ดังนั้นในการกำหนดเกณฑ์ คุณภาพจึงขึ้นอยู่กับผู้ผลิต พ่อค้าส่ง พ่อค้าปลีก ตลอดจนถึงผู้บริโภค ซึ่งบุคคลเหล่านั้นไม่จำเป็นต้องมีความเห็นเหมือนกัน เพราะต่างมีพื้นฐานต่างกัน ดังนั้นเมื่อเป็นเช่นนี้จึงจำเป็นต้องมีมาตรฐานเกิดขึ้นเพื่อใช้เป็นสื่อความหมายให้เข้าใจตรงกันซึ่งมาตรฐานคุณภาพ โดยมีองค์ประกอบดังนี้

1. องค์ประกอบคุณภาพสามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะคือลักษณะภายนอก (external characteristic หรือ appearance) ได้แก่ ลักษณะต่างที่มองเห็นด้วยตา สัมผัสได้ด้วยมือ ประกอบด้วยรูปร่าง ขนาด สีสรร หรือ ความเป็นมันเงา เป็นต้น และลักษณะภายใน (internal characteristic) ได้แก่ ลักษณะที่ได้จากการบริโภคด้วยปาก ลิ้น จมูก เช่น รสชาติ (taste) เนื้อสัมผัส (texture) ปริมาณน้ำคั้น หรืออาการผิดปกติภายในผล เป็นต้น

2. การวิเคราะห์คุณภาพ สามารถทำได้ 2 ลักษณะคือแบบจิตวิสัย (subjective) ได้แก่ การประเมินคุณภาพด้วยตา มือสัมผัส และด้วยการชิม ซึ่งการตรวจสอบแบบนี้มักเกิดความผิดพลาดได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อมีผลิตภัณฑ์ที่ต้องได้รับการตรวจสอบปริมาณที่มาก (Bryan *et al.*, 1980) เพราะประสาทการรับรู้ทั้งทางตา ปาก และมือสัมผัสในแต่ละเวลาไม่เท่ากัน อีกทั้งความสามารถของประสาทการรับรู้เหล่านี้จะลดลงเมื่อมีการใช้งานติดต่อกันเป็นเวลานาน เนื่องจากความเมื่อยล้า อย่างไรก็ตาม ผู้ที่มีประสบการณ์สูงอาจมีความชำนาญในการตรวจสอบคุณภาพได้ค่อนข้างแม่นยำ ส่วนการการตรวจสอบแบบวัตถุวิสัย (objective) เป็นการวัดคุณภาพโดยอาศัยเกณฑ์ที่วัดออกมาเป็นตัวเลขโดยใช้เครื่องมือเข้าช่วย เช่น การชั่งน้ำหนัก การวัดขนาด การวัดปริมาณกรด หรือการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ วิธีการตรวจสอบแบบวัตถุวิสัยนี้สามารถตรวจสอบคุณภาพได้เที่ยงตรงและมีความผิดพลาดน้อย โดยอาศัยเกณฑ์ที่วัดออกมาเป็นตัวเลขซึ่งมีเครื่องมือเข้ามาช่วย วิธีนี้คุณภาพที่วัดได้มีความเที่ยงตรงสูง

3. การกำหนดมาตรฐาน ผลผลิตทางการเกษตรมีความแปรปรวนในคุณภาพ และแตกต่างกันตามฤดูกาล แหล่งปลูก และวิธีการเพาะปลูก ดังนั้นการกำหนดมาตรฐานมีหลักเกณฑ์ดังนี้

3.1 ทำการสำรวจผลผลิตในแหล่งปลูกหลักๆ ว่าผลผลิตมีช่วงคุณภาพเป็นอย่างไร ทั้งคุณภาพภายในและคุณภาพภายนอก

3.2 ร่างมาตรฐานขึ้นโดยให้ผู้เกี่ยวข้องได้มีส่วนร่วมเปิดโอกาสให้มีการวิพากษ์วิจารณ์แก้ไขให้เกิดความยุติธรรมแก่ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง

3.3 ทดลองใช้และประเมินการใช้มาตรฐานนั้นแล้วแก้ไขข้อบกพร่องให้ดีขึ้น

3.4 ประกาศใช้เป็นทางการ

4. องค์ประกอบของมาตรฐาน

4.1 คุณภาพขั้นต่ำของผลผลิต การกำหนดคุณภาพขั้นของผลผลิต ประกอบด้วย ลักษณะตรงตามพันธุ์ของผลิตผลนั้นๆ มีความบริสุทธิ์ทางพืชสวน (อาจจะระบุถึง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid) ปริมาณกรด ปราศจากโรค แมลง และตำหนิต่างๆ โดยทั่วไป ถ้าผลผลิตมีคุณภาพต่ำต้องมีการคัดออกทิ้งหรือนำไปแปรรูป

4.2 ชั้นมาตรฐาน ส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 3 ชั้นคือ ชั้นแรกเป็นชั้นที่ดีที่สุด เป็นชั้นพิเศษชั้น ต่อมาเป็นชั้นที่มีคุณภาพ รองลงมาเป็น ชั้น 1 และชั้น 2 ตามลำดับ (จริงแท้, 2538)

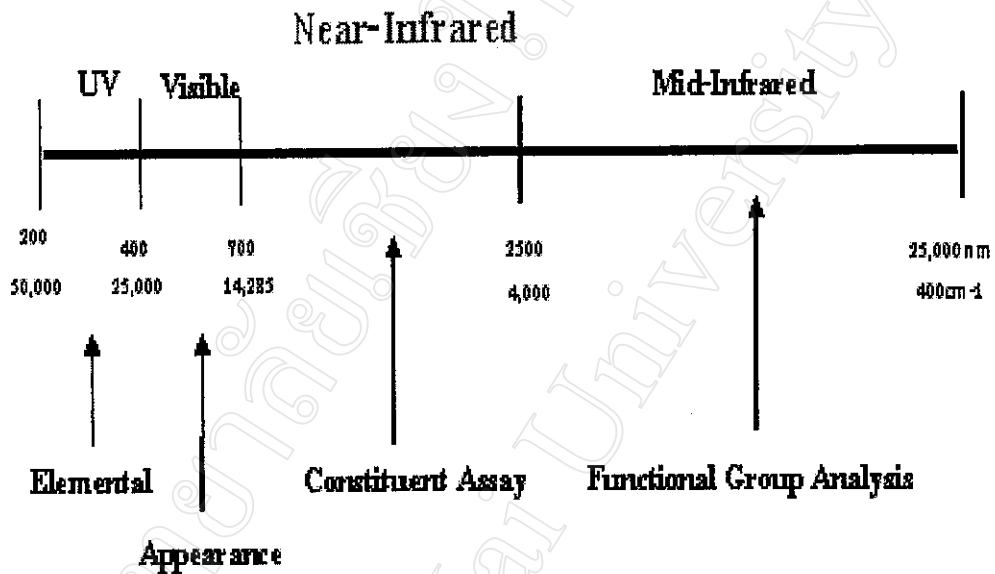
2.12 เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near infrared spectroscopy)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดอยู่ระหว่างช่วงคลื่นวิสิเบิล (visible) และช่วงคลื่นไมโครเวฟ (microwave) ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงต่างๆ

คลื่นแสงอินฟราเรด (infrared) แบ่งเป็น 3 ช่วงคลื่น ดังนี้ ช่วงอินฟราเรดย่านใกล้ (near infrared) ช่วงอินฟราเรดย่านกลาง (mid infrared) และช่วงอินฟราเรดย่านไกล (far infrared) การดูดกลืนแสงในช่วง near infrared จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 700-2500 nm ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.4

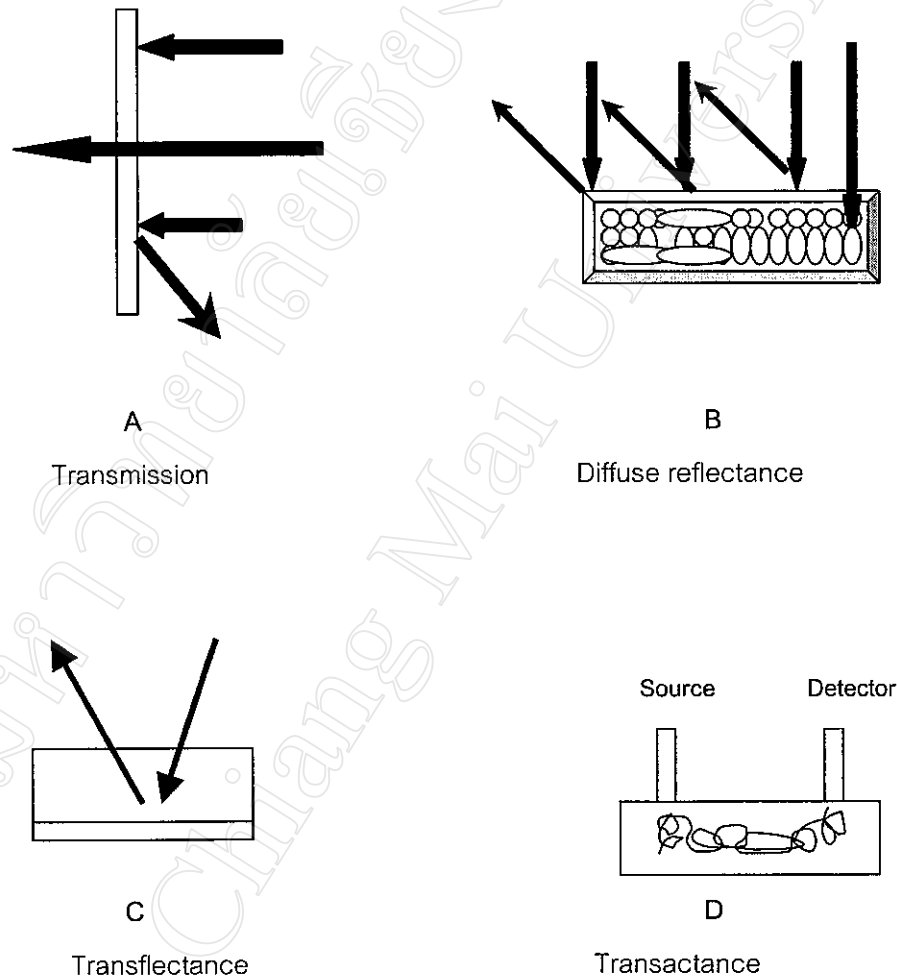


ภาพที่ 2.4 ช่วงคลื่นแสงอินฟราเรด (near infrared)

คลื่น near infrared ช่วงความยาวคลื่น 700-1100 nm เรียกว่า ช่วงคลื่นสั้น และช่วง 1100-2500 nm เรียกว่า ช่วงคลื่นยาว ซึ่งสามารถทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่นสะเทือนด้วยความถี่สูง โมเลกุลจะถูกกระตุ้นจากสถานะพื้น (ground vibrational level) ไปยังสถานะกระตุ้น (excited vibrational level) และให้ weak bands ข้อมูลที่ได้จากการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นต่างๆ เรียกว่า "สเปกตรัม" สามารถบอกถึงลักษณะของสารและในขณะเดียวกันจะบอกถึงปริมาณของสารนั้นได้ สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นมีอะตอมก๊าซไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น O-H มักพบในน้ำ แป้ง น้ำตาล N-H พบในโปรตีน และ C-H พบในน้ำมัน ถ้าคลื่น near infrared ถูกดูดซับมากขึ้น ทำให้ค่าการดูดซับสูงขึ้นด้วย

2.12.1 รูปแบบที่วัตถุมีปฏิกิริยาต่อแสงเนียร์อินฟราเรด

คลื่น near infrared เมื่อผ่านไปยังตัวอย่างจะเกิดการกระทำกับสารได้หลายแบบ เช่น คลื่นแสงถูกดูดกลืน (absorption) การส่งผ่าน (transmission) การสะท้อน (reflection) การเรืองแสง (fluorescence) การกระเจิงแสง (scattering) เมื่อนำตัวอย่างมาฉายแสงเนียร์อินฟราเรด (near infrared) จะมีปฏิกิริยาหลายแบบเกิดขึ้น เช่น



ภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาที่วัตถุตัวอย่างมีต่อแสงที่ฉายด้วยแสง near infrared (อนุพันธ์, 2545)

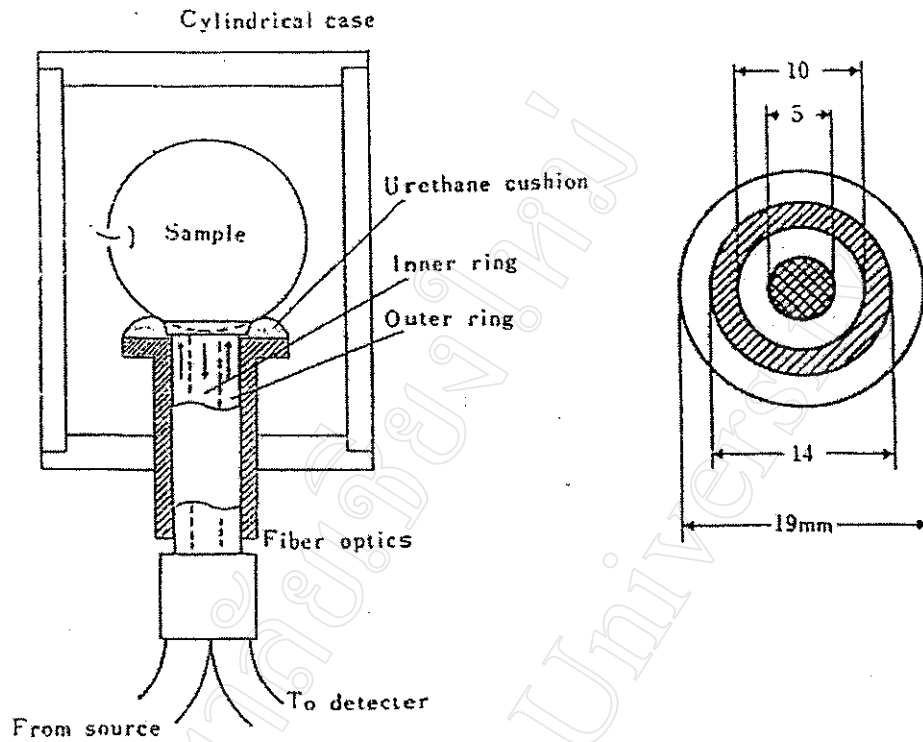
คลื่นแสง near infrared ถูกดูดกลืนโดยตัวอย่าง (แบบ A) หรือปล่อยให้ผ่านวัตถุบางส่วนหรือทั้งหมด (แบบ B) หรือสะท้อนที่ผิวตัวอย่างหรือที่ใสตัวอย่าง (แบบ C) ปริมาณของปฏิกิริยาทั้งสามแบบขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและลักษณะของตัวอย่าง เช่น ในรูปของแข็ง บดละเอียด ของเหลว หรือสารแขวนลอยและวัสดุที่ใช้ทำและรูปทรงของที่ใสตัวอย่าง การทำความเข้าใจถึงปฏิกิริยาของวัตถุที่มีต่อแสงเหล่านี้จะก่อให้เกิดความเข้าใจถึงความสามารถของเครื่องมือ Near infrared แต่ละชนิดได้

สำหรับตัวอย่างที่เป็นของเหลวหรือเป็นของแข็งที่เป็นชิ้นบาง ๆ สามารถใช้การฉายแสงแบบทะลุผ่านตัวอย่าง (transmission) อย่างไรก็ตามก็ตามความหนา (pathlength) ที่น้อยที่สุดของตัวอย่างที่สามารถนำมาฉายแสงได้ก่อนที่แสงจะดูดกลืน (absorbance) ไปหมดจะผันแปรไปตามตัวอย่างและความยาวคลื่นของแสงที่ใช้ เช่น ในกรณีของน้ำ pathlength ที่ใช้ได้มีค่าตั้งแต่ 1 nm หรือน้อยกว่าในช่วงความยาวคลื่นสูง (1850 nm ถึง 2500 nm) ถึง 5 nm หรือมากกว่าสำหรับช่วงความยาวคลื่นที่สั้นกว่า 1300 nm ซึ่งเป็นช่วงที่น้ำไม่ดูดกลืนแสงมากเท่ากับช่วงความยาวคลื่นสูง

pathlength สูงสุดที่ใช้ก็ขึ้นอยู่กับเครื่องมือแต่ละแบบด้วย ถ้าเครื่องมือนั้นมีแหล่งกำเนิดแสง near infrared ที่มีพลังงานสูง สัดส่วนของแสง NIR ที่ไม่ดูดกลืน เมื่อเปรียบเทียบกับแสงเริ่มต้นก็อาจเพียงพอที่จะวัดค่าได้

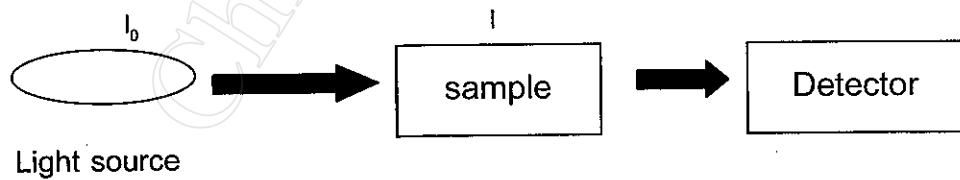
ตัวอย่างที่เป็นของแข็ง นิยมมาฉายแสงและวัดการสะท้อนแสง (reflectance) เพื่อให้แสงเข้าไปในวัตถุและแพร่กระจายในปริมาณหนึ่งก่อนที่จะวัดปริมาณที่สะท้อนกลับออกมา (diffuse reflection) รูปที่ 1 B จะใช้กับตัวอย่างที่บดละเอียด

การวัดแบบ transactance เป็นแบบของการวัดแสงที่สะท้อนจากหรือทะลุผ่านวัตถุ (แบบ D) แสงถูกฉายให้ทะลุผ่านไปในวัตถุ ซึ่งแสงจะทำปฏิกิริยากับวัตถุแต่จะไม่ถูกวัดกลับ ณ ตำแหน่งเดียวกับที่ถูกฉายเหมือนกับการวัด diffuse reflectance (แบบ B) วิธีที่นำมาใช้วัดในลักษณะนี้คือการใช้ fiber optic (แบบ D) การวัดแบบนี้ (Kawano *et al*, 1992) ซึ่งใช้ fiber optic ที่มีเส้นในเป็นวงกลมและเส้นนอกเป็นวงแหวน โดยวงแหวนเป็นตัวฉายแสงและวงกลมเส้นในเป็นตัวรับแสง แบบนี้เรียกว่า interactance นั่นคือ แสงถูกฉายรอบศูนย์กลางตัวอย่างและเกิด diffuse reflectance ในวัตถุก่อนที่จะถูกวัดการสะท้อนกลับตรงกลาง ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.6



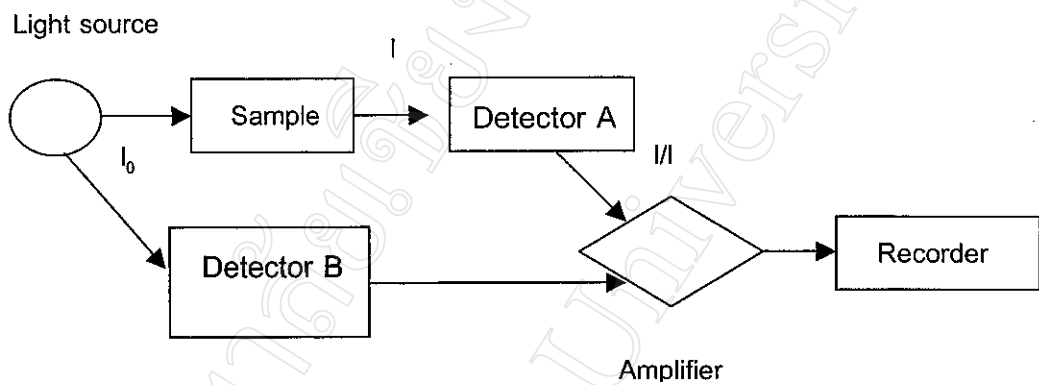
ภาพที่ 2.6 ลักษณะการวัดผลไม้ทั้งผลแบบ interactance ด้วย fiber optic

สารประกอบทุกชนิดมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสง พลังงานที่ดูดกลืนสามารถวัดโดยทางอ้อม ด้วยการวัดปริมาณพลังงานที่ถูกส่งผ่านตัวอย่างหรือพลังงานแสงที่สะท้อนกลับออกมาจากตัวอย่าง พิจารณาตัวอย่างที่โปร่งแสงวางอยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดแสง (light source) และอุปกรณ์วัดแสง (detector) ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 การวัดพลังงานที่ทะลุผ่านตัวอย่าง

การวัดพลังงานที่ผ่านตัวอย่างนั้น ความเข้มแสงเริ่มต้น I_0 จะลดลง เหลือ I ที่อุปกรณ์วัดแสง เพราะว่าแสงบางส่วนจะถูกดูดกลืนโดยตัวอย่าง ค่า I ที่วัดด้วยอุปกรณ์วัดแสงสามารถวัดได้เป็นสัญญาณค่าหนึ่ง อย่างไรก็ตามสัญญาณนี้มีความหมายมากขึ้นถ้าเพิ่มอุปกรณ์วัดแสง อีกหนึ่งตัวเพื่อวัดค่า I_0 และแสดงผลเป็นอัตราส่วนระหว่างสัญญาณทั้งสอง ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 การวัดความเข้มแสงที่ทะลุผ่านตัวอย่าง

สัญญาณจาก Ratio Amplifier ภาพที่ 2.8 จะถูกวัดเป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มแสงที่ทะลุผ่านตัวอย่างต่อความเข้มแสงเริ่มต้น ซึ่งเรียกว่า Transmittance, T นั่นคือ

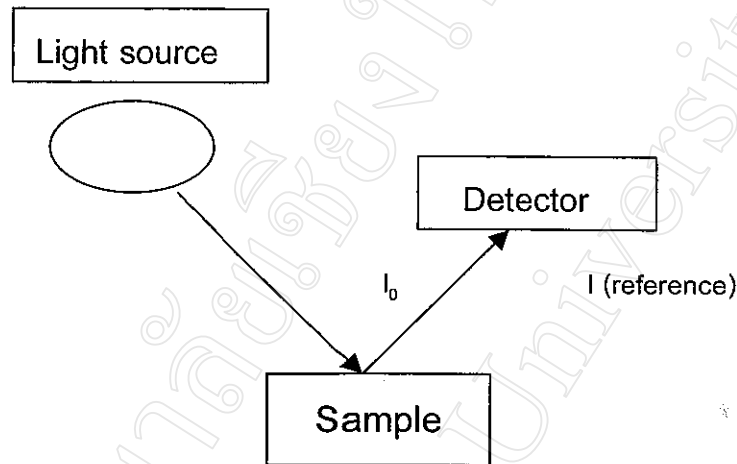
$$\text{Transmittance (T)} = I/I_0$$

เมื่อต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่าง Transmittance กับความเข้มข้นของค่าทางเคมีในตัวอย่างมักใช้ absorbance เนื่องจากเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นดังนี้

$$\text{Absorbance} = -\log T = \log 1/T$$

ในที่นี้ 100 % Transmittance (หรือ $I/I_0 = 1$) จะเท่ากับ 0 % Absorbance

สำหรับกรณีนี้ที่ตัวอย่างมีลักษณะไม่โปร่งใส (opaque sample) แสงจากแหล่งกำเนิดจะไม่ทะลุผ่านตัวอย่างได้ และบางส่วนจะถูกดูดกลืนในขณะที่บางส่วนสะท้อนกลับออกมา ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.9 เป็นพลังงานที่เหลืออยู่ในแสง โดยที่ $\text{Reference (R)} = I/I_0 =$ และ $\text{Absorbance} = \log 1/R$



ภาพที่ 2.9 การวัดปริมาณพลังงานของแสงที่สะท้อนออกมา

ความยาวคลื่นที่เกิดจากการดูดกลืนแสงเป็นฟังก์ชันของโครงสร้างทางโมเลกุลของสารประกอบนั้นๆ ดังนั้นการดูดกลืนแสงจะเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสารประกอบนั้นๆ นั่นคือ สารประกอบแต่ละสารจะมีค่า absorption spectrum ที่แตกต่างกัน โดยที่ค่า absorption spectrum เป็นการพหุคูณระหว่างการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่น

การดูดกลืนที่ความยาวหนึ่งๆ (หน่วยเป็นนาโนเมตร nm) ซึ่งมีการนิยามโดย Beer Lambert Law ดังนี้ $A = \log 1/T = abc$

โดยที่ $A = \text{absorbance}$

$T = \text{Transmittance}$

$A = \text{absorption coefficient}$ ซึ่งเป็นค่าคงที่สำหรับแต่ละสาร

$B = \text{pathlength}$ หรือความหนาของตัวอย่าง

$C = \text{ความเข้มข้น (concentration)}$ ของสารประกอบที่ดูดกลืนแสง

การนำสมการนี้ไปใช้หาความเข้มข้นของตัวอย่าง โดยการวัด absorbance นั้น จะต้องทราบความหนาของตัวอย่างที่ถูกต้อง และจะต้องหาค่า absorption coefficient โดยการสุ่มตัวอย่างที่ทราบความเข้มข้น โดยการพลอตกราฟ ระหว่าง ค่า absorbance (A) และความเข้มข้น (C) จะได้กราฟเส้นตรงผ่านจุด original โดยมีความชันเท่ากับ ab เนื่องจากทราบค่า b ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่า a ได้ดังนี้

$$C = A/ab$$

ซึ่งสอดคล้องกับสมการ multiregression ที่นำมาใช้ในการทำสมการ calibration โดยที่

$$Y = B_0 + B_i(\log I/T_i) + E$$

Y = เปอร์เซนต์ความเข้มข้นของสารประกอบที่ดูดกลืนแสง

B_0 = ค่าที่ intercept regression

B_i = สัมประสิทธิ์ regression

I = index ของความยาวคลื่นที่ใช้ที่ตรงกับ T_i

E = random error

2.12.2 การสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและการทดสอบสมการ

การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) โดยทั่วไปต้องมีการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมี (calibration equation) โดยการเตรียมสารมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงหรือแสงที่ส่องผ่าน ซึ่งก็แล้วแต่สารนั้นจะตอบสนองทางแสงในลักษณะใดก็ได้ดีและต้องสัมพันธ์กับปริมาณที่เปลี่ยนไป โดยพิจารณาที่ความยาวคลื่นที่ให้การตอบสนอง สูงสุด (λ max) แต่การสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีของเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near infrared spectroscopy) มีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้คือ

1. เตรียมชุดตัวอย่างมาตรฐาน แบ่งออกเป็นดังนี้

1.1 การสุ่มตัวอย่าง ขั้นแรกต้องมีการเตรียมชุดตัวอย่าง ซึ่งชุดตัวอย่างนี้เราต้องทราบองค์ประกอบ ปริมาณ และสัดส่วนขององค์ประกอบที่เราจะศึกษา เรียกชุดตัวอย่างนี้ว่า ชุดตัวอย่างมาตรฐาน (calibration set) โดยทั่วไปชุดมาตรฐานสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ชุดมาตรฐานที่เตรียมขึ้นเองและชุดมาตรฐานที่สุ่มตัวอย่าง เช่น ผลผลิตทางการเกษตรหรือทางอุตสาหกรรม จากนั้นนำตัวอย่างที่สุ่มมาทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบที่เราต้องการทราบ

ด้วยวิธีอ้างอิง (reference or standard method) เช่น การหาองค์ประกอบ crude protein ด้วยวิธี kjeldahl การหาปริมาณความชื้นด้วยวิธี oven drying หรือหาปริมาณไขมันด้วยวิธี soxhlet extraction เป็นต้น การสุ่มตัวอย่าง (sampling) ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการที่จะได้ผลการประเมินค่าทางเคมีที่ดี ชุดตัวอย่างมาตรฐานที่ดีจะต้องเป็นตัวแทนของตัวอย่างได้ทั้งหมด ทั้งตัวอย่าง ในปัจจุบันและตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์ในอนาคต โดยเฉพาะปริมาณเคมีที่เราสนใจจะวิเคราะห์จะต้องครอบคลุมปริมาณทั้งต่ำสุดและสูงสุด

1.2 เทคนิคการสุ่มตัวอย่าง (sampling techniques) เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy) เป็นเทคนิคที่ไม่ต้องการเตรียมตัวอย่าง ซึ่งถือว่าเป็นจุดเด่นของเทคนิคนี้เมื่อเทียบกับเทคนิคอื่น ทำให้การวิเคราะห์รวดเร็วและลดปริมาณการใช้สารเคมี หรือหากต้องมีการเตรียมตัวอย่างก็ไม่ยุ่งยาก โดยการเตรียมขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างนั้นๆ จุดสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการเตรียมตัวอย่างไม่ว่าวิธีใดก็ตาม อาจจะทำให้ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเปลี่ยนแปลงไม่มากนักน้อย ดังนั้นควรจะต้องทำการหาปริมาณความชื้นของตัวอย่างก่อนเตรียมและหลังเตรียม เพื่อให้ทราบความชื้นที่แท้จริงของตัวอย่าง

1.3 การควบคุมอุณหภูมิ (temperature control) ลักษณะสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรด (near infrared) ของตัวอย่างจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของตัวอย่างขณะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเดียวกัน แต่ทำการวัดที่อุณหภูมิต่างกันก็อาจได้สเปกตรัมต่างกัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้ก็จะเกิดการเบี่ยงเบน ดังนั้นหากต้องการผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องมากที่สุด ควรมีการควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างขณะทำการวิเคราะห์ทั้งชุดตัวอย่างที่จะนำมาสร้างสมการประเมินค่าทางเคมี และตัวอย่างที่จะนำมาหาปริมาณให้มีสถานะเดียวกัน

2. วิธีการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมี

สมการประเมินค่าทางเคมีแบ่งเป็น 4 แบบ ดังนี้

2.1 single term linear regression

2.2 Multiterm Linear Regression (MLR)

2.3 Principle Component Regression (PCR)

2.4 Partial Least Square Regression (PLSR)

2.1 single term linear regression การสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีประกอบไปด้วยตัวแปร 2 ชนิดที่มีความสัมพันธ์กันคือ ตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) ซึ่งมีสมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้

สมการ linear regression	$Y = b_0 + b_x$
โมเดล linear regression	$Y = b_0 + b_x + f$ (ผลต่างระหว่าง Y-Y)

การสร้างสมการประเมินทางเคมีแบบ single term linear regression เป็นการเลือกพิจารณาหาความสัมพันธ์เชิงปริมาณของตัวอย่างที่ความยาวคลื่นเพียงความยาวคลื่นเดียว เช่น จากสมการ $Y = b_0 + b_x$ ค่า X คือค่า $\log(1/R)$ ที่ความยาวคลื่นตำแหน่งเดียวที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R) ดีที่สุด แต่โดยปกติแล้วการพิจารณาจากความยาวคลื่นเดียวไม่เป็นที่นิยมในเทคนิค near infrared เนื่องจากจะให้ค่า R ต่ำ

2.2 Multiple Linear Regression (MLR) การพิจารณาความสัมพันธ์เชิงปริมาณของตัวอย่างจากหลายความยาวคลื่น แต่การคำนวณที่หลายความยาวคลื่นจะยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้น ดังสมการ

สมการ linear regression	$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_kx_k$
โมเดล linear regression	$Y = b_0 + b_1x_{1i} + b_2x_{2i} + \dots + b_{ki}x_{ki} + e_i$

$b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$ เรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์ regression บางส่วน (partial regression coefficient)

2.3 Principle Component Regression (PCR) ลักษณะสเปกตรัมของคลื่นแสง near infrared โดยทั่วไปจะมี peak ซ้อนทับกัน (overlapping) และ broad peak อยู่มาก ดังนั้นการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีที่พิจารณาเพียงความยาวคลื่นเดียวหรือความยาวคลื่นน้อยๆ จะให้ผลการวิเคราะห์ได้ไม่ถูกต้องไม่เท่ากับการพิจารณาทั้งสเปกตรัม (full spectrum method) หรือบางช่วงของสเปกตรัม วิธีการพิจารณาเช่นนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการประเมินค่าทางเคมีได้ถูกต้องมากขึ้น ซึ่งหลักการได้แก่สร้างแฟกเตอร์ (factor) จากความสัมพันธ์ของข้อมูลในสเปกตรัม เป็นการลดข้อมูลในสเปกตรัมอย่างมีระบบ โดยเหลือแต่ข้อมูลสเปกตรัมที่สำคัญและสอดคล้องกับปริมาณที่เราต้องการศึกษา

2.4 Partial Least Square Regression (PLSR) หลักการจะคล้ายกับ Principle component regression (PCR) แต่จะแตกต่างกันตรงที่ PLSR มีการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้น (Y) ในการหา loading weight (W) ในแต่ละแฟกเตอร์ ทำให้การ

3. การทดสอบสมการประเมินค่าทางเคมี (validation)

หลังจากที่ได้สมการประเมินค่าทางเคมีที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสิ่งที่ต้องการหามากที่สุดแล้ว ต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของสมการก่อนนำไปใช้จริง การทดสอบสมการประเมินค่าทางเคมีมีอยู่ 2 วิธีคือ

3.1 full cross validation เป็นการทดสอบภายใน (internal validation) คือ ตัวอย่างที่นำมาทดสอบสมการคือตัวอย่างชุดมาตรฐานทั้งหมดที่ใช้สร้างสมการประเมินค่าทางเคมี โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้ ตัดตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 ออกจากชุดตัวอย่างมาตรฐานที่ใช้สร้างสมการประเมินค่าทางเคมี จากนั้นใช้ตัวอย่างมาตรฐานที่เหลือทำการคำนวณหาสมการ เมื่อได้สมการจึงนำตัวอย่างมาตรฐานตัวอย่างตัวที่ 1 มาหาค่าทางเคมี ขึ้นต่อไปใส่ ตัวอย่างมาตรฐาน ตัวที่ 1 กลับคืนและตัดตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 2 ออกจากชุดตัวอย่างมาตรฐาน แล้วจึงสร้างสมการประเมินค่าทางเคมี นำสมการที่ได้จากการประเมินของตัวอย่างมาตรฐาน ตัวที่ 2 ทำขั้นตอนข้างต้นซ้ำจนกระทั่งหาค่าทางเคมีของตัวอย่างมาตรฐานครบทั้งชุด ดังนั้น ตัวอย่างมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นจะถูกตัดออกจากชุดตัวอย่าง 1 ครั้งเท่านั้น ทำการหาค่า RMSECV (root mean square error of cross validation)

$$\text{RMSECV} = \sqrt{\frac{\sum (X_{cv} - Y)^2}{n}} \quad ; n = \text{จำนวนตัวอย่าง}$$

3.2 การทดสอบสมการผลการประเมิน (prediction testing) เป็นการทดสอบสมการแบบภายนอก (external validation) โดยการเตรียมตัวอย่างชุดใหม่มาทำการวิเคราะห์ในสภาวะการทดลอง เช่นเดียวกันกับชุดตัวอย่างมาตรฐานรวมถึงการ treatment สเปกตรัมก็ต้องเป็นชุดเดียวกับตัวอย่างมาตรฐาน เรียกชุดตัวอย่างที่นำมาทดสอบสมการนี้ว่า ชุดทดสอบ (testing set) วิธีการเตรียมตัวอย่างทำเช่นเดียวกันกับชุดมาตรฐานทุกขั้นตอน แต่จุดที่ต้องระวังคือ ปริมาณค่าทางเคมีที่ต้องการหาในตัวอย่างชุดทดสอบ ต้องอยู่ในช่วงชุดมาตรฐาน หลังจากได้สเปกตรัมของชุดทดสอบ นำค่าที่ได้ไปคำนวณจากสมการประเมินค่าทางเคมี จากนั้นดูผลการคำนวณที่ได้จากค่าสถิติ ค่าทางสถิติที่ควรพิจารณาได้แก่ Bias คือ ค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่ได้จาก NIR กับค่าที่ได้จากวิธีอ้างอิง โดยได้จากสูตร

$$\text{Bias} = \frac{\sum_{l=1}^n (\text{NIR method} - \text{reference method})}{n}$$

ค่า root mean square error of prediction (RMSEP) ซึ่งได้จากสูตร

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}}$$

ค่า standard error of prediction (SEP) ซึ่งได้จากสูตร

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum (x - y)^2 - \frac{(\sum (x - y))^2}{n}}{n - 1}}$$

ถ้าผลการหาปริมาณใกล้เคียงกับผลที่อ้างอิงและค่าทางสถิติดี แสดงว่าสมการประเมินค่าทางเคมีนั้นยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้หาปริมาณตัวอย่างต่อไปได้อย่างถูกต้อง (อนุพันธ์, 2545)

2.13 การตรวจสอบคุณภาพในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร

การประยุกต์ใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

การใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางของเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพผลผลิตโดยวิธีไม่ทำลายผล (Non-destructive quality evaluation) โดยเฉพาะการใช้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่เนียร์อินฟราเรด (near infrared) ที่ใช้ในกระบวนการควบคุมและประกันคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเป็นเทคนิคหรือเครื่องมือที่สามารถทำนายค่าทางเคมีได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ประหยัดเวลา และลดต้นทุนการใช้สารเคมี เทคนิค near infrared เป็นองค์ความรู้หนึ่งที่ใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ขณะนี้ ในหลายกลุ่มอุตสาหกรรม อาทิเช่น อุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร เครื่องสำอางค์และยา สิ่งทอ เคมีและโพลีเมอร์ และปิโตรเคมี

เทคนิค near infrared สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งลักษณะสำคัญของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีดังนี้

1. ไม่ใช้สารเคมีเป็นจำนวนมากเหมือนตัวอย่างที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีทั่วไป ซึ่งนอกจากประโยชน์ที่ประหยัดค่าใช้จ่ายแล้ว ยังไม่ก่อให้เกิดมลพิษแก่ห้องปฏิบัติการ
2. การวิเคราะห์ทำได้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว สำหรับการเตรียมตัวอย่างที่จะใช้ทดสอบง่าย

3. ไม่ต้องการช่างเทคนิคที่ผ่านการอบรมพิเศษ ขั้นตอนการวิเคราะห์มีระบบวิเคราะห์โดยสมบูรณ์เข้าใจง่ายในการศึกษา

4. ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบสามารถนำมาทดสอบได้หลายครั้ง

5. สามารถทราบข้อมูลได้มากกว่า 1 ชนิด จากการวัดเพียงครั้งเดียว

6. การวิเคราะห์ทำได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเหมาะสมสำหรับการควบคุมคุณภาพ (QC) ที่ใช้ในโรงงาน

7. สามารถตรวจสอบผลผลิตผลได้ทุกชนิด โดยการดัดแปลงการวัดเป็นแบบการติดต่อได้ทุกที่อย่างทั่วถึงตลอดเวลา (on-line)

8. สามารถใช้ในสถานที่ที่มีการสั่นสะเทือนหรือเคลื่อนไหวได้ เช่น บนเรือ เพราะไม่ต้องอาศัยการชั่งน้ำหนัก

9. สามารถนำเครื่องไปตรวจสอบคุณภาพผลผลิตทางการเกษตรก่อนเก็บเกี่ยวได้เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเก็บเกี่ยวผลผลิต (พินา, 2543)

จะเห็นได้ว่าเทคนิค near infrared spectroscopy สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินคุณภาพผลผลิตได้อย่างกว้างขวาง เป็นวิธีวัดคุณภาพได้อย่างรวดเร็วและไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย นอกจากนี้ สำหรับผู้บริโภค การวัดคุณภาพอาหารด้วยวิธีนี้ ผู้บริโภคสามารถเลือกรสชาติผลผลิตได้ตามใจชอบ และเลือกซื้อผลผลิตที่มีคุณภาพเหมือนกันได้ ซึ่งจะทำให้ผู้ผลิตได้รับผลตอบแทนมากหรือน้อย ตามแต่คุณภาพของผลผลิตที่ผู้ผลิตจำหน่าย ส่งผลให้ผู้ผลิตต้องตระหนักถึงในเรื่องของคุณภาพของผลผลิต และปรับปรุงเทคนิคในการผลิตให้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย

การใช้ประโยชน์ของเทคนิค near infrared ในประเทศไทย (ตารางที่ 2.2) ส่วนมากนำมาใช้อุตสาหกรรมเกษตรและอาหารที่เกี่ยวข้องถึง 80% ส่วนมากใช้ในลักษณะงานในห้องปฏิบัติการ และการเผยแพร่ข้อมูลต่อสาธารณะยังมีน้อยมาก ปี ค.ศ 1997 คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลายอมรับเทคนิค NIR เป็นวิธีอย่างทางการ (official analytical method) สำหรับระบบซื้อขายอ้อย ขณะเป็นที่ยอมรับทั้ง 2 ฝ่ายคือผู้ปลูกและโรงงาน (วารุณี, 2545)

ตารางที่ 2.2 การใช้ประโยชน์เทคนิค NIR ในประเทศไทย

ชนิดของอุตสาหกรรม	ชนิดของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์	องค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์
1. อุตสาหกรรม มันสำปะหลัง	มันแผ่นและมันอัดเม็ด	ความชื้น, โปรตีน, เถ้า, เส้นใย คาร์โบไฮเดรต,
2. อุตสาหกรรมอาหาร สัตว์และสัตว์น้ำ	วัตถุดิบ (ข้าวสาลี, ข้าวโพด, กระดุกป่น, ถั่วเหลืองป่น, ปลาป่น ปลายข้าว และผลิตภัณฑ์)	ความชื้น, โปรตีน, เส้นใย, เถ้า
3. นมและผลิตภัณฑ์นม	น้ำนมดิบ นมผง นมหวาน	ความชื้น, โปรตีน, ไขมัน คาร์โบไฮเดรต
4. อุตสาหกรรมแป้ง (ข้าวสาลีและอื่นๆ)	วัตถุดิบ (สินค้านำเข้า) และ ผลิตภัณฑ์สำเร็จ	ความชื้น, โปรตีน, กลูเตน, เถ้า คาร์โบไฮเดรต, เส้นใย,
5. น้ำมันพืช	วัตถุดิบ (ถั่วเหลือง, รำข้าว)	ความชื้น, กรดไขมันอิสระ, น้ำมัน, โปรตีน

สำหรับประเทศไทยงานวิจัยและพัฒนาทางด้าน NIR ในภาครัฐและระดับมหาวิทยาลัย
นั้นมีน้อยมาก เนื่องจากขาดความรู้พื้นฐานและข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ เพราะเครื่อง NIR
ค่อนข้างมีราคาแพง แต่จากตัวเลขที่ผ่านมาในภาครัฐและระดับมหาวิทยาลัยมีเครื่อง NIR ใช้
ทำงานวิจัยและพัฒนาเพิ่มมากขึ้น จึงคาดว่างานวิจัยและพัฒนาด้านนี้คงมีมากขึ้นในอนาคต
ในขณะนี้ม้งานวิจัยที่ประยุกต์ใช้เทคนิค NIR กับผลิตผลเกษตร โดยเป็นวิธีการตรวจสอบความ
แข็งของเนื้อมังคุด โดยใช้ความยาวคลื่นที่ 850 นาโนเมตร และ 1250 nm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่
มีอัตราการส่องผ่านผลมังคุดได้ดีที่สุด ผลปรากฏว่าสามารถแบ่งแยกเนื้อมังคุดได้ถูกต้อง
ประมาณ 70% (Boorath *et al.*, 1999) Saranwong, *et al.*, 2001 ได้ศึกษาการใช้ Fiber optic
probe แบบ interactance mode ในการตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมะม่วง (โดยวิธีไม่
ทำลาย) เพื่อหาค่า Brix และ Dry matter ซึ่งวัตถุประสงค์ของงานนี้คือ สร้างระบบตรวจสอบ
คุณภาพภายในของผลมะม่วงและมะม่วงที่อยู่บนต้น เพื่อหาคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับการ
เก็บเกี่ยว จากการศึกษาพบว่าช่วงคลื่นที่ 700-1100 nm เหมาะสำหรับประเมินค่าคุณภาพของผล
มะม่วงโดยใช้ Fiber optic

เก็บเกี่ยว จากการศึกษาพบว่าช่วงคลื่นที่ 700-1100 nm เหมาะสำหรับประเมินค่าคุณภาพของผลมะม่วงโดยใช้ Fiber optic

การตรวจสอบคุณภาพของผลิตผลเกษตร คือการสุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาตรวจสอบ ซึ่งเป็นวิธีการที่จะต้องทำลายผลิตผลที่ตรวจสอบซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ จึงทำให้มีการคิดค้นและพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพ โดยไม่ทำลายผลขึ้น ซึ่งเป็นเทคนิคที่เป็นประโยชน์สามารถนำมาใช้กับผลิตผลเกษตรบางชนิดได้ โดยไม่ให้เกิดความเสียหาย และเป็นวิธีที่ให้ความแม่นยำสูง การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายผลมีหลายเทคนิค เช่น x-ray and gamma ray transmission, optical reflectance and transmission, nuclear magnetic resonance near infrared เป็นต้น (Chen, 1996)

ดังนั้นการหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมและแม่นยำ สำหรับการตรวจวัดคุณภาพส้มเขียวหวานแบบไม่ทำลายผล เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสำหรับการคัดแยกนั้น มีความสำคัญมากต่อการพัฒนาการประกันคุณภาพผลิตผลส้มเขียวหวานของไทย

การตรวจสอบคุณภาพผลิตผลแบบไม่ทำลายผล ได้เข้ามามีบทบาทต่อการตรวจสอบคุณภาพผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวเป็นอย่างมาก สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy)

ตรวจสอบคุณภาพผลิตผลแบบไม่ทำลายผล

ผู้วิจัย	ผลิตผล	ค่าทางเคมี	ผลการทดลอง	เครื่อง NIRS ที่ใช้
Temma <i>et al.</i> (1996)	Apple	Brix	R=0.94,SEP= 0.56 R=0.84,SEP= 0.71	interaction Pacific scientific6250 ² Own designed portable instrument
Cho <i>et al.</i>	Apple	Fructose (%) Glucose (%) Sucrose (%) Sorbitol (%)	R=0.75,SEP= 0.86 R=0.84,SEP= 0.26 R=0.86,SEP= 0.33 R=0.93,SEP= 0.18	Reflectance InfraAlyzer500 ²

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

ผู้วิจัย	ผลิตภัณฑ์	ค่าทางเคมี	ผลการทดลอง	เครื่อง NIRS ที่ใช้
Lammertyn <i>et al.</i> (1998)	Apple	Brix PH Elastic modulus(pa) Stiffness (Hz ² Kg ^{2/3})	R=0.75,SEP= 0.86 R=0.94,SEC= 0.063 SEP=0.068 R=0.78,SEC= 0.24 SEP=0.26 R=0.96,SEC= 1.66 SEP=2.25	Interactance QSA6602 ²
Ventura <i>et al.</i> (1998)	Apple	Brix	R=0.75,SEC= 1.01 SEP=1.14	Acousto-optic Spectroscopy Ocean Optics SD1000 ³
Lammertyn <i>et al.</i> (2000)	Apple	Brix	R=0.96,RMSEC=0.53 RMSEP=0.65	Reflectance OSA6602 ²
Temma <i>et al.</i> (2002)	Apple	Brix	R=0.84,SEP= 0.52	Own designed portable instrument
Kawano <i>et al.</i> 1993	(citrus) Sutsuma Mandarin	Brix	R=0.99,SEC=0.28 SEP=0.32	Tranmittance Pacific scientific6250 ²
Miyamoto and Kitano (1995)	(citrus) Sutsuma Mandarin	Brix	R=0.94,SEC=0.50 SEP=0.32	Tranmittance Pacific scientific6250 ²
Mormoto <i>et al.</i> (2002)	Citrus fruits	Brix	R=0.95, cv=4.5%	Kubota K-BA100 ⁴

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

ผู้วิจัย	ผลิตภัณฑ์	ค่าทางเคมี	ผลการทดลอง	เครื่อง NIRS ที่ใช้
Martinsen And Schaare (1998)	Kiwifruits	Brix	Core Model R=0.93,SEC=1.11 SEP=1.18 Pricarp Model R=0.86,SEC=1.22 SEP=1.20	Own designed Imaging spectroscopy ¹
McGlone and Kawano (1998)	Kiwifruits	Brix DM (%) Firmness (kg/cm ²)	R=0.95, RMSEP=0.39 R=0.95, RMSEP=0.39 R=0.95, RMSEP=0.39	Interactance NIR System 6500 ²
Osborne <i>et al.</i> (1999)	Kiwifruits	Brix DM (%)	RMSECV=0.32 RMSECV=0.32	Zeiss MMSI ³
Schaare <i>et al.</i> (2000)	Kiwifruits	Brix Density (Kg/M ³) Fresh hue	R=0.96, SEP= 0.80	interactance Quantum1200 ²
Horiuchi <i>et al.</i> (1991)	Melons	Brix	R=0.94, SEC=1.38 SEP=1.09	interactance Pacific scientific6250
Dull <i>et al.</i> (1992)	Melons	Brix	R=0.97, SEC=0.82 SEP=1.85	LT7000 ²
Bdiastra <i>et al.</i> (1998)	Mangos	Sucrose (%) Malic acid (%)	R=0.98, SEC=0.14 SEP=0.16 R=0.99, SEC=0.15 SEP=0.18	Own designed portable instrument

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

ผู้วิจัย	ผลิตภัณฑ์	ค่าทางเคมี	ผลการทดลอง	เครื่อง NIRS ที่ใช้
Schmilovitch <i>et al.</i> (2000)	Mangos	Brix TA(%) Firmness (N) Storage day(hours)	R=0.97,SEC=1.24 SEP=1.22 R=0.89,SEC=0.11 SEP=0.16 R=0.94,SEC=12.96 SEP=17.14 R=0.96,SEC=33.71 SEP=37.03	Interactance Quantum 1200 ²
Yantrasri <i>et al.</i> (1997)	Mangos	Brix	R=0.95 SEC=0.067 SEP=0.65	Interactance NIR System 6500 ²
Slaughter <i>et al.</i> (1999)	Papayas	Brix	R=0.92,SEC=1.1 SEP=1.1	Interactance NIR System 6500 ²
Kawano <i>et al.</i> 1992	Peaches	Brix	R=0.97,SEC=0.48 SEP=0.50	interactance Pacific scientific6250 ²
Kawano <i>et al.</i> (1995)	Peaches	Brix	With temperature compensation R=0.96,SEC=0.41 SEP=0.48	interaction Pacific scientific6250 ²
Peiris <i>et al.</i> (1998)	Peaches	Brix	R=0.94,SEC=0.79 SEP=1.11	Acousto-optic spectroscopy ²
Guthrie and Walsh (1997)	Pineapple	Brix	R=0.95,SEC=0.69 SEP=1.09	Interactance NIR System 6500 ²

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

ผู้วิจัย	ผลิตภัณฑ์	ค่าทางเคมี	ผลการทดลอง	เครื่อง NIRS ที่ใช้
Ishbashi <i>et al.</i> (1999)	Tomatoes	Brix	SEP=0.33	Kubota fruit selector ⁴
Morimoto <i>et al.</i> (2002)	Tomatoes	Brix TA(%)	R=0.99, cv=4.5% R=0.90, cv=8.3%	Kubota K-BA100 ⁴
Slaughter <i>et al.</i> (1996)	Tomatoes	Brix	R=0.9, SEC=0.79 SEP=1.11	Interactance NIR System 6500 ²

DM: Dry matter; TA: Titratable acidity, TA

R: correlation coefficient; SEC: standard error of calibrations ; SEP: standard error of prediction ; SECV: standard error of cross validation ; RMSEP: Root mean square error of prediction ; RMSECV: Root mean square error of validation

1: Own designed research ; 2: Commercially available research type instrument ;
3: portable spectrophotometer ; 4: portable NIR instrument.

2.14 การประเมินทางด้านประสาทสัมผัส

การประเมินทางด้านประสาทสัมผัส นับว่าได้รับความสนใจอย่างมากจากผู้วิจัย มีนักวิทยาศาสตร์ได้ดำเนินการค้นคว้าอย่างต่อเนื่อง ในการทดสอบมากยิ่งขึ้นและดีขึ้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ดีและอธิบายลักษณะทางด้านประสาทของผลิตภัณฑ์โดยมีข้อจำกัดน้อยที่สุด ปัจจุบันแนวคิดทางการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสมีแนวโน้มที่ดีขึ้น เพราะมีผู้ชำนาญการเฉพาะราย (Single expert) และผู้ชำนาญเฉพาะกลุ่ม (Group expert) ทำการทดสอบชิม ผู้ประกอบการอุตสาหกรรม นักวิจัยในประเทศที่พัฒนาแล้วและประเทศที่กำลังพัฒนาได้ตระหนักถึงตลาดที่มีการแข่งขันเพราะไม่ใช่ตลาดขนาดเล็กต้องมีการขยายตลาดเพื่อลดการล้นตลาดของผลผลิต ดังนั้นได้มีแนวโน้มทั่วไปจากความมั่นใจต่อผู้ประเมินรายบุคคลและจากผู้ประเมินนั้นต้อง

มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการวัดที่ชัดเจนมากขึ้น และมีการพัฒนาการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสประเภทพรรณารูปลักษณะที่มีความละเอียดอ่อนมากขึ้น ซึ่งมีเทคนิควิธีการวิเคราะห์ที่นำมาทดสอบที่มีการยอมรับทั่วไปได้ดังนี้

- 2.13.1 การใช้คะแนนและสเกล (Scoring and Scaling)
- 2.13.2 การสร้างเค้าโครงทางด้านกลิ่น (Flavor profile)
- 2.13.3 การวิเคราะห์ประเภทเชิงปริมาณ (Quantitative Descriptive Analysis)
- 2.13.4 การสร้างเค้าโครงในอุดมคติ (Ideal ratio profile)

การประเมินทางประสาทสัมผัส ซึ่งเทคนิคแต่ละวิธีสามารถพัฒนาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ บางครั้งต้องการผู้ประเมินที่ได้รับการฝึกฝนอย่างดีเยี่ยมในการทำงาน โดยการประเมินภายใต้สภาวะมาตรฐาน สำหรับบางวิธีการฝึกฝนอาจใช้เวลาเป็นเดือนหรืออาจเป็นปี เพื่อให้ผู้ประเมินพัฒนาคำศัพท์ที่มีความหมายในการอธิบาย และกระตุ้นทางประสาทสัมผัสอย่างเพียงพอ ซึ่งแต่ละวิธีควรนำมาใช้เฉพาะสภาวะหนึ่งที่เป็นเงื่อนไขจำเพาะที่ต้องการจะประเมินเท่านั้น

การใช้คะแนนและสเกล (Scoring and Scaling)

เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กันมากเพราะว่ามีความหลากหลายและง่ายต่อการวิเคราะห์ทางสถิติ การทดสอบต้องการใช้คะแนนกลุ่มหนึ่งหรือคะแนนกลุ่มหนึ่งที่สอดคล้อง เพื่อให้อธิบายลักษณะของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ หรือปฏิบัติการที่ตรงกันอย่างเหมาะสม ซึ่งจำเป็นต้องพัฒนาคำศัพท์ที่ใช้อธิบายระดับความแปรผันของสิ่งกระตุ้นทางประสาทที่มีต่อตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็นระดับลักษณะของตัวอย่างในเชิงลบและเชิงบวก ลักษณะตัวอย่างที่ถูกประเมินและพรรณารูปลักษณะที่ใช้ต้องจำแนกอย่างละเอียด และพารามิเตอร์ที่เลือกใช้ไม่ควรตั้งอยู่บนพื้นฐานความชอบ แต่ต้องเป็นการประเมินของลักษณะตัวอย่างเท่านั้น จุดมุ่งหมายหลักในการนิยามลักษณะคือ ต้องกำหนดให้ลักษณะตรงกับลักษณะของตัวอย่างให้มีความถูกต้อง ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ที่จะยึด แต่ละลักษณะเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ทางเครื่องมือเฉพาะอย่างหรือสารประกอบทางเคมี จุดประสงค์ของการวิเคราะห์ระดับที่ถูกจำแนกแต่ละระดับของตัวอย่างสามารถกำหนดคะแนนการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส เป็นตัวเลขได้

1. วิธีการใช้และการใช้

เมื่อพิจารณาถึงการทดสอบต้องเป็นการให้คะแนนหรือสเกล สิ่งที่น่าสนใจคือความจำเป็นในการใช้คำศัพท์ ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าลักษณะที่ยึดเป็นหลักในการประเมิน ระบบการให้

คะแนน (scoring system) ตัวเลขที่ใช้ทดสอบเพื่อให้มีลักษณะเช่นเดียวกันในทอมการพรรณนา จะถูกจัดการในระบบลักษณะลำดับของความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ในสารประกอบหนึ่ง เมื่อใช้บางสเกลบางชนิดแทนที่ตัวเลข การทดสอบนี้ว่า การใช้ระบบสเกล (scaling system) อย่างไรก็ตาม คะแนนที่เป็นตัวเลขปกติถูกจัดอยู่บนสเกลที่สามารถทำให้ผู้ประเมินวิเคราะห์ผล ในเชิงสถิติได้ การใช้ตัวเลขในแบบสอบถามอธิบายรูปลักษณะหรือทอมของการพรรณนาที่นำมา ใช้ในการประเมิน ความคิดที่ใส่ตัวเลขบนสเกลของทอมพรรณนาจะทำให้ผู้ประเมินรู้สึกง่ายต่อการประเมิน การวิเคราะห์ข้อมูลก็เป็นได้ค่อนข้างง่ายและสะดวก จุดมุ่งหมายหลักของการทดสอบ อาจเกิดอคติในการใช้ตัวเลขประเมิน แต่ขณะเดียวกันผู้ประเมินจะเกิดความคิดเกี่ยวกับตัวเลข และความสัมพันธ์กับคุณภาพ เช่นตัวเลขน้อยผู้ประเมินจะคิดว่าหมายถึงคุณภาพของตัวอย่างไม่ดี นอกจากนี้ ผู้ประเมินอาจจะมีแนวโน้มในการให้คะแนนกับตัวอย่างที่สัมพันธ์กับคะแนนที่กำหนด มากกว่าที่จะให้ตามความคิดของตนเองในแง่ระดับความเข้มข้นที่กำหนดของลักษณะจำเพาะหนึ่ง และได้มีวิธีการใส่สมมุติตัวเลขบนสเกลของการพรรณนารูปลักษณะของตัวอย่างในแบบสอบถาม วิธีนี้ผู้ประเมินไม่เห็นตัวเลข ทำให้หมดข้อสงสัยในการเกิดอคติ การทดสอบนี้มีแนวโน้มที่จะทำให้ผู้ประเมินตระหนักและสนใจเป็นพิเศษต่อการพิจารณาคุณภาพในการพรรณนารูปลักษณะของ ตัวอย่างมากขึ้น และมากกว่าตัวเลขที่กำหนดเป็นแนวทาง แม้ว่าวิธีนี้จะเป็นการเพิ่มความพยายามของผู้ทดลองในกระบวนการให้คะแนนก็ตาม แต่เป็นสิ่งที่สามารถทำให้ลดอคติและการ สูญเสียข้อมูลเชิงพรรณนาที่ต้องการบางอย่างได้ ดังนั้นจึงกำหนดขั้นตอนในการพัฒนาการ ทดสอบแบบวิธีการให้คะแนนและแบบการใช้สเกลโดยมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1.1 นิยามลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างในถูกประเมินและการ วัดพารามิเตอร์ของลักษณะนั้นๆ

1.2 ตรวจสอบคะแนนหรือสเกลที่ต้องการใช้สำหรับพารามิเตอร์ที่กำหนด หรือความเข้มข้นของลักษณะนั้นๆ

1.3 สหสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีหรือเครื่องมือมาตรฐานขึ้นอยู่กับ ทอมของการพรรณนาหรือพารามิเตอร์ที่ยึดถือในการทดสอบ

1.4 นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติ

2. การนิยามลักษณะทางประสาทสัมผัส การคัดเลือกลักษณะทางประสาท สัมผัสเพื่อที่จะประเมินตัวอย่างเป็นสิ่งที่จะต้องดำเนินการให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การประเมิน โดยกระบวนการนี้ ผู้ประเมินต้องผ่านการฝึกฝนมาเป็นอย่างดี ในการสื่อความหมาย ความตั้งใจ และความเข้าใจที่มีต่อคำศัพท์ที่ถูกคัดเลือกเพื่ออธิบายลักษณะที่กำหนด เพื่อการพัฒนาทอม

ของการพรรณนา รายการของคำศัพท์ที่ใช้อธิบายจะถูกนำมาวิเคราะห์และอภิปราย โดยผู้ประเมิน ที่ผ่านการฝึกฝนจนกระทั่งคำศัพท์ที่ใช้ยึดเป็นหลัก ซึ่งเทียบเคียงสารเคมีที่ทราบและรู้จักเป็น ที่เข้าใจอย่างถ่องแท้ในคำศัพท์นั้นๆ การพัฒนาสเกลมีความสำคัญอย่างยิ่งที่ผู้ประเมินต้อง อธิบายความรู้สึกที่ได้รับจากประสบการณ์ปราศจากการคิดเทียบเคียงความชอบหรือโอกาสเลือก ความตั้งใจมุ่งมั่นต้องอยู่บนคุณสมบัติของตัวอย่างที่ผู้ประเมินให้ความสัมพันธ์กับลักษณะที่เลือก สำหรับการศึกษานี้ เช่น แสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การแปลคำศัพท์ของลักษณะผลิตภัณฑ์เบียร์

กลิ่นผลไม้/กลิ่นดอก (Fruity/floral)	กลิ่นหอมของผลไม้คล้ายกับผลไม้สุก หรือดอกไม้
ออกซิไดซ์ (Oxidized)	เบียร์เก่า เหม็นอับ
กลิ่นคล้ายยีสต์ (Yeasty)	กลิ่นยีสต์ขมมึน
รสขม (Bitter)	รสชาติขม เช่นในน้ำโทนิคหรือ Quinine sulfate
กลิ่นแฉะ (Grainy) กลิ่น worty	กลิ่นคล้ายแฉะหรือกลิ่นคล้ายเบียร์ก่อนหมัก
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide)	กลิ่นของไม้ขีดไฟ
กลิ่นเหม็นอับ สาบ (Musty)	กลิ่นคล้ายห้องอับชื้น อับเชื้อรา
กลิ่นเหม็น (Skunky)	ลักษณะกลิ่นเฉพาะของกลิ่นตัว
ฟีนอลิก (Phenolic)	กลิ่นยา
รสชาติหลังชิม (Aftertaste)	รสฝาดคอ

3. การตรวจสอบการให้คะแนนและการใช้สเกล

การใช้สเกลและตัวเลขเพื่อให้สอดคล้องกับเทอมตัวเลขหรือสอดคล้องกับ สเกลที่แสดงลำดับคุณภาพ ภายใต้การศึกษาจะถูกเขียนในลำดับที่เหมาะสม คำตัวเลขที่เพิ่มขึ้น หรือลดลงถูกกำหนดที่หลังสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติ สเกลที่แสดงลำดับคุณภาพถูกกำหนด เพื่อเป็นพารามิเตอร์ในการลำดับการเพิ่มขึ้นหรือลดลง ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่จะอธิบายตัวอย่าง

4. สหสัมพันธ์กับมาตรฐาน

การพัฒนาคำศัพท์จำเป็นต้องค้นหาสหสัมพันธ์กับมาตรฐาน เช่น คุณภาพทางเคมี ต้องทราบสารประกอบทางเคมีที่ใช้ยึดเป็นมาตรฐาน รวมทั้งการวัดค่าทางกายภาพต้องมีเครื่องมือที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์และอธิบายคุณสมบัติตัวอย่างได้

5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการประเมินสามารถนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ หาความสัมพันธ์ โดยวิธี Regression analysis และการวิเคราะห์ความแปรปรวน

6. ข้อดีและข้อด้อยของการใช้

การทดสอบแบบนี้มีประโยชน์อย่างมากสำหรับผู้ทำการทดลอง ผลของการวิเคราะห์สามารถให้ข้อมูลเชิงพรรณนาและความแตกต่างที่อยู่ในตัวอย่าง นอกจากนั้นยังอธิบายลักษณะต่างๆ ของตัวอย่างมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่ผันแปรในตัวอย่างอีกด้วย (ไพโรจน์, 2545)