Agricultural Sci. J. 33 : 6 (Suppl.) : 177-183 (2002) **ว. วิทย. กษ. 33 : 6 (พิเศษ) : 177-183 (2545)**

ความสัมพันธ์ของระดับความพองของผลส้มเขียวหวานกับคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

พัฒนะ อรรจนสุพพัติ[1] และ ธงชัย ยันตรศรี[2]

Pattana Achanasuppat[1] and Thongchai Yantarasri[2]

Abstract

The objective of this study is to determine a relationship between physico-chemical characteristics and puffiness level, an internal disorder, of tangerine fruit (cv. Khieo Waan). Initially, the fruits were detected for three puffiness level: normal (level 0), little (level 1) and severe (level 2) by hand sorting because there is no device used for sorting the puff ones right now. Hand sorting is not uniform, not accurate, and expensive. To solve the problem, an appropriate method is determined for developing a sorting device. The physical characteristics studied are specific gravity, compression force resistance, internal air volume and juice content. The chemical characteristics studied are total soluble solid (TSS), titratable acidity (TA) and the total soluble solid/ titratable acidity ratio (TSS/TA). The result indicated that specific gravity, compression force resistance and internal air volume has high relationship with puffiness level (R^2 = 0.9944, 0.9987 and 0.9949 respectively). As puffiness level increased, both fruit specific gravity and compression force resistance decreased significantly while internal air volume increased significantly. Juice content both by weight and by volume decreased whereas puffiness level increased. But TSS, TA and TSS/TA had no relationship with puffiness level. The result found that the physical characteristics situated apply for sorting is specific gravity. Using adjacent - specific gravity liquid to sort the puff one floated whereas the normal one sunk. This technique is convenient and can be used for fast and continuous sorting.

บทคัดย่อ

การศึกษาความสัมพันธ์ของระดับความพองของผลส้มเขียวหวานกับคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่บ่งบอกความสัมพันธ์กับความพองซึ่งเป็นความผิดปกติภายในผลส้ม ในขั้นต้นผลส้มได้รับการประเมินด้วยสายตาซึ่งเป็นการตรวจสอบแบบจิตพิสัยโดยพนักงานของโรงคัดบรรจุผลส้ม เพื่อแบ่งระดับความพองของส้มออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับปกติ (ระดับ 0) พอง (ระดับ 1) และพองมาก (ระดับ 2) เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือสำหรับตรวจวัดความพองของผลส้ม ทั้งนี้การตรวจสอบและคัดแยกผลส้มพองออกจากผลปกติด้วยแรงงานคนที่สามารถทำได้อย่างรวดเร็วและมีคุณภาพสม่ำเสมอเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก ประกอบกับค่าจ้างแรงงานมีแนวโน้มสูงขึ้นในอนาคต ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมี ที่มีความสัมพันธ์กับอาการพองที่เกิดขึ้นเพื่อรองรับกับการพัฒนาเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดอาการพองได้อย่างแม่นยำจึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยคุณสมบัติทางกายภาพที่ศึกษาคือ ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความต้านทานแรงกด ปริมาตรของช่องว่างภายในผล และปริมาณน้ำคั้น ส่วนคุณสมบัติทางเคมีที่ศึกษาคือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่สามารถไตเตรตได้ ซึ่งเป็นการตรวจสอบแบบวัตถุวิสัยจึงเป็นการศึกษาเชิงเปรียบเทียบให้เห็นถึงความสัมพันธ์กับระดับความพองที่ได้จากการประเมินแบบจิตวิสัย ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความต้านทานแรงกด และ ปริมาตรของว่างภายในผล ต่างมีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับระดับความพอง ด้วยค่า R^2 = 0.9944, 0.9987 และ 0.9949 ตามลำดับ โดยเมื่อผลส้มมีระดับความพองเพิ่มขึ้น ทั้งความถ่วงจำเพาะและความต้านทานแรงกดของผลมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปริมาตรของช่องว่างภายในผลมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับปริมาณน้ำคั้นทั้งโดยมวลและโดยปริมาตร มีค่าลดลงเมื่อระดับความพองเพิ่มขึ้น ขณะที่คุณสมบัติทางเคมี คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่สามารถไตเตรตได้ และสัดส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เทียบกับปริมาณกรดที่ไตเตรตได้นั้น ไม่มีความสัมพันธ์กับระดับความพองที่เพิ่มขึ้นของผลส้ม เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการนำมาประยุกต์สำหรับการคัดแยก พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะมีศักยภาพในการพัฒนาเครื่องมือหรืออุปกรณ์เพื่อการคัดแยกผลส้มพองออกจากผลส้มปกติได้ โดยอาศัยเทคนิคการจม-ลอยของผลส้มในตัวกลางที่เป็นของเหลวที่ได้รับการปรับค่าความถ่วงจำเพาะให้เหมาะสมต่อการคัดแยก ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถใช้สำหรับคัดแยกผลส้มในปริมาณมากอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องได้

[1]สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

Postharvest Technology Graduate Program, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200 Thailand

[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200 Thailand.

โทร 0-5394-1425 โทรสาร 0-5394-1425 E-mail: thongc@dome.eng.cmu.ac.th

คำนำ

ส้มเขียวหวาน (*Citrus reticulata* Blanco) เป็นไม้ผลตระกูลส้มที่สำคัญที่ปลูกในประเทศไทย (Ketsa, 1990) เป็นหนึ่งในผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ และเนื่องจากเป็นผลไม้มีคุณค่าทางโภชนาการสูง (ทองดี, 2534) จึงเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคของทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศ โดยพื้นที่เพาะปลูกทางภาคเหนือเป็นแหล่งผลิตส้มที่ผลผลิตมีปริมาณมากและคุณภาพดีแห่งหนึ่งของประเทศ (นิรนาม, 2540)

คุณภาพของผลิตผลส้มที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคจะเป็นตัวกำหนดระดับราคาของผลิตผลที่ออกสู่ตลาด (จริงแท้, 2538) เนื่องจากผลส้มที่ได้รับการเก็บเกี่ยวมาแล้วมีมากมายหลายลักษณะ ทั้งที่มีขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ทั้งที่มีตำหนิและปราศจากตำหนิ ทั้งที่ผลปกติและผิดปกติหลากหลายคละกันไป ดังนั้นการเพิ่มคุณภาพของผลิตผลและการเพิ่มผลตอบแทนจึงอยู่ที่การคัดแยกผลิตผลออกตามมาตรฐานคุณภาพของผลผลิต การคัดคุณภาพจะต้องมีเกณฑ์สำหรับการคัด อาจมีการพิจารณาในหลายๆ ลักษณะประกอบกัน โดยที่องค์ประกอบคุณภาพของผลิตผลสามารถแยกได้สองลักษณะคือ ลักษณะภายนอก (external characteristic) เช่น รูปร่าง ขนาด สีสัน หรือ ความเป็นมันเงา เป็นต้น ส่วนลักษณะภายใน (internal characteristic) เช่น ปริมาณน้ำคั้น รสชาติ หรือ อาการผิดปกติของผล เป็นต้น (Kader, 1989) หรือในบางกรณี ความผิดปกติปรากฏอยู่ภายในผล เช่น ความฟ่าม หรือ ความพอง การตรวจสอบจากภายนอกอาจทำได้ยาก

อาการพองภายในผลส้มนี้เป็นความผิดปกติทางสรีรวิทยา ซึ่งมีลักษณะอาการที่ส่วนของเปลือกแยกตัวออกจากส่วนเนื้อ เกิดเป็นช่องว่างระหว่างเปลือกกับผล มักพบกับส้มเขียวหวานในเขตพื้นที่ภาคเหนือหรือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะผลส้มที่แก่และได้รับการเก็บเกี่ยวช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม อาการผลพองเกิดจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในช่วงเวลาดังกล่าวนั้นลดต่ำลง ส่งผลต่อผลส้มมีการปรับตัวเพื่อลดการสูญเสียน้ำให้น้อยลง ลักษณะอาการเช่นนี้ทำให้ผลส้มเกิดการบอบช้าได้ง่ายจากการกระแทกหรือเบียดกัน หรืออีกกรณีหนึ่งเกิดขึ้นกับการบรรจุผลลงในกล่อง โดยผลมักล้นกล่องแต่ยังไม่ได้น้ำหนักตามที่ต้องการ (รวี, 2542) ดังนั้นการตรวจสอบเพื่อคัดแยกผลส้มพองออกจากผลส้มปกติจึงเป็นสิ่งจำเป็น

วิธีการตรวจสอบคุณภาพผลส้มหลังการเก็บเกี่ยวสามารถทำได้สองแบบคือ แบบจิตวิสัย (subjective) และแบบวัตถุวิสัย (objective) การตรวจสอบแบบจิตวิสัยเป็นการประเมินคุณภาพด้วยตา มือสัมผัส หรือด้วยการชิม ซึ่งการตรวจสอบแบบนี้อาจเกิดความผิดพลาดได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อผลิตผลที่ต้องได้รับการตรวจสอบมีปริมาณมาก (Bryan *et al.*,1980) เพราะประสาทการรับรู้ทั้งทางตา ปาก และมือสัมผัสในแต่ละเวลาไม่เท่ากัน อีกทั้งความสามารถของประสาทการรับรู้เหล่านี้จะลดลงเมื่อมีการใช้งานติดต่อกันเป็นเวลานาน เนื่องจากความเมื่อยล้า อย่างไรก็ตามผู้ที่มีประสบการณ์สูงอาจมีความชำนาญในการตรวจสอบคุณภาพได้ค่อนข้างแม่นยำ ส่วนการตรวจสอบแบบวัตถุวิสัยเป็นการวัดคุณภาพโดยอาศัยเกณฑ์ที่วัดออกมาเป็นตัวเลขจากเครื่องมือโดยเฉพาะ เช่น การชั่งน้ำหนัก การวัดขนาด หรือการวัดปริมาณกรด วิธีการตรวจสอบแบบวัตถุพิสัยนี้สามารถตรวจสอบคุณภาพได้เที่ยงตรงและมีความผิดพลาดน้อย

เนื่องจากในปัจจุบันผลส้มที่มีอาการพองดังกล่าวจะถูกตรวจสอบและคัดแยกออกจากผลปกติด้วยแรงงานคนเป็นหลัก การคัดแยกอย่างรวดเร็วและมีคุณภาพสม่ำเสมอเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก ประกอบกับค่าจ้างแรงงานมีแนวโน้มสูงขึ้นในอนาคต ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ทางกายภาพ หรือทางเคมี ที่มีความสัมพันธ์กับอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นเพื่อรองรับกับการปรับปรุงและประยุกต์ใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดอาการผิดปกติได้อย่างแม่นยำและเที่ยงตรงจึงเป็นสิ่งจำเป็น (Kato, 1997)

การศึกษาวิธีการตรวจสอบลักษณะผิดปกติภายในโดยอาศัยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะที่ผิดปกติ เช่น การอาศัยการจม-ลอยซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพอย่างหนึ่ง โดยผลส้มฟ่ามจะมีค่าความถ่วงจำเพาะที่ต่ำกว่าผลส้มปกติอย่างมีนัยสำคัญและผลที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าจะลอยบนของเหลวที่ได้รับการปรับค่าความถ่วงจำเพาะที่เหมาะสม ในขณะที่ผลที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าจะจมลง (ธงชัย, 2542a; 2542b; 2542c) หรือ การใช้คุณสมบัติทางแสงที่มองเห็นได้ (visible light) เพื่อตรวจสอบความฟ่ามของผลส้ม ซึ่งพบว่า ผลส้มฟ่ามจะมีความสามารถการดูดกลืนแสงได้สูงกว่าผลส้มปกติ (ธงชัย, 2542d; Yantarasri and Sornsrivichai, 1998; วชิราพร, 2543) หรือการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าเพื่อตรวจวัดความฟ่ามของผลส้ม พบว่าผลส้มที่มีความฟ่ามเพิ่มขึ้น จะทำให้ทั้งความจุไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้าของผลมีค่าลดลง (ประภาพร, 2543) หรือการศึกษาในมะเขือเทศ (Chen and Studer, 1977) พบว่า ความพองที่เพิ่มขึ้นภายในผล ทำให้ทั้งค่าความหนาแน่นผลและค่าความแน่นเนื้อลดลงในขณะที่ปริมาตรภายในผลมีค่าเพิ่มขึ้น

การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่บ่งบอกความสัมพันธ์กับความพองซึ่งเป็นความผิดปกติภายในผลส้ม โดยคุณสมบัติทางกายภาพที่ศึกษาคือ ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความต้านทานแรงกด ค่าปริมาตรช่องว่างที่เพิ่มขึ้นภายในผล และปริมาณน้ำคั้น ส่วนคุณสมบัติทางเคมีที่ศึกษาคือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่สามารถไตเตรตได้ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถตรวจสอบอาการผิดปกติได้อย่างแม่นยำและสม่ำเสมอต่อไป

วิธีการทดลอง

ผลส้มเขียวหวานจากสวนส้มธนาธร อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งในขั้นต้นใช้การประเมินด้วยสายตาซึ่งเป็นการตรวจสอบโดยพนักงานของโรงคัดบรรจุผลส้มเพื่อแบ่งระดับความพองของส้มออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับปกติ (ระดับ 0) พอง (ระดับ 1) และพองมาก (ระดับ 2) เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่เครื่องมือสำหรับตรวจวัดความพองของผลส้ม ดังนั้นการตรวจวัดระดับความพองด้วยคุณสมบัติทางกายภาพคือ ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความต้านทานแรงกด ปริมาตรของช่องว่างภายในผล และปริมาณน้ำคั้น สำหรับคุณสมบัติทางเคมีคือปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่สามารถไตเตรตได้ของผลส้ม ซึ่งเป็นการตรวจสอบแบบวัตถุวิสัยจึงเป็นการศึกษาเชิงเปรียบเทียบให้เห็นถึงความสัมพันธ์กับระดับความพองที่ได้จากการประเมินแบบจิตวิสัย

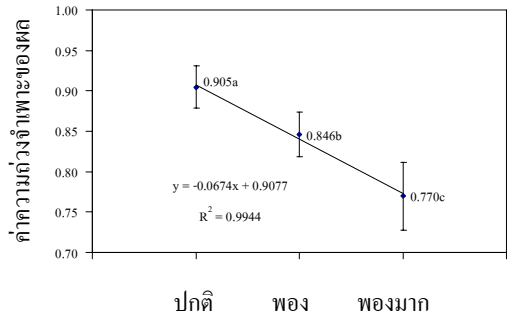
การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผลส้ม เริ่มจากการหาค่ามวลของส้มแต่ละผลด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล Mettler BD1201 ส่วนการหาปริมาตรของผลด้วยวิธีการแทนที่น้ำแบบ platform scale (Mohsenin, 1980) เพื่อนำค่ามวลและปริมาตรที่ได้มาคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของผลส้ม ต่อมานำผลส้มมาวัดค่าความต้านทานแรงกดของผลแบบไม่ทำลายผลด้วยเครื่อง Texture Analysor รุ่น TA-XT2i/50 โดยแผ่นวัสดุที่ใช้กดบนด้านข้างของผลส้มนั้นมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 cm ระยะกด 5 mm ด้วยแรง 0.2 N เสร็จแล้วเป็นการหาปริมาตรของช่องว่างภายในผลจากความแตกต่างของปริมาตรของส้มทั้งผลและปริมาตรของเปลือกกับเนื้อ โดยปริมาตรของเปลือกและเนื้อหาได้จากการแกะเปลือกส้มออกจากผลแล้วนำเปลือกและเนื้อไปหาปริมาตรของเปลือกและเนื้อด้วยวิธีเดียวกับการหาปริมาตรของผล จากนั้นนำค่าปริมาตรของช่องว่างภายในผลที่ได้มาเทียบกับปริมาตรของส้มทั้งผล จากนั้นนำส้มที่แกะเปลือกแล้วมาคั้นน้ำ แล้วนำน้ำส้มที่คั้นได้มาหามวลและปริมาตร น้ำส้มส่วนหนึ่งถูกนำไปวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, TSS) ด้วย hand refractometer และ ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity, TA) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 N

ผลและวิจารณ์

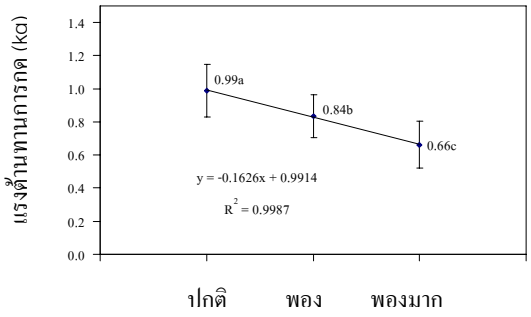
ผลส้มที่นำมาศึกษาความพองครั้งนี้ ในขั้นต้นใช้การประเมินด้วยสายตาซึ่งเป็นการตรวจสอบโดยพนักงานของโรงคัดบรรจุผลส้ม เพื่อแบ่งระดับความพองของออกเป็นส้ม 3 ระดับ คือ ระดับปกติ (ระดับ 0) พอง (ระดับ 1) และพองมาก (ระดับ 2) เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่เครื่องมือสำหรับตรวจวัดผลส้มพองออกมาเป็นตัวเลข ดังนั้นการตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพคือ ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความต้านทานแรงกด ค่าปริมาตรช่องว่างที่เพิ่มขึ้นภายในผล และปริมาณน้ำคั้น สำหรับคุณสมบัติทางเคมีคือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และ ปริมาณกรดที่สามารถไตเตรตได้ ของผลส้ม ซึ่งเป็นการตรวจสอบแบบวัตถุวิสัยจึงเป็นการศึกษาเชิงเปรียบเทียบให้เห็นถึงแนวโน้มความสัมพันธ์กับระดับความพองที่ได้จากการประเมินแบบจิตวิสัย สำหรับการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่เหมาะสมต่อการตรวจสอบต่อไป

ความสัมพันธ์ของค่าความถ่วงจำเพาะของผลส้มและระดับความพองดังภาพที่ 1 ได้แสดงความสัมพันธ์ในระดับสูงด้วยค่า $R^2 = 0.9944$ โดยค่าความถ่วงจำเพาะลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับความพองเพิ่มขึ้น ซึ่งผลส้มระดับปกติ พอง และพองมาก จะมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.905 ± 0.026 0.846 ± 0.027 และ 0.770 ± 0.042 ตามลำดับ ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะของผลิตผลใดๆ เป็นสัดส่วนของมวลของผลิตผลเทียบกับปริมาตรของผลิตผลนั้น ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาความสัมพันธ์ของความฟ่ามในผลส้มกับค่าความถ่วงจำเพาะของผลส้มโดยธงชัย และคณะ (2542) ที่พบว่า ผลส้มฟ่ามจะมีมวลน้อยกว่าผลส้มปกติเมื่อปริมาตรผลเท่ากันเป็นเหตุให้ค่าความถ่วงจำเพาะของผลฟ่ามลดลง สำหรับการศึกษาในผลมะเขือเทศ (Chen and Studer, 1977) พบว่าช่องว่างที่เพิ่มขึ้นภายในผลเป็นเหตุให้ค่าความถ่วงจำเพาะลดลง

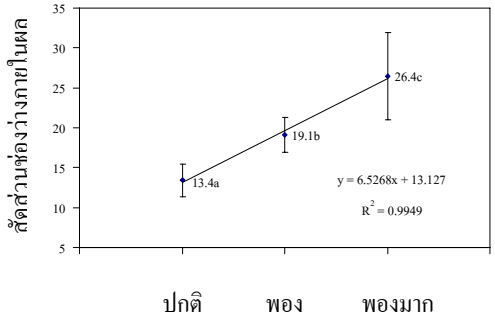
เมื่อพิจารณาความต้านทานแรงกดของผลส้มและระดับความพองดังภาพที่ 2 พบว่ามีความสัมพันธ์ในระดับสูงด้วยค่า $R^2 = 0.9987$ โดยค่าความต้านทานแรงกดของผลส้มจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับความพองเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับค่าความถ่วงจำเพาะของผล โดยในผลปกติ พอง และพองมาก มีค่าความต้านทานแรงกดเท่ากับ 0.99 ± 0.16 0.84 ± 0.13 และ 0.66 ± 0.14 kg ตามลำดับ การที่ค่าความต้านทานแรงกดของผลลดลง เนื่องจากเกิดช่องว่างระหว่างเปลือกและเนื้อ ทำให้แรงกระทำที่กดทับเปลือกลงมาไม่มีส่วนที่เป็นเนื้อมาต้านทานแรงกดไว้ ในขณะที่ผลส้มปกติจะประกอบด้วยเนื้อซึ่งมีลักษณะเป็นเปลือกและถุงน้ำที่มีความแต่งและไม่มีช่องว่างระหว่างเปลือกกับเนื้อ เมื่อมีแรงกระทำกดทับลงมาบนเปลือก ผลปกติจึงสามารถต้านทานแรงกดได้ดีกว่าเนื่องจากมีส่วนของเนื้อมาร่วมต้านทานแรงกดไว้ ผลส้มปกติจึงสามารถต้านทานแรงกดได้สูงกว่าส้มพอง ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Chen and Studer (1977) ที่พบว่าเมื่อระดับความพองของผลมะเขือเทศเพิ่มขึ้นจะทำให้ความแน่นเนื้อของผลมะเขือเทศลดลง



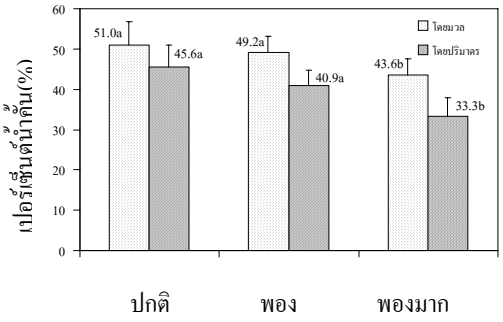
ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ของค่าความถ่วงจำเพาะ



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ของแรงต้านทานการกด



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนช่องว่างภายในผล



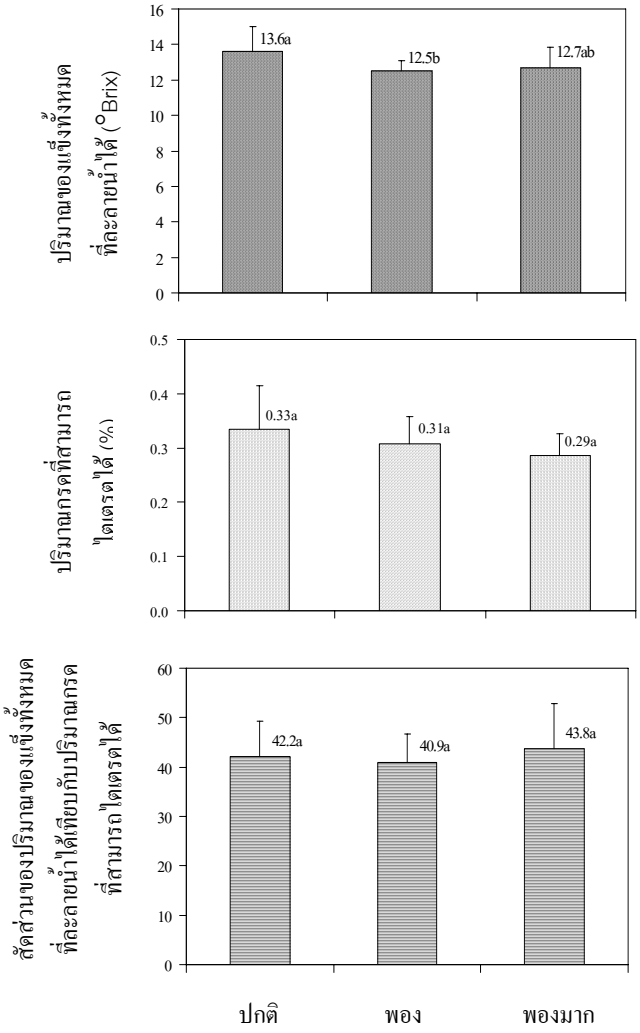
ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์น้ำคั้น

หากพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาตรของช่องว่างภายในผลส้มและระดับความพอง ดังภาพที่ 3 จะพบว่าช่องว่างภายในผลจะมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับความพองเพิ่มขึ้น โดยมีความสัมพันธ์ในระดับสูงด้วยค่า $R^2 = 0.9949$ โดยสัดส่วนช่องว่างภายในผลส้มปกติ พอง และพองมาก มีค่าเท่ากับ 13.4 ± 2.1 19.1 ± 2.2 และ $26.4 \pm 5.4\%$ ตามลำดับ โดยผลส้มพองเป็นอาการที่ส่วนของเปลือกแยกตัวออกจากส่วนเนื้อ เกิดเป็นช่องว่างระหว่างเปลือกกับผล ผลส้มที่ปกติจะมีช่องว่างภายในผลน้อย ในขณะที่ผลระดับพองมากจะมีช่องว่างที่เกิดจากการภายในผลโดยเปลือกแยกตัวออกจากส่วนเนื้อมาก ผลของความสัมพันธ์นี้สอดคล้องกับผลมะเขือเทศที่มีระดับความพองเพิ่มขึ้นส่งผลต่อความสามารถในการอัดตัวได้ของผลมะเขือเทศทั้งผลจะเพิ่มขึ้น โดยความสามารถอัดตัวได้นี้จะขึ้นอยู่กับปริมาตรช่องว่างภายในผลทั้งหมด (Chen and Studer, 1977)

ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำคั้นทั้งโดยมวลและโดยปริมาตร และระดับความพอง ดังภาพที่ 4 โดยปริมาณน้ำคั้นจะมีค่าลดลงเมื่อระดับความพองเพิ่มขึ้น ผลส้มทั้งระดับปกติและระดับพองมีปริมาณน้ำคั้นที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากผลส้มระดับพองมาก โดยในผลปกติ พอง และ พองมาก มีปริมาณน้ำคั้นโดยมวลคือ 51.0 ± 5.8 49.2 ± 4.1 และ $43.6 \pm 3.9\%$ ตามลำดับ และโดยปริมาตรเท่ากับ 45.6 ± 5.4 40.9 ± 3.9 และ $33.3 \pm 4.7\%$ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำคั้นโดยมวลของผลส้ม ซึ่งเป็นสัดส่วนของมวลน้ำคั้นที่ได้จากผลส้มเทียบกับมวลของส้มผลนั้นทั้งผล พบว่าเมื่อระดับความพองของผลส้มเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำคั้นโดยมวลจะลดลง ผลส้มที่มีระดับความพองมากจะมีปริมาณน้ำคั้นโดยมวลต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญจากผลส้มทั้งระดับปกติและระดับพอง จากการศึกษาของธงชัย และคณะ (2542) พบว่าผลส้มพองมีความหนาของเปลือกมากกว่าผลส้มปกติอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อความหนาของเปลือกเพิ่มขึ้นก็อาจเป็นเหตุให้มวลรวมของผลเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำคั้นโดยปริมาตร พบว่าผลส้มระดับพองมากมีปริมาตรของผลที่ประกอบด้วยปริมาตรของช่องว่างภายในผลที่มากกว่าผลส้มระดับปกติและระดับพอง ของผลส้มปกติ ทำให้ปริมาณน้ำคั้นโดยปริมาตรมีค่าต่ำกว่าทั้งผลส้มระดับปกติและระดับพอง

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำคั้นโดยปริมาตรซึ่งเป็นสัดส่วนของปริมาตรน้ำคั้นที่ได้จากผลส้มเทียบกับปริมาตรของส้มผลนั้นทั้งผล พบว่า เมื่อระดับความพองของผลส้มเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำคั้นโดยปริมาตรจะลดลง ผลส้มที่มีระดับความพองมากจะมีปริมาณน้ำคั้นโดยปริมาตรต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญจากผลส้มทั้งระดับปกติและระดับพอง เนื่องจากผลส้มระดับพองมากมีปริมาตรของผลที่ประกอบด้วยปริมาตรของช่องว่างภายในผล มากกว่าผลส้มระดับปกติและระดับพอง ทำให้ปริมาณน้ำคั้นโดยปริมาตรมีค่าต่ำกว่าทั้งผลส้มระดับปกติและระดับพอง การที่ปริมาณผลส้มพองมีปริมาตรช่องว่างภายในผลเพิ่มขึ้น ในขณะที่มวลของน้ำคั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นตาม เป็นสาเหตุของการไม่ได้มาตรฐานเชิงปริมาณและน้ำหนักในการบรรจุภัณฑ์ โดยผลส้มจะล้นกล่องแต่ยังไม่ได้น้ำหนักตามต้องการ

สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและระดับความพอง ดังรูปที่ 5 แสดงถึงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดจะลดลง โดยผลส้มระดับปกติมีค่าเท่ากับ13.6 ± 1.4 °Brix ในขณะที่ผลส้มระดับพองและพองมาก มีค่าเท่ากับ 12.5 ± 0.6 และ 12.7 ± 1.2 °Brix ตามลำดับ ซึ่งผลส้มระดับปกติมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากผลส้มระดับพอง ในขณะที่ผลส้มระดับพองมากกลับมีค่าไม่แตกต่างจากระดับปกติและระดับพอง เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณกรดที่ไตเตรตได้และระดับความพอง ดังรูปที่ 5 ได้แสดงค่าปริมาณกรดที่ไตเตรตเมื่อระดับความพองเพิ่มขึ้นโดยผลส้มระดับปกติ พอง และพองมาก มีค่าเท่ากับ 0.33 ± 0.08 0.31 ± 0.05 และ 0.29 ± 0.04% ตามลำดับ แต่ทั้งหมดนั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของสัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเทียบกับปริมาณกรดที่ไตเตรตได้และระดับความพอง ดังภาพที่ 5 พบว่า ผลส้มระดับปกติ พอง และ พองมาก มีค่าสัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเทียบกับปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ เท่ากับ 42.2 ± 7.1 40.9 ± 5.8 และ 43.8 ± 9.0 ตามลำดับ ซึ่งทั้งหมดนั้นต่างก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ของ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้, ปริมาณกรดที่สามารถไตเตรตได้ สัดส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เทียบกับปริมาณกรดที่ไตเตรตได้และระดับความพอง

สรุป

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของระดับความพองของผลส้มเขียวหวานกับคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่มีกับ ได้แสดงให้เห็นว่าค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความต้านทานแรงกดของผล และสัดส่วนช่องว่างภายในผลต่างมีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับระดับความพองด้วยค่า R^2 = 0.9944, 0.9987 และ 0.9949 ตามลำดับ โดยค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับความพองเพิ่มขึ้น ซึ่งผลส้มระดับปกติ พอง และพองมาก จะมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.905 ± 0.026 0.846 ± 0.027 และ 0.770 ± 0.042 ตามลำดับ ในทำนองเดียวกับค่าความต้านทานแรงกดของผลส้มจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับความพองเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับค่าความถ่วงจำเพาะของผล โดยในผลปกติ พอง และพองมาก มีค่าความต้านทานแรงกดเท่ากับ 0.99

± 0.16 0.84 ± 0.13 และ 0.66 ± 0.14 kg ตามลำดับ ส่วนปริมาตรของช่องว่างภายในผลส้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับความพองเพิ่มขึ้น โดยสัดส่วนช่องว่างภายในผลส้มปกติ พอง และพองมาก มีค่าเท่ากับ 13.4 ± 2.1 19.1 ±2.2 และ 26.4 ± 5.4% ตามลำดับ

สำหรับความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำคั้นทั้งโดยมวลและโดยปริมาตร กับระดับความพอง พบว่าทั้งสองค่าลดลงเมื่อระดับความพองเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำคั้นโดยมวลในผลปกติ พอง และพองมาก มีค่าเท่ากับ 51.0 ± 5.8 49.2 ± 4.1 และ 43.6 ± 3.9% ตามลำดับ ซึ่งปริมาณน้ำคั้นโดยมวลในผลระดับปกติและพองนั้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนปริมาณน้ำคั้นโดยมวลของผลส้มระดับพองมากมีความต่างอย่างมีนัยสำคัญจากทั้งผลระดับปกติและระดับพอง สำหรับปริมาณน้ำคั้นโดยปริมาตรในผลปกติ พอง และพองมาก มีค่าเท่ากับ 45.6 ± 5.4 40.9 ± 3.9 และ 33.3 ± 4.7% ตามลำดับ ปริมาณน้ำคั้นโดยปริมาตรในผลระดับปกติและพองนั้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนปริมาณน้ำคั้นโดยมวลของผลส้มระดับพองมากมีความต่างอย่างมีนัยสำคัญจากทั้งผลระดับปกติและระดับพอง ในทำนองเดียวกันกับปริมาณน้ำคั้นโดยมวล

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับระดับความพอง โดยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลส้มระดับปกติ พอง และพองมาก มีค่าเท่ากับ 13.6 ± 1.4 12.5 ± 0.6 และ 12.7 ± 1.2 °Brix ตามลำดับ ซึ่งผลส้มระดับปกติมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากผลส้มระดับพอง ในขณะที่ผลส้มระดับพองมากกลับมีค่าไม่แตกต่างจากระดับปกติและระดับพอง สำหรับปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ แม้จะมีค่าลดลงเมื่อระดับความพองเพิ่มขึ้น โดยผลส้มระดับปกติ พอง และพองมาก มีค่าเท่ากับ 0.33 ± 0.08 0.31 ± 0.05 และ 0.29 ± 0.04% ตามลำดับ แต่พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับระดับความพองที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณกรดที่ไตเตรตได้นั้นลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเทียบกับปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ ก็พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับระดับความพองที่เพิ่มขึ้น โดยผลส้มระดับปกติ พอง และพองมาก มีค่าสัดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเทียบกับปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ เท่ากับ 42.2 ± 7.1 40.9 ± 5.8 และ 43.8 ± 9.0 ตามลำดับ ซึ่งทั้งหมดต่างก็ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าความถ่วงจำเพาะมีศักยภาพในการพัฒนาเครื่องมือหรืออุปกรณ์เพื่อการคัดแยกผลส้มพองออกจากผลส้มปกติได้ โดยอาศัยเทคนิคการจม-ลอยของผลส้มในตัวกลางที่เป็นของเหลวที่ได้รับการปรับค่าความถ่วงจำเพาะให้เหมาะสมต่อการคัดแยก เนื่องจากเป็นหลักการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถคัดแยกผลส้มในปริมาณมากได้อย่างรวดเร็วต่อเนื่อง และทำได้โดยไม่ต้องทำลายผล

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการมอบทุนอุดหนุนการทำวิจัย และสวนส้มธนาธร อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ในการให้ความอนุเคราะห์ผลส้มเขียวหวานสำหรับการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2538. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 141-187.

ทองดี ณ บ้านดอน. 2534. สวนส้มธนาธร ขุมทรัพย์แห่งเมืองฝาง. เคหการเกษตร. 15(3): 43-48.

ธงชัย ยันตรศรี, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ จินดา ศรศรีวิชัย. 2542a. การคัดผลไม้เขตร้อนโดยใช้ความหนาแน่นของน้ำ. รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. หน้า 27 – 40.

ธงชัย ยันตรศรี, จินดา ศรศรีวิชัย, จำนงค์ อุทัยบุตร และ วิลาวัลย์ คำปวน. 2542b. การตรวจวัดคุณภาพของผลส้มและมะม่วงแบบไม่ทำลาย. รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอต่อสถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 21 – 28.

ธงชัย ยันตรศรี, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, จินดา ศรศรีวิชัย, ชูรัตน์ ธารารักษ์, ไพบูลย์ ลิ้มปิติพานิชย์ และ พรทิพ พูลย์สวัสดิ์. 2542c. การคัดแยกผลส้มฟ่ามแบบไม่ทำลาย. รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอต่อสถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 24 – 26.

ธงชัย ยันตรศรี, คนัย บุณยเกียรติ, จริญญา พันธุรักษา, วชิราพร เถินมงคล และ วิลาวัลย์ คำปวน. 2542d. เทคโนโลยีการตรวจสอบคุณภาพของผลไม้แบบไม่ทำลาย. รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอต่อศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. หน้า 30-35.

นิรนาม. 2540. องค์ประกอบทางอาหาร. กองโภชนาการ กรมอนามัย. 2 หน้า.

ประภาพร ฉันทานุมัติ. 2543. การประเมินความฟ่ามของส้มเขียวหวานพันธุ์ฟรีมองต์ด้วยคุณสมบัติทางไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

รวี เสรฐภักดี. 2542. สรีรวิทยาและอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาของส้ม. เอกสารประกอบการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การพัฒนาสวนส้มสู่ ค.ศ. 2000. หน้า 79.

วชิราพร เถินมงคล. 2543. การตรวจสอบอาการฟ่ามของส้มเขียวหวานโดยใช้วิธีการส่องผ่านของแสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

Ketsa, S. 1990. Effect of fruit size on weight loss and shelf life of tangerines. J. Hort. Sci. 65(4):485-488.

Kader, A.A. 1989. Quality factors: definition and evaluation for fresh horticultural crops. *In* Kader, A. A. (ed.). Postharvest Technology of Horticultural Crops. Berkeley UC. pp. 118-121.

Bryan, W.L., J. Jenkins and J.M. Miller. 1980. Machanically assisted grading of oranges containing excessive decayed fruit. TRANSACTIONS of the ASAE 23(1): 247-250.

Kato, K. 1997. Electrical density sorting and estimation of soluble solids content of watermalon. J. agric. Engng. Res. 67: 161-170.

Yantarasri, T. and J. Sornsrivichai. 1998. Internal quality evaluation of tangerines in northern Thailand. Acta Hortic. 464: 494

Chen, P. and H.E. Studer. 1977. Physical properties related to maturity and puffiness of fresh market tomatoes. TRANSACTIONS of the ASAE. 20(2): 575-578.

Mohsenin, N.N. 1980. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publisher. New York. pp. 66 – 67.