บทที่ 4
ผล และวิจารณ์ผลการทดลอง

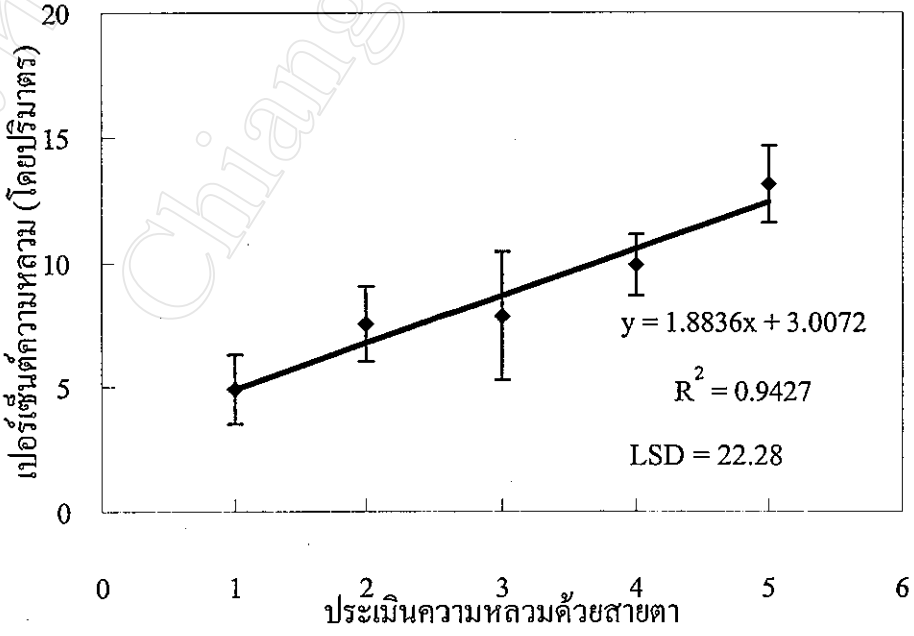
ตอนที่ 1. การประเมินคุณภาพของผลส้มโดยวิธีการทำลาย

1.1 การประเมินเปอร์เซ็นต์ความฟ่าม

การประเมินความฟ่ามมาตรฐานแบบทำลายผล โดยการผ่าผลส้มตามขวางเป็น 4 ส่วน และประเมินความฟ่ามในแต่ละส่วนแล้วนำมารวมกันเป็นเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามของทั้งผล พบว่าวิธีการนี้สามารถประเมินความฟ่ามได้สะดวกรวดเร็วและมีความถูกต้องแม่นยำสามารถประเมินได้ทั่วทั้งผล ซึ่งโดยส่วนมากความฟ่ามมักปรากฏบริเวณใกล้ขั้วผล

1.2 การประเมินเปอร์เซ็นต์ความหลวม

การหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการหาความหลวมด้วยสายตากับเปอร์เซ็นต์ความหลวมจากการหาปริมาตรจากส้มที่ใช้ในการทดลองตอนที่ 1 พบว่ามีความสัมพันธ์สูงโดยมีค่า R^2= 0.9427 (รูปที่9) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการประเมินความหลวมด้วยสายตาโดยผู้ชำนาญมีความแม่นยำใกล้เคียงกับการหาเปอร์เซ็นต์ความหลวมโดยวิธีการหาปริมาตร เนื่องจากวิธีการหาปริมาตรต้องวัดปริมาตรของผลในแต่ละส่วนคือส่วนของเปลือกและเนื้อผล ทำให้ไม่สะดวกในการประเมินผลเป็นจำนวนมาก



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความหลวมของผลส้มจากการหาปริมาตรและการประเมินความหลวมด้วยสายตา

1.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

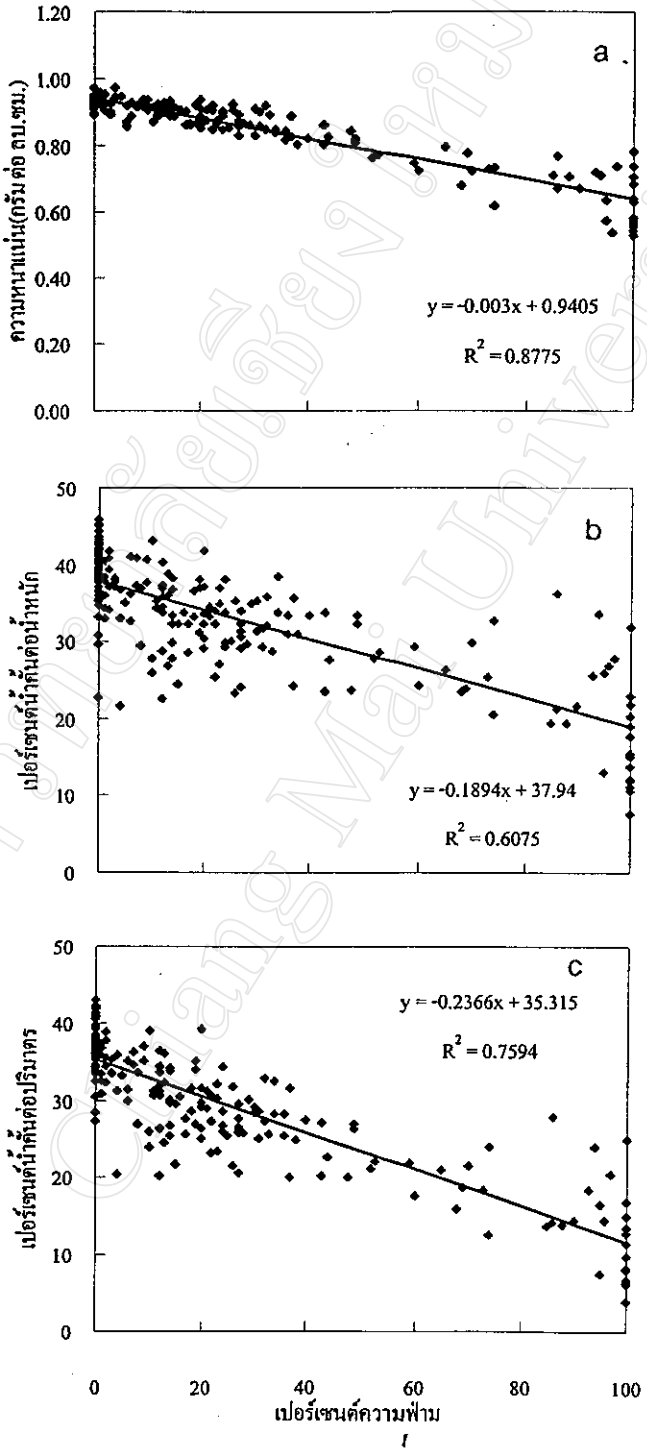
การประเมินคุณสมบัติทางกายภาพของผลส้มที่ความฟ่ามระดับต่างๆในชุดที่ไม่เก็บรักษา พบว่าความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์น้ำคั้นต่อน้ำหนัก และเปอร์เซ็นต์น้ำคั้นต่อปริมาตร มีค่าลดลงขณะที่เปอร์เซ็นต์ความฟ่ามเพิ่มขึ้น โดยมี R^2เท่ากับ 0.8775, 0.6075 และ 0.7594 ตามลำดับ (รูปที่ 10)

เปอร์เซ็นต์น้ำคั้นที่ลดลงแสดงว่าเนื้อผลมีปริมาณของน้ำลดลง มีผลทำให้เกิดอาการฟ่ามมากขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ รวี (2540) ซึ่งได้อธิบายว่าอาการฟ่ามของผลส้มคือ อาการที่ถุงของเนื้อผลแห้งไม่มีน้ำ ซึ่งอาจเป็นเพียงบางส่วน หรือในผลที่เป็นมากอาจลามมาถึงครึ่งผลหรืออาจเกือบหมดผล นอกจากนี้ความหนาแน่นที่ลดลงเมื่อความฟ่ามเพิ่มมากขึ้นก็ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำคั้นที่ลดลงด้วย วิธีการหาความหนาแน่นเป็นวิธีการประเมินแบบไม่ทำลายผลและให้ความสัมพันธ์กับเปอร์เซนต์ความฟ่ามมากกว่าวิธีการหาเปอร์เซนต์น้ำคั้นของเนื้อผลซึ่งเป็นวิธีประเมินความฟ่ามแบบทำลายผล ดังนั้นในการประเมินความฟ่ามผลส้มโดยใช้วิธีการหาความหนาแน่นก็เป็นวิธีหนึ่งที่จะสามารถใช้ประเมินคุณภาพความฟ่ามแบบไม่ทำลายผล ในขณะที่เปอร์เซนต์น้ำคั้นซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ประเมินความฟ่ามแบบทำลายผล โดยการหาเปอร์เซ็นต์น้ำคั้นต่อปริมาตรให้ความสัมพันธ์สูงมากกว่าการหาเปอร์เซนต์น้ำคั้นต่อน้ำหนักจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง หากไม่ต้องการความแม่นยำสูงและไม่ประกันคุณภาพทุกผล

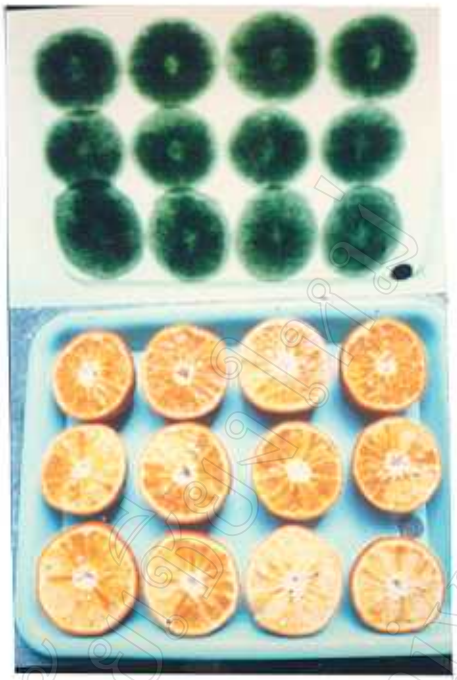
ตอนที่ 2 การตรวจคุณภาพของผลส้มแบบไม่ทำลาย

2.1 การใช้เทคนิค Linescan X- ray

การใช้เทคนิค Linescan X-ray ตรวจสอบภายในผลส้มฟ่ามแบบไม่ทำลายเปรียบเทียบกับผลที่ผ่าหลังการตรวจสอบ (ภาพที่ 11) สามารถบ่งชี้ตำแหน่งเนื้อผลส้มส่วนที่ฟ่ามหรือช้ำปรากฏเป็นสีขาวในภาพเอกซเรย์ได้ชัดเจน โดยภาพบริเวณที่ปรากฏเป็นสีขาวแสดงถึงส่วนที่มีอาการฟ่ามในผลและบริเวณที่ปรากฏเป็นส่วนสีดำ คือเนื้อปกติ จากการสังเกตในเนื้อผลที่เริ่มมีการพัฒนาจากเนื้อปกติไปเป็นเนื้อฟ่ามปรากฏว่าเนื้อผลเริ่มมีช่องอากาศภายใน แต่ในส่วนถุงเนื้อผลยังมีน้ำอยู่และจากการชิมยังมีรสชาติปกติ (รูปที่ 12) แต่เมื่อตรวจสอบบริเวณเนื้อผลส่วนนี้เปรียบเทียบกับภาพจาก Linescan X-ray จะให้ภาพที่ปรากฏเป็นบริเวณสีดำเหมือนกับเนื้อปกติซึ่งเป็นเหตุผลสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้การประเมินด้วย Linescan X-ray มีความผิดพลาดเกิดขึ้น



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามของผลกับความหนาแน่นของผล(a) เปอร์เซ็นต์น้ำคั้นต่อน้ำหนัก(b) และเปอร์เซ็นต์น้ำคั้นต่อปริมาตร(c)



รูปที่ 11 ภาพถ่ายเอกซเรย์ที่ได้จากเครื่อง Linescan X-ray ของผลส้มปกติเปรียบเทียบกับผลฟ่ามโดยเนื้อฟ่ามจะดูขาวกว่าเนื้อปกติทั้งที่ปรากฏบนจอภาพ(บน)และเมื่อผ่าดู (ล่าง)

รูปที่ 12 ลักษณะเนื้อผลส้มที่แห้งภายหลังจากการเก็บรักษา โดยถุงเนื้อส้มเริ่มมีช่องอากาศภายในแต่ยังไม่แห้งสนิท แต่ยังมีรสชาติปกติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

การใช้เครื่อง Linescan X-ray ตรวจสอบความฟ่ามของผลส้มจากการวางผลส้ม 2 แบบ พบว่าการวางผลส้มเพื่อเอกซเรย์จากด้านขั้วผลมีความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามที่ประเมินได้จากจอของเครื่อง Linescan X-ray กับเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามมาตรฐานสูงกว่าการวางผลส้มเพื่อเอกซเรย์จากด้านข้างผลด้วย $R^2 = 0.8588$ และ 0.5357 ตามลำดับ (รูปที่ 13 และ 14) โดยความสัมพันธ์ที่ได้จากการถ่ายภาพเอกซเรย์ทั้ง 2 ด้านปรากฏในสมการที่ 7 และ 8 การที่ภาพถ่ายเอกซเรย์จากด้านขั้วผลมีความสัมพันธ์กับอาการฟ่ามดีกว่าด้านข้างผลอาจเนื่องจากการพัฒนาของส้มฟ่ามจะพัฒนาจากด้านขั้วผลลงไปด้านล่างผลตามลำดับจึงทำให้การประเมินความสัมพันธ์ของภาพด้านขั้วผลให้ความแม่นยำกว่าด้านข้างผล

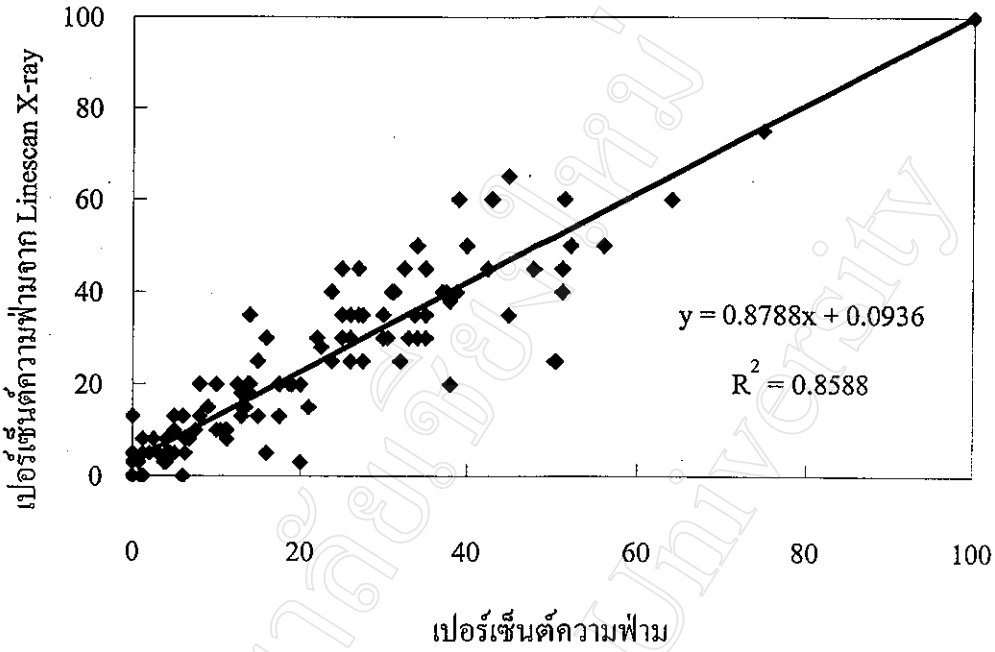
ถ่ายด้านบน $Y = 0.8788X + 0.0936$ $R^2 = 0.8588$ (7)

ถ่ายด้านข้าง $Y = 0.8203X + 3.0626$ $R^2 = 0.5357$ (8)

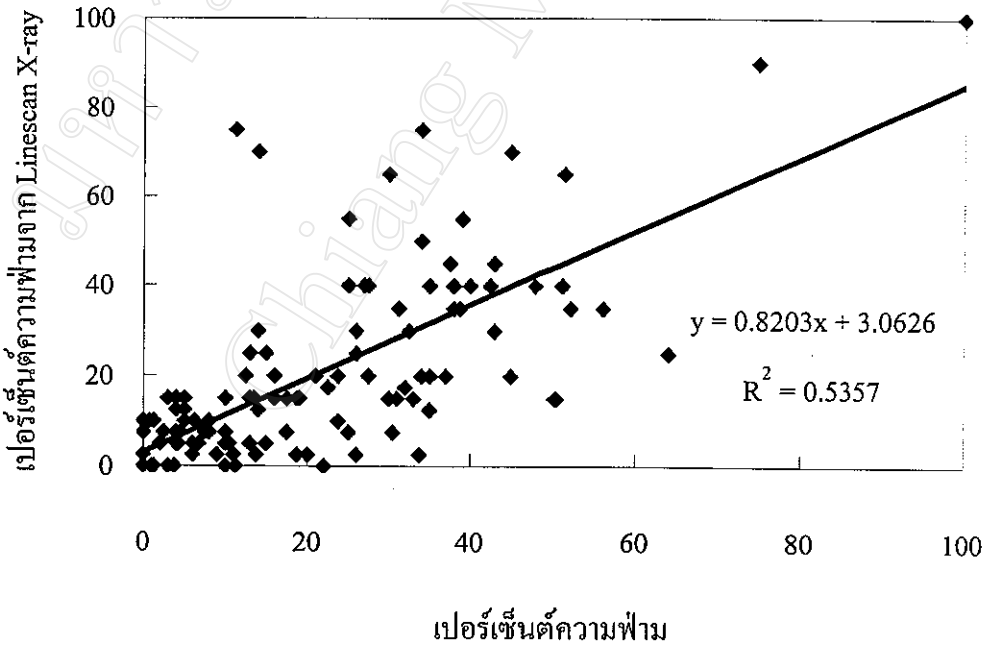
เมื่อ Y คือ เปอร์เซ็นต์ความฟ่ามจาก Linescan X-ray

X คือ เปอร์เซ็นต์ความฟ่ามจากการผ่าประเมินโดยวิธีมาตรฐาน

เมื่อตรวจสอบความเร็วในการประเมินภาพของเครื่อง Linescan X-ray พบว่าสามารถตรวจวัดและสร้างภาพด้วยความเร็ว 6 ผลต่อวินาที จากงานวิจัยที่ผ่านมาของห้องวิจัยของ USDA ซึ่งได้พัฒนาเครื่อง Linescan X-ray ที่ใช้โดยเฉพาะกับผลไม้ขึ้นมา ซึ่งให้รายละเอียดของภาพสูงจนสามารถเห็นการทำลายของแมลงภายในผลมะม่วงได้ (Reyes *et al.*, 1997) จึงเป็นที่คาดว่าเทคนิค Linescan X-ray เมื่อมีการพัฒนาและปรับปรุงจะสามารถใช้คัดคุณภาพภายในผลไม้ได้อย่างรวดเร็วและ แม่นยำเพื่อใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความฟ่ามประเมินจาก Linescan X-ray โดยการฉายรังสีจากด้านขั้วผลและความฟ่ามจริงโดยวิธีมาตรฐาน

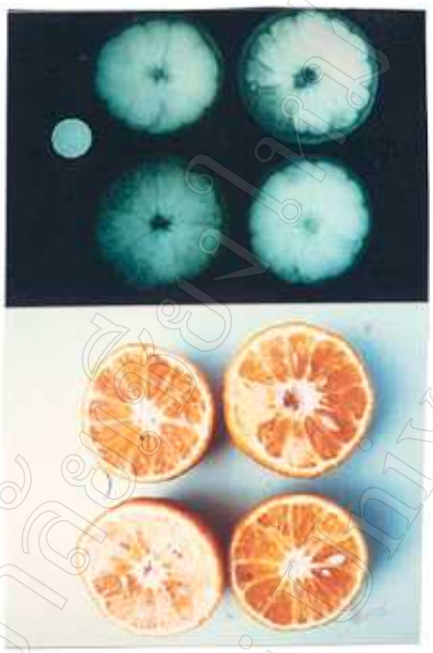


รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความฟ่ามประเมินจาก Linescan X-ray โดยการฉายรังสีจากด้านข้าง และความฟ่ามจริงโดยวิธีมาตรฐาน

2.2 การใช้เทคนิค Low energy X-ray

ในขั้นต้นได้ศึกษาเทคนิคการประเมินความฟ่ามมาตรฐานแบบทำลายผล เนื่องจากพบว่าอาการฟ่ามสามารถเกิดได้ทั่วผล แต่มักจะพบบ่อยที่บริเวณใกล้ขั้วผล โดยผ่าผลตามขวางเป็น 4 ส่วน ที่ความหนาเท่ากันและประเมินสัดส่วนพื้นที่ที่ฟ่าม (มีสีขาวกว่าเนื้อปกติ) ในเนื้อของแต่ละส่วนด้วยสายตา นำสัดส่วนที่ฟ่ามในแต่ละส่วนมารวมกันแล้วคิดเป็นเปอร์เซนต์ฟ่ามของส่วนของเนื้อทั้งผล วิธีนี้ทำได้รวดเร็วและสามารถประเมินความฟ่ามได้ทั่วทั้งผล

การทดสอบการตรวจความฟ่ามโดยใช้เครื่อง Low energy X-ray ของบริษัทคงศักดิ์เอกซเรย์ จากการทดลองขั้นต้นพบว่า เครื่องดังกล่าวสามารถปรับลดพลังงานเอกซเรย์ที่ใช้ได้ตั้งแต่ 0-25 kV และ 0-5 mA ที่ exposure time 20-60 วินาที ภาพที่ได้สามารถแสดงรายละเอียดภายในของผลส้มได้ดี เมื่อทดลองเครื่อง Low energy X-ray กับผลส้มที่มีความฟ่ามระดับต่างๆ พบว่าภาพที่ปรากฏจากฟิล์มเอกซเรย์ได้ภาพที่คมชัดที่สุดที่ระดับพลังงาน 20 kV, 4 mA นาน 40 วินาที การประเมินความฟ่ามจากฟิล์มเอกซเรย์โดยนำฟิล์มมาประเมินพื้นที่รอยดำภายในเนื้อผล คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับพื้นที่ของเนื้อส้มทั้งหมด (รูปที่ 15) ชัชวาล (2528) รายงานว่าอากาศมีความหนาแน่นต่ำไม่สามารถดูดกลืนเอกซเรย์ได้ ทำให้ภาพในบริเวณที่มีอากาศนั้นปรากฏเป็นสีดำ เนื่องจากเนื้อผลส่วนปกติเป็นส่วนที่มีความแน่นทึบมากจะดูดกลืนเอกซเรย์ได้ดีกว่าเนื้อผลส่วนฟ่ามที่มีความแน่นทึบน้อยเพราะมีปริมาณน้ำอยู่น้อย และมีปริมาณอากาศอยู่มาก เอกซเรย์ที่ผ่านออกไปยังฟิล์มมีความเข้มสูง และในทางตรงกันข้ามบริเวณส่วนเนื้อผลปกติมีการดูดกลืนเอกซเรย์ได้มาก เอกซเรย์ที่ผ่านไปยังฟิล์มจะมีความเข้มต่ำ จึงทำให้มองภาพจากฟิล์มเห็นว่าในส่วนปกติจะเห็นภาพบริเวณนั้นเป็นสีขาว ในส่วนฟ่ามซึ่งจะดูดกลืนน้อยกว่าจะเห็นภาพจากฟิล์มเป็นสีดำ ดังนั้นในผลส้มมีทั้งส่วนเนื้อปกติและฟ่าม ซึ่งมีความแน่นทึบต่างกัน เอกซเรย์จึงถูกดูดกลืนไว้มากบ้างน้อยบ้าง ทำให้เกิดภาพมีความดำแตกต่างกัน ความดำที่แตกต่างกันนี้ทำให้สามารถมองเห็นเป็นภาพ และเห็นรายละเอียดของภาพได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thomas *et al.* (1993) ซึ่งได้ใช้เอกซเรย์พลังงานต่ำตรวจสอบอาการเนื้อหยาบหรือมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ (spongy tissue) ในมะม่วงพันธุ์ Alphonso ซึ่งให้ภาพบริเวณที่ปรากฏอาการเป็นสีดำบนแผ่นฟิล์มและสัมพันธ์กับการเกิดโพรงอากาศภายในเนื้อ Sonego *et al.* (1995) ได้ศึกษา X-ray CT ตรวจสอบผล nectarines ซึ่งแสดงอาการ woolly breakdown ภายในเนื้อซึ่งทำให้บริเวณดังกล่าวมีลักษณะแห้งและมีโพรงอากาศแทรกภายในเนื้อจะปรากฏภาพเป็นพื้นที่สีดำ ซึ่งแสดงว่าก๊าซภายในไม่สามารถดูดกลืนเอกซเรย์ได้ นอกจากนั้นเทคนิคที่สูงขึ้น เช่น X-ray CT สามารถตรวจสอบการเกิดลักษณะผิดปกติภายในของส้มผิวทอง ฟรีมองต์และเมอคอร์ด ซึ่งได้แก่ การเกิดเนื้อฟ่ามเป็นไต ฟ่ามแห้ง หลวม และแดดเผา (Yantarasri and Sornsrivichai, 1998)

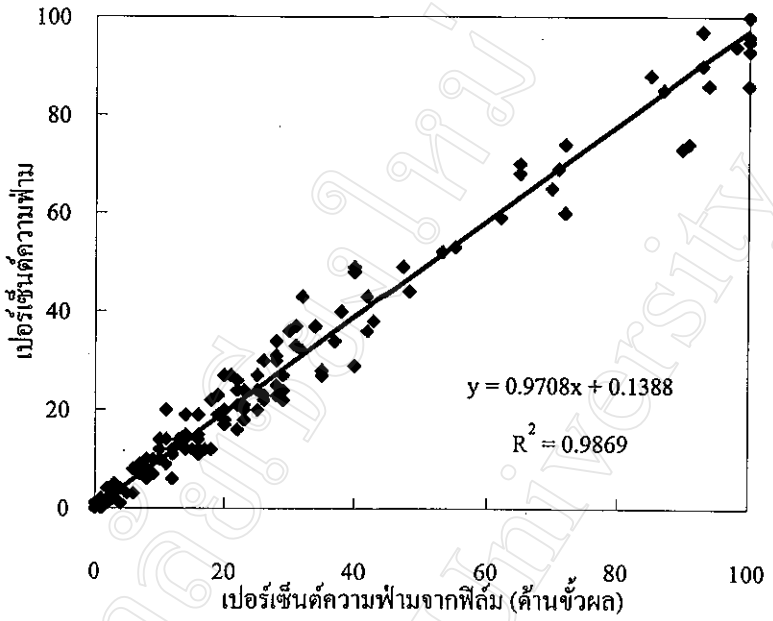


รูปที่ 15 ภาพถ่ายเอกซเรย์ที่ได้จากเครื่องเอกซเรย์พลังงานต่ำ (บน) เปรียบเทียบกับผลที่ผ่า (ล่าง) สามารถเห็นเนื้อฟ่ามแห้ง (ผลมุมบนขวาและล่างซ้าย)

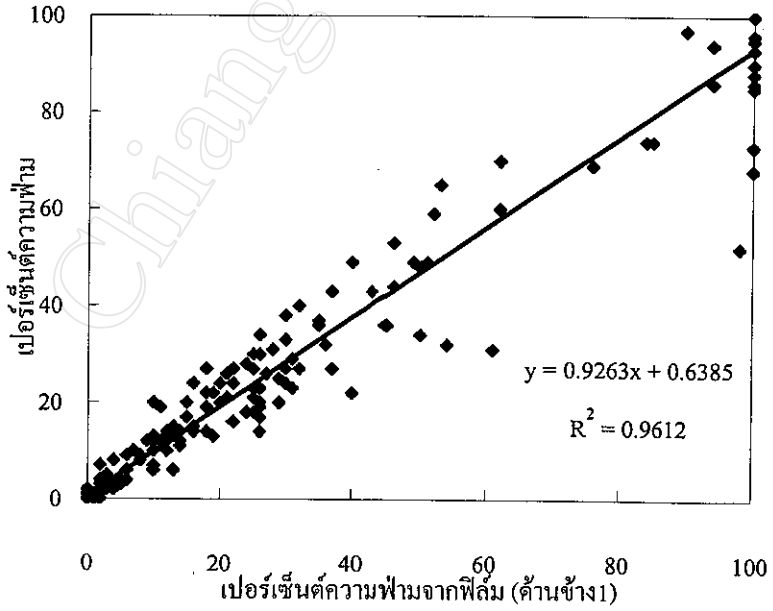
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

2.2.1.การหาทิศทางที่เหมาะสมของเอกซเรย์เพื่อใช้ตรวจสอบผลส้มโดยใช้ Low energy X-ray

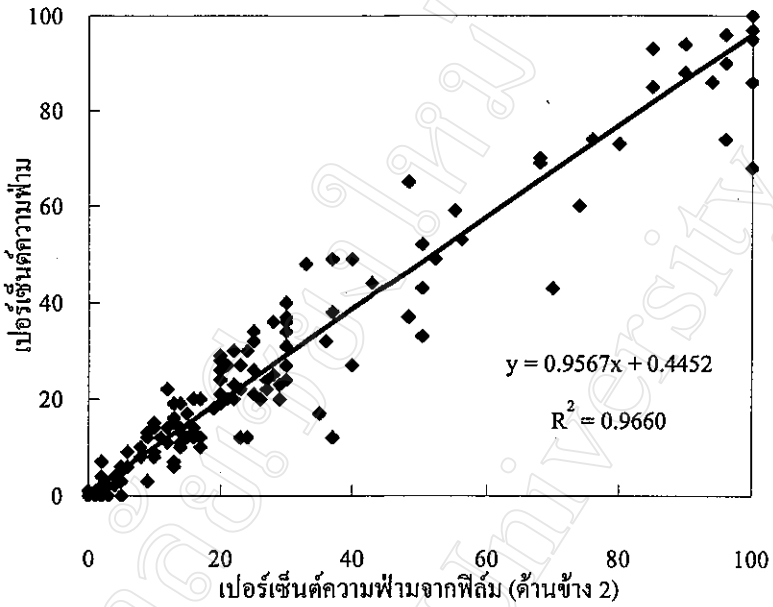
ผลการทดสอบนำข้อมูลการถ่ายเอกซเรย์แต่ละด้านไปวิเคราะห์โดยใช้สมการการถดถอยเชิงเส้น (simple linear regression analysis) และหาความสัมพันธ์แบบ multiple regression การตรวจสอบความฟ่ามของผลส้มทำโดยใช้เครื่อง Low energy X-ray สำหรับผลส้มที่ไม่เก็บรักษาโดยวางผลในทิศทางเพื่อถ่ายเอกซเรย์แตกต่างกัน 3 ตำแหน่งได้แก่ ตำแหน่งที่ 1 ด้านขั้วผล (X1) ตำแหน่งที่ 2 ด้านข้าง (X2) และตำแหน่งที่ 3 ด้านข้างตั้งฉากกับตำแหน่งที่ 2 (X3) หลังจากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามจากการประเมินฟิล์มเอกซเรย์ด้านที่ 1, 2 และ 3 กับเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามแบบมาตรฐานมีค่า R^2 = 0.9869, 0.9612 และ 0.9660 ตามลำดับ (รูปที่ 16, 17 และ 18 ตามลำดับ) นอกจากนั้นยังได้ทดลองนำผลของการวางผลส้มทั้ง 3 ด้าน มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS วิเคราะห์ข้อมูลแบบ multiple regression เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของการวางผลในการถ่ายภาพเอกซเรย์จากการวิเคราะห์ ผลของการถ่ายภาพเอกซเรย์แต่ละด้านการวางผลส้มเพื่อถ่ายภาพเอกซเรย์ด้านขั้วผล (สมการที่ 9) พบว่าค่า R^2 สูงมากกว่าด้านข้างทั้ง 2 ด้าน (สมการที่ 10 และ 11) พร้อมกันเมื่อได้ศึกษาผลของทิศทางการถ่ายเอกซเรย์จากความสัมพันธ์ของการวางทิศทางผลทั้ง3 ด้าน (สมการที่ 12) จะได้ค่า R^2 สูงสุดคือ 0.9886 ส่วนผลของการวาง 2 ด้าน ให้ความสัมพันธ์ใกล้เคียงกันโดยมี R^2 = 0.9877, 0.9881 และ 0.9763 จากอิทธิพลร่วมของการวางผลด้านขั้วผลกับด้านข้างที่ 1, ด้านขั้วผลกับด้านข้างที่ 2 และด้านข้างที่ 1 กับด้านข้างที่ 2 ตามลำดับ (สมการที่ 13, 14 และ 15) เมื่อพิจารณาค่า R^2 ของการถ่ายภาพเอกซเรย์จากด้านขั้วผลเพียงด้านเดียวพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับอิทธิพลร่วมของการวาง 2 และ 3 ด้าน ดังนั้นในการหาความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามฟิล์มกับเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามวิธีมาตรฐาน สามารถใช้การถ่ายเอกซเรย์ในด้านขั้วผลเพียงด้านเดียวก็เพียงพอในทางปฏิบัติ



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามแบบมาตรฐานและเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามที่ประเมินจากฟิล์ม (ด้านขั้วผล)



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามแบบมาตรฐานและเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามที่ประเมินจากฟิล์ม (ด้านข้าง 1)



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความฟ้ามแบบมาตรฐานและเปอร์เซ็นต์ความฟ้ามประเมินจากฟิล์ม (ด้านข้าง2)

การทดสอบนำข้อมูลการถ่ายเอกซเรย์แต่ละด้านไปวิเคราะห์โดยใช้สมการการถดถอยเชิงเส้น (simple linear regression analysis) และหาความสัมพันธ์แบบ multiple regression

$$Y = 0.9708X_1 + 0.1388 \qquad R^2 = 0.9869 \qquad (9)$$

$$Y = 0.9263X_2 + 0.6385 \qquad R^2 = 0.9612 \qquad (10)$$

$$Y = 0.9567X_3 + 0.4452 \qquad R^2 = 0.9660 \qquad (11)$$

$$Y = 0.028841 + 0.701964X_1 + 0.110002X_2 + 0.159419X_3 \qquad R^2 = 0.9886 \qquad (12)$$

$$Y = 0.083954 + 0.816583X_1 + 0.152018X_2 \qquad R^2 = 0.9877 \qquad (13)$$

$$Y = 0.053697 + 0.780334X_1 + 0.193102X_3 \qquad R^2 = 0.9881 \qquad (14)$$

$$Y = 0.196884 + 0.425687X_2 + 0.529557X_3 \qquad R^2 = 0.9763 \qquad (15)$$

โดยที่ Y = เปอร์เซ็นต์ความฟ่าม

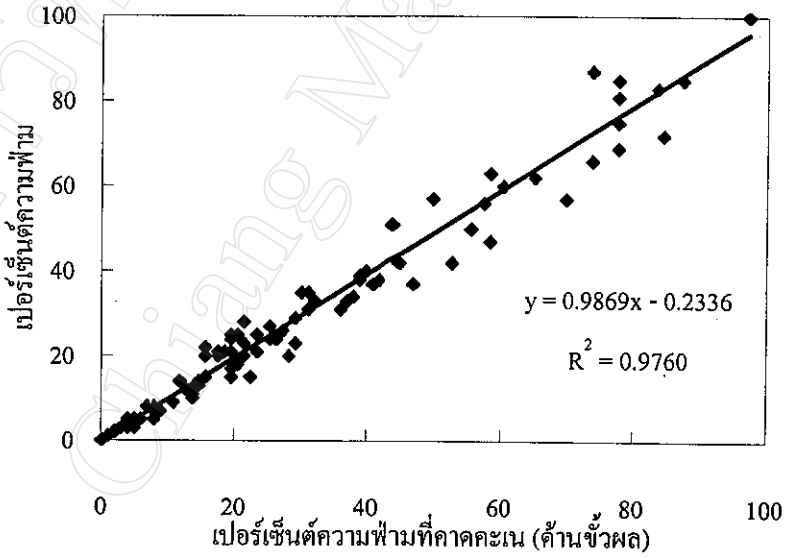
X_1 = เปอร์เซ็นต์ความฟ่ามจากฟิล์มด้านบนขั้วผล

X_2 = เปอร์เซ็นต์ความฟ่ามจากฟิล์มด้านข้างที่1

X_3= เปอร์เซ็นต์ความฟ่ามจากฟิล์มด้านข้างที่2

R^2= ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination)

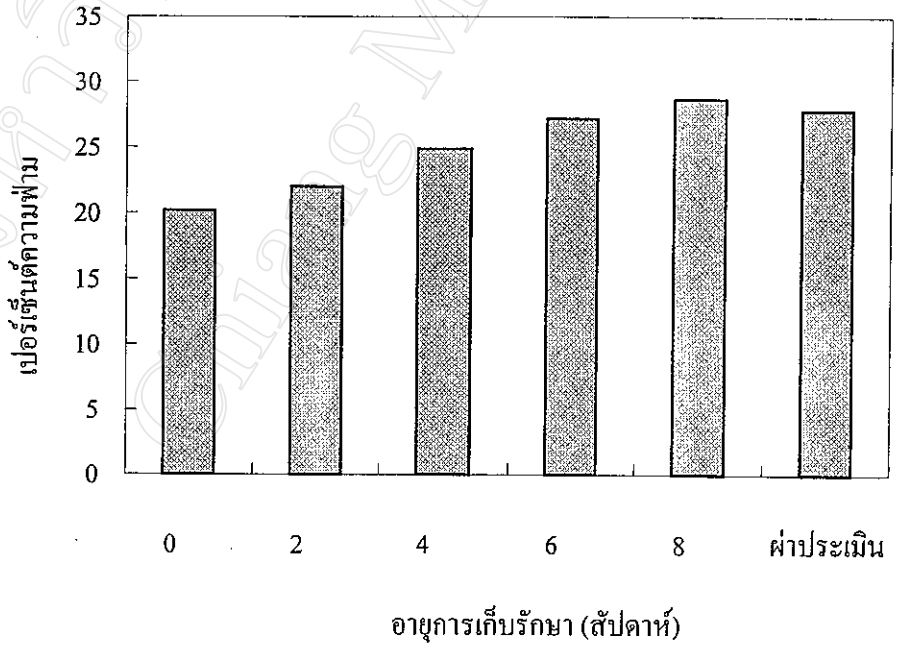
ภายหลังที่ได้ความสัมพันธ์ที่แน่นอนจึงได้นำไปสร้างตัวแบบ (model) เพื่อนำไปคาดคะเนผลส้มกลุ่มอื่นจำนวน 100 ผล โดยถ่ายภาพเอกซเรย์ด้านขั้วผลและประเมินความฟ่ามจากฟิล์มแล้วนำไปพยากรณ์ด้วยสมการที่ 9 พบว่ามีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามจริงโดยมี R^2 = 0.9760 (รูปที่ 19)



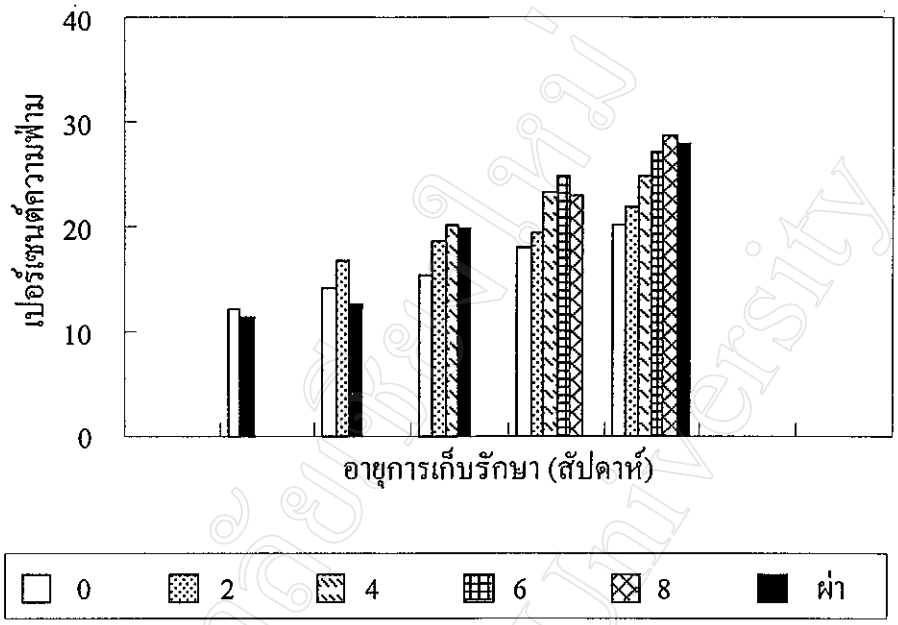
รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามแบบมาตรฐานและเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามที่ประเมินจากฟิล์มที่ได้จากการคาดคะเนโดยสมการที่ 9

2.2.2 การประเมินเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามของผลส้มภายหลังจากการเก็บรักษาด้วย Low energy X-ray

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเก็บรักษากับการพัฒนาความฟ่ามโดยเทคนิคเอกซเรย์ (รูปที่ 20) พบว่าเมื่อเก็บรักษาผลไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลมีอาการฟ่ามเพิ่มขึ้นทุกสัปดาห์ โดยความฟ่ามมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นประมาณ 10.5 เปอร์เซ็นต์ ทุก 2 สัปดาห์ เมื่อผ่าผลยืนยันและประเมินความฟ่ามแบบมาตรฐาน เมื่อสิ้นสัปดาห์ที่ 8 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามจากการผ่าใกล้เคียงกับการติดตามอาการฟ่ามที่เพิ่มขึ้นโดยใช้เทคนิคเอกซเรย์ เมื่อตรวจสอบเนื้อที่ฟ่ามพบว่าเกิดการแห้งบางส่วนภายในถุงของเนื้อเยื่อผล (juice sac) ที่อยู่บริเวณใกล้เปลือกคล้ายกับกำลังพัฒนาไปเป็นอาการฟ่ามแห้ง ซึ่งต่อมาแต่ละถุงนี้จะแห้งสนิท ผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับข้อเท็จจริงของผู้ประกอบการบางรายที่รายงานว่าการพยายามเก็บส้มไว้เพื่อดึงราคา ปรากฏว่าเกิดปัญหาผลส้มฟ่ามอย่างมากทำให้เกิดความเสียหายอย่างสูง สำหรับผลส้มที่เก็บรักษา 5 กลุ่มเมื่อนำมาตรวจสอบความฟ่ามโดยเครื่อง Low energy X-ray พบว่าในแต่ละกลุ่มมีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน (รูปที่ 21)



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามและอายุการเก็บรักษาผลส้ม



รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างความฟามและอายุการเก็บรักษาผลส้ม 5 กลุ่ม กลุ่มละ 40 ผล

จากการทดลองที่ได้สามารถแบ่งลักษณะเนื้อผลส้มที่พบเป็น 4 ลักษณะคือ

ลักษณะที่ 1 เนื้อปกติ (รูปที่ 22) ถุงของเนื้อผลมีสีส้ม ลักษณะเต่งไม่ยุบตัว มีปริมาณน้ำและสารประกอบทางเคมีอยู่ภายใน

ลักษณะที่ 2 เนื้อฟ่ามแห้ง (รูปที่ 23) ถุงของเนื้อผลมีสีขาวขุ่นและแห้งไม่มีน้ำภายในผนังของถุงของเนื้อผลยุบตัว มีอากาศอยู่ภายใน

ลักษณะที่ 3 เนื้อฟ่ามไต (รูปที่ 24) ถุงของเนื้อผลมีสีขาว เต่งเหมือนปกติแต่เมื่อกดดูจะแข็งเป็นไต ผนังของถุงของเนื้อผลที่เกิดอาการจะหนากว่าปกติ เนื่องจากของเหลวภายในมีการรวมตัวกันเป็นผลึก หรืออาจมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นแข็งในกรณีที่มีอาการมาก

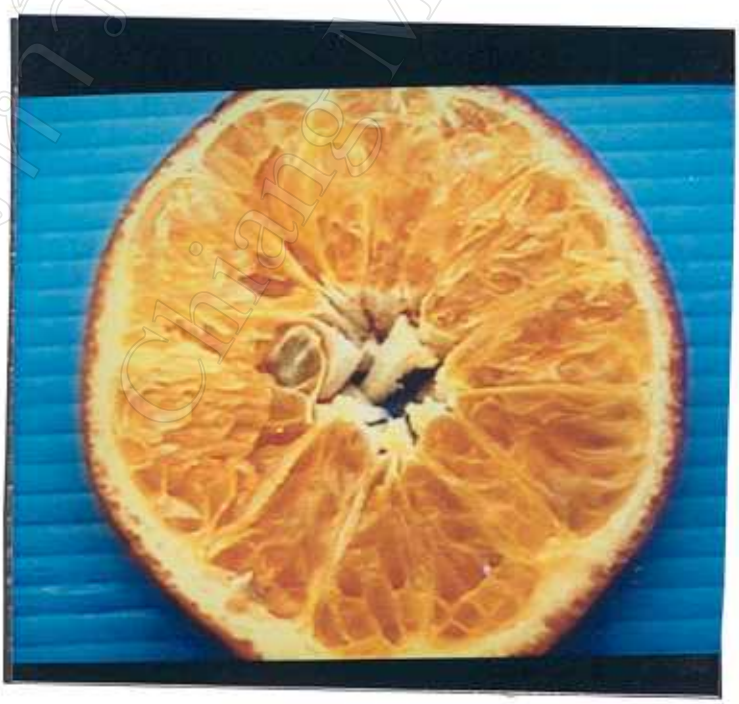
ลักษณะที่ 4 เนื้อฟ่ามแห้งจากการเก็บรักษา (รูปที่ 25) ถุงของเนื้อผล เริ่มมีช่องอากาศภายในแต่ยังไม่แห้งสนิทเหมือนกับเนื้อฟ่ามแห้ง และยังมีรสชาติปกติ

รูปที่ 22 ลักษณะผลส้มเนื้อปกติ

รูปที่ 23 ลักษณะผลส้มเนื้อฟ่ามแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

รูปที่ 24 ลักษณะผลส้มเนื้อฟ่ามไต



รูปที่ 25 ลักษณะผลส้มเนื้อฟ่ามแห้งภายหลังจากการเก็บรักษา

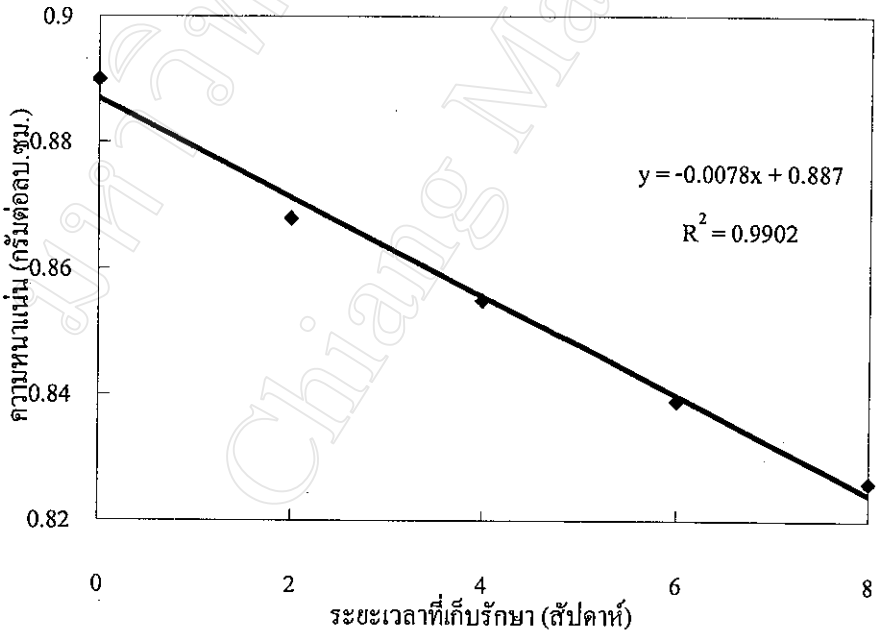
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

อาการฟ่ามแห้งจากการเก็บรักษานั้น เนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำหนักหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลานานโดยเฉพาะการเก็บรักษาผลส้มไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะลดอัตราการหายใจของผล ลดการสูญเสียน้ำ และลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย (Davies and Albrigo, 1997) การเก็บรักษาผลส้มไว้เป็นเวลานานจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก โดยรายงานการวิจัยของ Pekmezci *et al.* (1995) แสดงว่าผลส้มพันธุ์วาเลนเซีย ที่เก็บรักษาเป็นเวลานาน ส้มจะมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นปริมาณน้ำคั้นลดลงทุกเดือน รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ เช่น ปริมาณกรด ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และวิตามินซี มีค่าลดลง และเกิดการเน่าเสียเพิ่มมากขึ้น

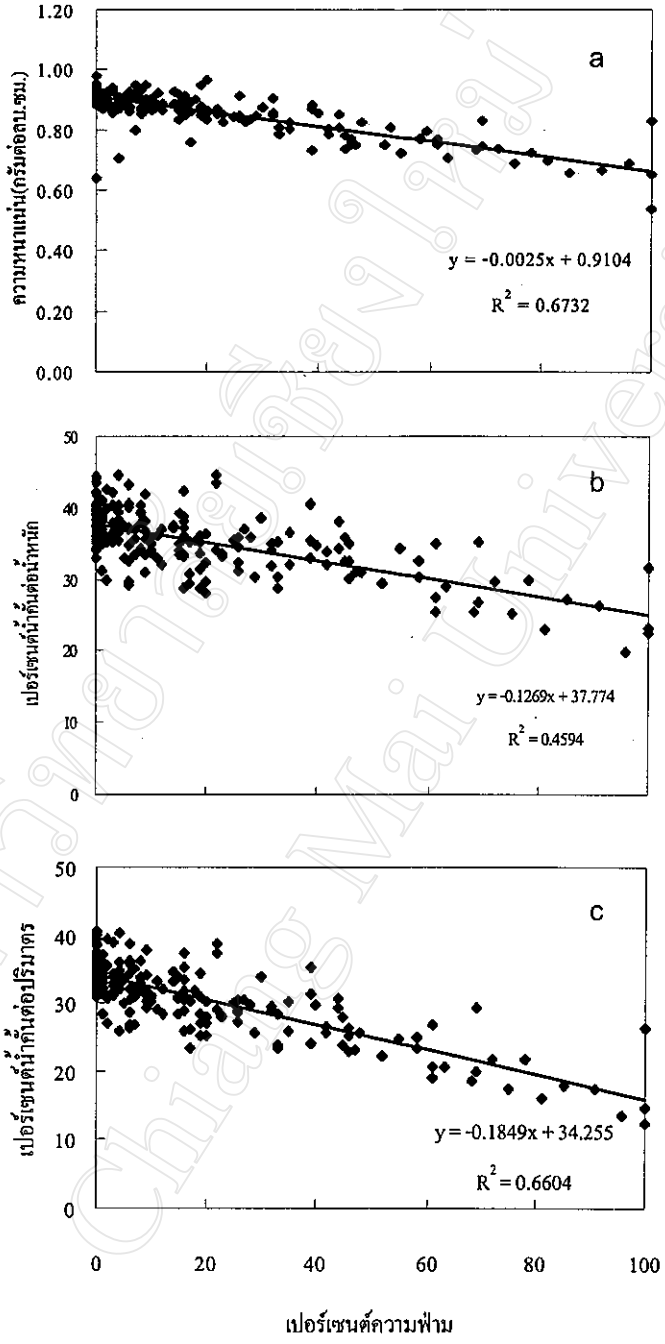
ส้มเป็นผลไม้ประเภท nonclimacteric ซึ่งมีอัตราการหายใจต่ำ เมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งภายนอกและภายใน และจะเกิดการสูญเสียน้ำหนักได้ 5-10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยพบมากที่สุดบริเวณเปลือก แม้ว่าจะลดการสูญเสียน้ำภายในได้โดยการใช้พลาสติกฟิล์มห่อหุ้มแต่ละผล เพื่อลดการสูญเสียน้ำหนักแต่วิธีนี้กลับมีข้อเสียคือทำให้รสชาติผิดปกติ (off-flavor) เนื่องจากผลส้มเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยทั่วไปอัตราการหายใจของผลไม้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆที่เกิดขึ้นภายใน ซึ่งภายในผลส้มเนื้อเยื่อที่ต่างชนิดกันจะมีอัตราการหายใจที่แตกต่างกัน คือชั้น flavedo มีอัตราการหายใจสูงสุด รองลงมาคือชั้น albedo และชั้น juice sacs ตามลำดับ ซึ่งเมื่อมีการหายใจเกิดขึ้นก็จะมีการใช้ออกซิเจนภายในเนื้อเยื่อของผล (Kale and Adsule, 1995) โดย Burns (1990) รายงานว่า ในผลส้มเขียวหวาน (tangerine) บริเวณเนื้อฟ่ามแห้งและบริเวณเนื้อปกติจะมีการใช้ออกซิเจนต่างกัน มีการใช้ออกซิเจนในส่วนเนื้อปกติมีปริมาณต่ำ (17.9 µl O_2/hr per g fresh wt) แต่จะสูงขึ้นประมาณ 2 เท่า (37.9 µl O_2/hr per g fresh wt) ในบริเวณที่เกิดอาการฟ่าม ถ้ามีความรุนแรงของความฟ่ามมากจะยิ่งทำให้การใช้ปริมาณออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น การใช้ออกซิเจนของผลปกติที่มากกว่าในผลฟ่ามแสดงว่าอาจมีการนำพลังงานและสารต่างๆที่เกิดจากกระบวนการเมตาโบลิซึมไปใช้ในการสร้างผนังเซลล์ให้หนากว่าปกติ

จากงานทดลองลักษณะเนื้อส้มที่ฟ่ามเพิ่มขึ้นนั้นในขั้นต้น พบว่าเกิดการแห้งบางส่วนภายในถุงของเนื้อผลซึ่งคล้ายกับกำลังพัฒนาไปเป็นอาการฟ่ามแห้งนั้นเป็นลักษณะที่โครงสร้างเปลี่ยนแปลงไป Sinclair and Jolliffe (1961) รายงานว่าเมื่อผลส้มมีการพัฒนาอาการฟ่าม ผนังเซลล์ของ juice sac cell จะเกิดการยุบลงและมีก๊าซเกิดขึ้นภายในทำให้เกิดเป็นช่องว่างสามารถตรวจสอบได้โดยใช้เทคนิคทางเอกซเรย์ซึ่งจะพบว่าบริเวณที่มีอาการฟ่ามเพิ่มขึ้นนั้น ภาพที่ปรากฏบนฟิล์มเอกซเรย์จะเป็นบริเวณสีดำตรงกับลักษณะอาการฟ่ามที่เกิดขึ้น เนื่องจากก๊าซที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่นต่ำไม่สามารถดูดกลืนรังสีเอกซ์ได้ จึงทำให้ภาพบริเวณที่มีก๊าซเกิดขึ้นปรากฏเป็นสีดำเกิดขึ้น

ปริมาณน้ำที่ลดลงระหว่างการเก็บรักษาทำให้ผลส้มสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ความหนาแน่นของผลส้มลดลงด้วยเช่นกัน ซึ่งจากการทดลองพบว่าความหนาแน่นของผลส้มลดลงทุกสัปดาห์โดยเฉลี่ย1.80 เปอร์เซ็นต์ต่อทุกๆ 2 สัปดาห์ ดังนั้นความหนาแน่นจึงมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับอายุการเก็บรักษาโดยมีค่า R^2 = 0.9902 ดังแสดงในรูปที่ 26 สำหรับคุณภาพทางกายภาพของผลส้มชุดเก็บรักษา พบว่าความสัมพันธ์ของความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์น้ำคั้นต่อน้ำหนัก และเปอร์เซ็นต์น้ำคั้นต่อปริมาตร แปรผกผันกับ เปอร์เซ็นต์ความฟ่ามเช่นเดียวกันด้วย R^2 = 0.6732, 0.4594, 0.6604 ตามลำดับ (รูปที่ 27) โดยเมื่อผลส้มฟ่ามเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าต่างๆที่นำมาตรวจสอบมีค่าลดลง สำหรับความหนาแน่นในชุดที่เก็บรักษามีค่า R^2 = 0.6732 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นในชุดที่ไม่เก็บรักษานั้นพบว่ามีความสัมพันธ์ลดลงทั้งนี้ เนื่องจากผลส้มเกิดการสูญเสียน้ำมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ส่งผลทำให้ความสัมพันธ์ที่ได้ลดลงด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการใช้วิธีการหาความหนาแน่นเพื่อประเมินความฟ่ามผลส้มนั้นควรกระทำกับผลส้มซึ่งเก็บเกี่ยวใหม่ๆจะให้ความแม่นยำในการตรวจสอบมากกว่าการนำผลส้มที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลานานมาตรวจสอบเพื่อคัดแยกผลส้มฟ่ามออกจากผลส้มปกติ



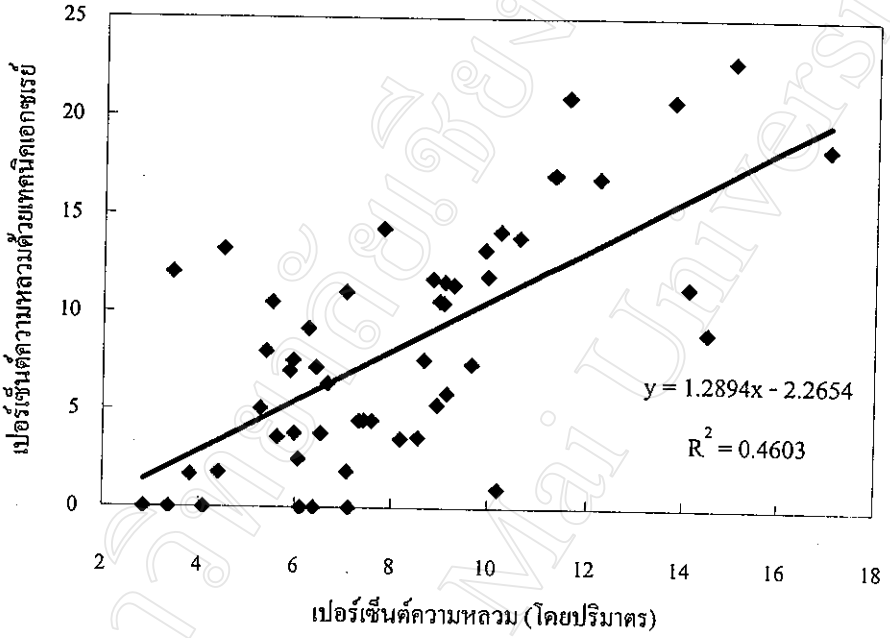
รูปที่ 26 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นและระยะเวลาที่เก็บรักษาผลส้ม



รูปที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความฟ่ามกับความหนาแน่นของผลส้ม(a), เปอร์เซ็นต์น้ำคั้นต่อน้ำหนัก (b) และเปอร์เซ็นต์น้ำคั้นต่อปริมาตร (c) เมื่อเก็บรักษานาน 8 สัปดาห์

2.2.3 การประเมินความหลวมโดยเทคนิค Low energy X-ray

การประเมินความหลวมของผลส้มที่ปรากฏบนฟิล์มเอกซเรย์ เมื่อเปรียบเทียบกับความหลวมโดยวิธีการหาปริมาตร พบว่ามีความสัมพันธ์ต่ำโดยมีค่า R^2= 0.4603 (รูปที่ 28) ทำให้ยังไม่สามารถนำเทคนิคนี้ไปใช้ในการประเมินความหลวมในเชิงพาณิชย์ได้



รูปที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความหลวมของผลส้มจากการหาปริมาตรและการประเมินความหลวมด้วยวิธีการเอกซเรย์

เทคนิคเอกซเรย์มีหลายเทคนิคซึ่งแต่ละเทคนิคมีข้อจำกัดของแต่ละเทคนิค การใช้เครื่องเอกซเรย์พลังงานต่ำมีข้อเสียคือต้องใช้ฟิล์มเพื่อถ่ายภาพเอกซเรย์และใช้เวลามากกับกระบวนการล้างฟิล์ม เทคนิคเอกซเรย์อีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจคือ Linescan X-ray ซึ่งสามารถสร้างเป็นภาพได้อย่างรวดเร็ว โดยลักษณะของภาพที่ได้จะเหมือนกับเทคนิค Low energy X-ray สำหรับในด้านความปลอดภัยต่อร่างกายของการใช้เทคนิคเอกซเรย์ ปกติเราเอกซเรย์คนเพื่อตรวจสอบคนไข้ซึ่งเป็นที่ยอมรับในแง่ความปลอดภัยจึงไม่น่าจะเป็นปัญหาในการใช้ตรวจสอบคุณภาพผลไม้โดยเฉพาะการตรวจดูคุณภาพภายในซึ่งจะใช้ระดับพลังงานที่ต่ำและจะทำครั้งเดียวต่อผล