

การประเมินคุณภาพผลและการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่มีอาการเนื้อโพรง

Evaluation of Fruit Quality and Principal Component Analysis of Spongy Tissue Symptom in 'Namdokmai Sithong' Mango

จุฑามาส สงวนทรัพย์¹ อรุณา เรืองวงษ์^{2,3} พิมพีใจ สีหนาม^{1,3,4}
พลกฤษณ์ มณีวระ^{3,4} และ จันทลักษณ์ ดิยายน^{1,3*}

Jutamas Sanguansub¹, On-Uma Ruangwong^{2,3}, Pimjai Seehanam^{1,3,4}
Phonkrit Maniwara^{3,4} and Chantalak Tiyyan^{1,3*}

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

¹Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

²ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

²Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

³ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10400

³Postharvest Technology Innovation Center, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok 10400, Thailand

⁴ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

⁴Postharvest Technology Research Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: chantalak@gmail.com

(Received: 22 November 2021; Accepted: 17 October 2022)

Abstract: Spongy tissue is one of a problem of 'Namdokmai Sithong' mango fruit quality. This experiment aimed to study the physical and chemical qualities of 'Namdokmai Sithong' mango fruit with spongy tissue symptoms. The experiment was carried out using a completely randomized design (CRD). Mango flesh was divided into four groups; 1) healthy tissue from healthy fruit (HTH), 2) healthy tissue from spongy tissue fruit (HTS), 3) tissue near spongy tissue (TNS), and 4) spongy tissue (ST). The results showed that ST had lightness, chroma, hue angle, total soluble solids (TSS), and titratable acidity (TA) lower than HTH and HTS. The ST fruit had the highest dry weight, TSS/TA, and phenolic compound. Principal component analysis (PCA) revealed that physical quality parameters in ST were clearly separated. The PC1 and PC2 could explain the main variations of data achieving 77.6%. Chemical quality parameters of HTH and HTS were not separated. Therefore, spongy tissue had no impact on chemical qualities of healthy tissue from spongy tissue fruit.

Keywords: Physical disorder, *Mangifera indica* L., postharvest

บทคัดย่อ: อาการเนื่อโพรงเป็นปัญหาหนึ่งของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่มีอาการเนื่อโพรง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบ่งเนื่อมะม่วงออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) เนื่อของผลปกติ 2) เนื่อปกติของผลที่มีอาการเนื่อโพรง 3) เนื่อที่อยู่ใกล้เคียงกับเนื่อโพรง และ 4) เนื่อที่มีอาการเนื่อโพรง จากการทดลองพบว่า เนื่อผลที่มีอาการเนื่อโพรงมีค่าความสว่างค่า Chroma ค่า hue angle ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ต่ำกว่าเนื่อของผลปกติและเนื่อปกติของผลที่มีอาการเนื่อโพรง โดยมีน้ำหนักแห้ง อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis; PCA) พบว่า ข้อมูลทางกายภาพของเนื่อมะม่วงที่มีอาการเนื่อโพรงสามารถแบ่งกลุ่มได้ชัดเจน โดย PC1 และ PC2 สามารถอธิบายความแปรปรวนที่สำคัญของข้อมูลได้ 77.6 เปอร์เซ็นต์ และพบว่า ข้อมูลคุณภาพทางเคมีของเนื่อผลปกติและเนื่อปกติของผลที่มีอาการเนื่อโพรงไม่แบ่งกลุ่มกัน แสดงให้เห็นว่าอาการเนื่อโพรงที่เกิดขึ้นไม่มีผลต่อคุณภาพทางเคมีของเนื่อปกติจากผลที่มีอาการเนื่อโพรง

คำสำคัญ: ความผิดปกติทางสรีรวิทยา มะม่วง หลังเก็บเกี่ยว

คำนำ

มะม่วงเป็นหนึ่งในไม้ผลเศรษฐกิจของประเทศไทยที่มีมูลค่าการส่งออกและความต้องการเพื่อการส่งออกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละปี (Wasusri, 2013) การส่งออกมะม่วงสดหรือแช่เย็นจนแข็ง ในปี พ.ศ. 2564 ปริมาณ 116 ล้านกิโลกรัม มูลค่า 3,367 พันล้านบาท (Office of Agricultural Economics, 2021) มะม่วงที่มีศักยภาพในการส่งออกคือมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง ซึ่งผลมีสีเหลืองทอง รสชาติหวาน เมล็ดบางลิบ เนื่อผลมีความฉ่ำน้ำ กลิ่นหอม ไม่มีเสี้ยนหรือมีเสี้ยนเล็กน้อย (Pohsomboon and Radanachalee, 2013) ปัจจุบันพบปัญหาความผิดปกติทางสรีรวิทยาในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่เรียกว่า อาการเนื่อโพรง (spongy tissue) โดยผลมะม่วงที่มีอาการเนื่อโพรงมีลักษณะเนื่อผลเป็นรูพรุนคล้ายฟองน้ำ มีสีเหลืองอ่อนหรือสีขาวจนถึงสีน้ำตาล เนื่อเยื่อบริเวณนี้อาจเป็นโพรงอากาศหรือไม่ก็ได้ และมักพบว่า กลิ่นและรสชาติของเนื่อมะม่วงมีความผิดปกติ (Ravindra, 2015) อาการนี้มีความสำคัญเพราะหากสุ่มตรวจพบผลที่มีอาการเนื่อโพรงในการส่งออก มะม่วงในรอบนั้นจะถูกปฏิเสธจากประเทศปลายทาง จากการสอบถามเกษตรกรพบว่า อาการเนื่อโพรงอาจไม่พบเลยหรือพบมากน้อยต่างกันไปในแต่ละปีตั้งแต่ 2 - 3 เปอร์เซ็นต์จนถึง 20 เปอร์เซ็นต์

ของผลผลิตทั้งหมด เกษตรกรสันนิษฐานว่าอาการเนื่อโพรงเกิดจากอากาศร้อนร่วมกับความแห้งแล้ง และบางรายให้ข้อมูลว่าอาจเกิดจากการใช้ฮอร์โมนและปุ๋ยที่เร่งการขยายขนาดของผลมากเกินไป งานวิจัยที่ผ่านมา ได้รายงานถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดอาการเนื่อโพรงอยู่หลายปัจจัย เช่น ปริมาณแคลเซียมต่ำ (Gunjate *et al.*, 1979; Shivashankar, 2014) ผลได้รับแสงแดดหลังเก็บเกี่ยว (Gunjate *et al.*, 1982) น้ำหนักผลมาก (Joshi and Limaye, 1986) อุณหภูมิในดินสูง (Katrodia and Seth, 1988) และการเก็บเกี่ยวล่าช้า (Subramanyam *et al.*, 1971) อุณหภูมิสูงภายในผล อัตราการคายน้ำต่ำ และอัตราการหายใจสูง ซึ่งพบมากในมะม่วงพันธุ์อัลฟอนโซ (Vasanthaiha *et al.*, 2008) และการเกิดการงอกของเมล็ดในช่วงระยะผลสุก (Ravindra and Shivashankar, 2004) เป็นต้น การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่มีอาการเนื่อโพรง และศึกษาลักษณะพื้นฐานของข้อมูลคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลมะม่วงที่มีอาการเนื่อโพรง โดยการนำข้อมูลนี้ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีเพื่อใช้ในการคัดแยกผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่มีอาการเนื่อโพรงแบบไม่ทำลายตัวอย่างสำหรับการส่งออก

อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการกลาง
ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาพืชสวน และห้องปฏิบัติการ
หลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัย
เชียงใหม่ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์
(completely randomized design; CRD) และวิเคราะห์
ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS
(statistical packages for the social science) version
16.0 โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of
variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่าง
ของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's honest significant
difference ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดย
การทดลองใช้ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่มี
อายุการเก็บเกี่ยวหลังจากดอกบานถึงผลแก่ ประมาณ
100 ถึง 105 วัน จากสวนมะม่วงของเกษตรกรอำเภอ
แม่แตงและอำเภอฟัว จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน
163 ผล ขนส่งด้วยรถยนต์ปรับอากาศ ระยะเวลาใน
การขนส่งประมาณ 1.5 ชั่วโมง หลังจากนั้นเก็บรักษา
ที่ 15 องศาเซลเซียส โดยแบ่งกลุ่มของเนื่อมะม่วง

ออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) เนื่อของผลปกติ 2) เนื่อ
ปกติของผลที่มีอาการเนื่อโพรง 3) เนื่อที่อยู่ใกล้เคียง
กับเนื่อที่มีอาการเนื่อโพรง และ 4) เนื่อที่มีอาการเนื่อ
โพรง กลุ่มละอย่างน้อย 10 ตัวอย่าง (Figure 1) ทำ
การทดลองระหว่างเดือน ธันวาคม 2562 ถึง กันยายน
2563

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

สีเนื่อผล: วัดสีเนื่อผลด้วยเครื่อง chroma
meter (Konica Minolta รุ่น CR-400 บริษัท Minolta
ประเทศไทย ปูน) บันทึกน้ำหนักแห้งโดยการอบเนื่อ
มะม่วงในตู้อบลมร้อน (Contherm รุ่น Thermotec 2000
Oven บริษัท Lab Focus ประเทศไทย) ที่อุณหภูมิ 70
องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน นำมาชั่งน้ำหนักด้วย
เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Zepper
รุ่น ES-1200HA บริษัท Zepper Instrument ประเทศ-
ไทย) และคำนวณน้ำหนักแห้งของเนื่อผล หน่วยเป็น
เปอร์เซ็นต์จากสดการ

$$\text{น้ำหนักแห้ง} = \left(\frac{\text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \right) \times 100$$

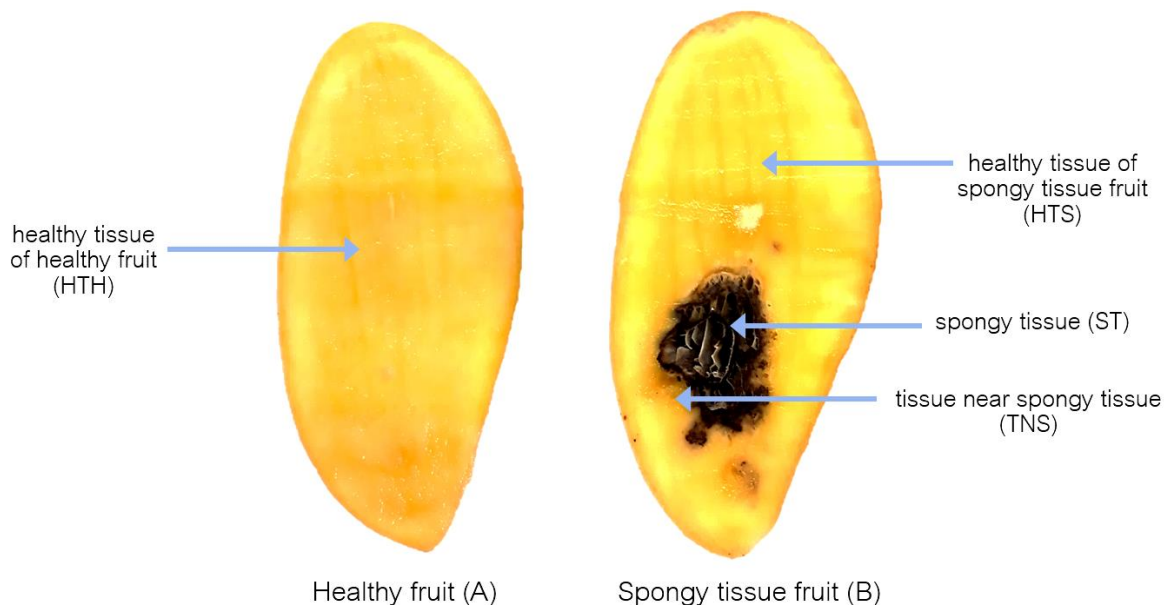


Figure 1. Mango tissue: healthy fruit (A) and spongy tissue fruit (B) of 'Namdokmai Sithong' mango

การเตรียมตัวอย่างแห้ง

หั่นเนื้อมะม่วงเป็นลูกเต๋าชิ้นเล็ก ๆ เติมน้ำในโถร่อนเหลวเพื่อให้เนื้อมะม่วงแข็งตัวอย่างรวดเร็ว นำไปแช่ในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำไปเข้าเครื่อง freeze dry (Labconco รุ่น FreeZone Pluse บริษัท Labconco ประเทศสหรัฐอเมริกา) เป็นเวลา 3 วัน นำเนื้อมะม่วงแห้งมาบดด้วยโถร่อนบดยา เก็บใส่ถุงซิปล็อค และเก็บรักษาในภาชนะบรรจุซิปล็อคที่มีฝาปิดมิดชิด เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้: วัดจากน้ำหนักของเนื้อมะม่วงสดด้วยเครื่องวัดของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้แบบดิจิทัล (digital refractometer: Atago PAL-1) ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้: ดำเนินการตามวิธีการของ AOAC (2000) ใช้เนื้อมะม่วงสดที่ปั่นละเอียด 5 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร จากนั้นไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N นำค่าที่ได้คำนวณปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA): คำนวณจากสัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

ปริมาณวิตามินซี: ดำเนินการตามวิธีการของ Ranganna (1986) โดยใช้เนื้อมะม่วงสดที่ปั่นละเอียด 10 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยกรดออกซาลิกความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง ใช้สารละลายตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตร ไทเทรตด้วยสารละลาย 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ นำค่าที่ได้คำนวณปริมาณวิตามินซีโดยใช้กรดแอสคอร์บิกเป็น equivalent ตามสมการดังนี้

ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัมในตัวอย่างน้ำหนักสด 100 กรัม) = (b/a) x 100

a = ปริมาตรสีย้อมอินโดฟีนอลที่ใช้ไทเทรตกรดแอสคอร์บิก 1 มิลลิกรัม (จาก standard)
b = ปริมาตรสีย้อมอินโดฟีนอลที่ใช้ไทเทรตกรดแอสคอร์บิก จากสารละลายตัวอย่าง

ปริมาณแคโรทีนอยด์: วิเคราะห์ตามวิธีการของ Romainum *et al.* (2018) ใช้ตัวอย่างแห้ง 1 กรัม เติมหะกษณแอสไอนเอทานอล อัตราส่วน 2:1:1 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่า 10 นาที จากนั้นใส่น้ำกลั่น ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่า 5 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Thermo Genesys 10S Vis) ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร นำค่าที่ได้คำนวณปริมาณแคโรทีนอยด์โดยเทียบกับปริมาณเบต้าแคโรทีนมาตรฐาน

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด: วิเคราะห์ตามวิธีการของ Romainum *et al.* (2018) ใช้ตัวอย่างแห้ง 1 กรัม เติมหะกษณอลความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ที่มีกรดฟอรมิคความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปเข้าเครื่อง ultrasonic cleaner (Elma S 30 H) เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ (Hettich Universal 32 R) ที่ 9000 x g อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที เก็บส่วนที่เป็นของเหลวใสไว้ นำตะกอนมาทำซ้ำตามขั้นตอนข้างต้น นำของเหลวใสทั้งสองครั้งมารวมกัน ใช้สารละลายตัวอย่างปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติม Folin-Ciocalteu ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที เติมหะกษณคาร์บอนเตความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1.8 มิลลิลิตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 60 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร นำค่าที่ได้คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเทียบกับปริมาณกรดแกลลิกมาตรฐาน

การวิเคราะห์ส่วนประกอบสำคัญ (principal component analysis; PCA)

วิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของข้อมูลคุณภาพทางกายภาพและเคมีเนื้อมะม่วงด้วยวิธี PCA โดยข้อมูลคุณภาพทางกายภาพและเคมีของเนื้อมะม่วง

ได้แก่ สีของเนื้อผล น้ำหนักแห้ง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้โปรแกรม MATLAB version 7.0 (The Math Works Inc., Natick)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

คุณภาพทางกายภาพ

สีเนื้อผล:จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของสีเนื้อมะม่วงจากผลปกติและผลที่มีอาการเนื้อโพรง พบว่า เนื้อผลปกติ เนื้อปกติของผลที่มีอาการเนื้อโพรง และเนื้อที่อยู่ใกล้เคียงกับเนื้อโพรง มีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 62.56 ± 1.20 - 65.31 ± 0.71 ค่า chroma (C) อยู่ในช่วง 41.47 ± 1.17 - 46.49 ± 1.01 และค่า hue angle (Hue) อยู่ในช่วง 86.78 ± 0.57 - 87.58 ± 1.68 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Romainum *et al.* (2018) ที่รายงานว่าการเนื้อผลปกติของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองมีค่า L^* และ hue angle 72.3 ± 0.5 และ 83.0 ± 0.4 ตามลำดับ โดยเนื้อผลมีสีเหลืองเข้มในการทดลองนี้เนื้อโพรงมีค่า L^* C และ hue angle น้อยกว่าเนื้อผลสามกลุ่มข้างต้น โดยมีค่า 49.15, 25.51 และ 78.11 ตามลำดับ (Table 1) จึงแสดงว่าเนื้อที่มีอาการเนื้อโพรงมีสีคล้ำ

น้ำหนักแห้ง : น้ำหนักแห้งของเนื้อผลมะม่วงปกติ เนื้อปกติของผลที่มีอาการเนื้อโพรง เนื้อที่อยู่ใกล้เคียงกับเนื้อโพรง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เนื้อบริเวณที่เป็นโพรงมีค่าน้ำหนักแห้งมากกว่าเนื้อทั้งสามส่วนข้างต้น โดยมีน้ำหนักแห้ง 58.29 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่มะม่วงปกติมีน้ำหนักแห้ง 43.81 ± 0.36 เปอร์เซ็นต์ Shivashankar (2014) รายงานว่า เนื้อผลที่เป็นโพรงมีน้ำหนักน้อยกว่าเนื้อปกติที่อยู่ภายในผลเดียวกัน เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำจากเนื้อผลไปยัง และยังทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อสัมผัสและความแน่นเนื้อของเนื้อผล

คุณภาพทางเคมี

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้: ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ของเนื้อผลปกติและผลที่มีอาการเนื้อโพรงมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของเนื้อผลปกติและเนื้อปกติของผลที่มีอาการเนื้อโพรงมีค่ามากกว่าส่วนเนื้อโพรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2) เนื่องจากเนื้อเยื่อบริเวณที่เกิดอาการเนื้อโพรง เป็นการเกิดบาดแผลที่เนื้อผล (Chantrasri, 2013) เนื้อเยื่อที่เกิดอาการเนื้อโพรงจึงถูกกระตุ้นให้สร้างเอทิลีน ทำให้อัตราการหายใจสูงขึ้นและเข้าสู่ระยะสุก ทำให้ปริมาณกรดลดลง เนื่องจากกรดถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหายใจและถูกสังเคราะห์ไปเป็นน้ำตาล (Pithakpol and Rattanapanone, 2013)

Table 1. Physical quality of 'Namdokmai Sithong' mango fruit flesh related to the spongy tissue

Mango flesh samples	Flesh color			Dry weight (%)
	Lightness (L^*)	Chroma (C)	Hue angle (hue)	
HTH	65.31 ± 0.71 a	46.49 ± 1.01 a	86.78 ± 0.57 a	43.81 ± 0.36 b
HTS	64.79 ± 1.04 a	42.01 ± 1.02 ab	87.36 ± 0.52 a	47.55 ± 0.93 b
TNS	62.56 ± 1.20 a	41.47 ± 1.17 b	87.58 ± 0.58 a	45.45 ± 1.07 b
ST	49.15 ± 1.77 b	25.51 ± 1.98 c	78.11 ± 1.68 b	58.29 ± 2.07 a

Mean values with different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$)

Remarks: HTH = healthy tissue from healthy fruit; HTS = healthy tissue from spongy tissue fruit; TNS = tissue near spongy tissue; ST = spongy tissue

ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้: ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ของเนื้อผลปกติและผลที่มีอาการเนื้อโพรงมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 2) เนื่องจากเนื้อเยื่อที่เกิดอาการเนื้อโพรงถูกกระตุ้นให้สร้างเอทิลีน ทำให้อัตราการหายใจสูง ทำให้ปริมาณกรดของผลมะม่วงลดลง เนื่องจากกรดถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหายใจ (Pithakpol and Rattanapanone, 2013) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Trivedi *et al.* (2015) ที่รายงานว่า ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของเนื้อผลปกติมีค่าสูงกว่าเนื้อผลที่มีอาการเนื้อโพรง

อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA): อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของเนื้อผลปกติและผลที่มีอาการเนื้อโพรงมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 2) เนื้อเยื่อที่เกิดอาการเนื้อโพรงถูกกระตุ้นให้สร้างเอทิลีน ทำให้อัตราการหายใจสูงขึ้น และเข้าสู่ระยะสุก ปริมาณกรดของผลมะม่วงลดลง การลดลงของปริมาณกรดจึงเกิดขึ้นพร้อมกับการลดลงของแป้งและการเพิ่มขึ้นของน้ำตาล ซึ่งทำให้อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มีค่าเพิ่มขึ้น (Pithakpol and Rattanapanone, 2013)

ปริมาณวิตามินซี: การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของเนื้อผลปกติและผลที่มีอาการเนื้อโพรง พบว่าปริมาณวิตามินซีของเนื้อผลปกติและผลที่มีอาการเนื้อโพรงไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 2) ปริมาณวิตามินซีของเนื้อที่อยู่ใกล้เคียงกับเนื้อโพรงและเนื้อโพรงมีแนวโน้มน้อยกว่าเนื้อของผลปกติและเนื้อปกติของผลที่มีอาการเนื้อโพรง เนื่องจากบริเวณเนื้อที่มีอาการเนื้อโพรงเกิดแผลและขยายตัวกว้าง (Chantrasri, 2013) ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณดังกล่าวถูกกระตุ้นให้สร้างเอทิลีนและเกิดอัตราการหายใจสูงขึ้น ทำให้ปริมาณเอนไซม์ ascorbate oxidase เพิ่มขึ้น และมีปริมาณวิตามินซีลดลง (Pithakpol and Rattanapanone, 2013) ซึ่ง Mitra and Baldwin (1997) รายงานว่า เนื้อที่มีอาการเนื้อโพรงมีกรดแอสคอร์บิกต่ำ

ปริมาณแคโรทีนอยด์: การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ของเนื้อผลปกติและผลที่มีอาการเนื้อโพรงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 2) ในส่วนของปริมาณแคโรทีนอยด์ของเนื้อที่มีอาการเนื้อโพรงมีค่าต่ำ (Table 2) เนื่องจากแคโรทีนอยด์เกิดการสลายตัวซึ่งเกิดจากการที่เนื้อเยื่อบริเวณที่เกิดอาการเนื้อโพรงมีเซลล์เสื่อมสภาพหรือหมดอายุขัย (Uthaibutra and Whangchai, 2013) จึงทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ของเนื้อโพรงมีปริมาณต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับ Mitra and Baldwin (1997) ที่รายงานว่า เนื้อที่มีอาการเนื้อโพรง

Table 2. Chemical quality of 'Namdokmai Sithong' mango fruit flesh related to the spongy tissue

Mango flesh samples	TSS (%)	TA (%)	TSS/TA	Vitamin C contents (mg/100g FW)	Carotenoid contents (mg/100g DW)	Phenolic compound (mg/g DW)
HTH	17.81 ± 0.27 a	4.54 ± 0.06 ab	7.50 ± 0.74 ab	9.09 ± 1.37	1.58 ± 0.30	4.40 ± 0.09 c
HTS	16.12 ± 0.93 a	7.57 ± 0.20 a	3.29 ± 0.67 b	15.87 ± 3.55	1.66 ± 0.25	7.41 ± 1.50 c
TNS	15.08 ± 0.71 ab	3.50 ± 0.29 b	10.34 ± 3.40 ab	3.50 ± 2.00	0.43 ± 0.16	17.60 ± 4.06 b
ST	11.99 ± 1.96 b	1.31 ± 0.20 b	13.59 ± 3.90 a	6.00 ± 1.50	0.16 ± 0.00	36.39 ± 10.84 a

Mean values with different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$)

Remarks: HTH = healthy tissue from healthy fruit; HTS = healthy tissue from spongy tissue fruit; TNS = tissue near spongy tissue; ST = spongy tissue

มีปริมาณเบต้าแคโรทีนต่ำ โดยแคโรทีนอยด์เป็นสารสีหลักที่ทำให้มะม่วงมีสีเหลืองถึงส้ม และในเนื้อบริเวณเนื้อโพรงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูง (Table 2) ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกถูกออกซิไดซ์ด้วยเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลไม้และผัก ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) (Soto-Vaca *et al.*, 2012) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ de Oliveira Lima *et al.* (1999) ที่รายงานว่า ในผลมะม่วงที่มีอาการเนื้อโพรงมีกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase (POD) และ PPO สูงกว่าผลมะม่วงปกติ

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด : การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อผลปกติและผลที่มีอาการเนื้อโพรง พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเนื้อที่เป็นโพรงมีค่ามากที่สุดถึง 36.39 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในเนื้อผลปกติ เนื้อปกติของผลที่มีอาการเนื้อโพรง และเนื้อที่อยู่ใกล้เคียงเนื้อโพรงอย่างมาก (Table 2) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Oak *et al.* (2019) ที่รายงานว่า เนื้อเยื่อที่เกิดอาการ

เนื้อโพรงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น ระหว่างกระบวนการสุก ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สร้างขึ้นเพื่อต้านทานโรค (Pithakpol and Rattanapanone, 2013)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Components Analysis; PCA)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของข้อมูลคุณภาพทางกายภาพพบว่า PC1 และ PC2 สามารถแสดงความแปรปรวนที่สำคัญของข้อมูลได้ 77.55 เปอร์เซ็นต์ และพบว่า เนื้อที่มีอาการเนื้อโพรงมี PCA scores ที่แยกออกมาจากเนื้อมะม่วงลักษณะอื่น ในขณะที่เนื้อผลปกติ เนื้อปกติของผลที่มีอาการเนื้อโพรง และเนื้อที่อยู่ใกล้เคียงกับเนื้อโพรงมี scores ของ PC1 และ PC2 อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน (Figure 2) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเนื้อผลปกติ เนื้อปกติของผลที่มีอาการเนื้อโพรง และเนื้อที่อยู่ใกล้เคียงกับเนื้อโพรงมีข้อมูลคุณภาพทางกายภาพที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลคุณภาพทางกายภาพของเนื้อมะม่วง (Table 1)

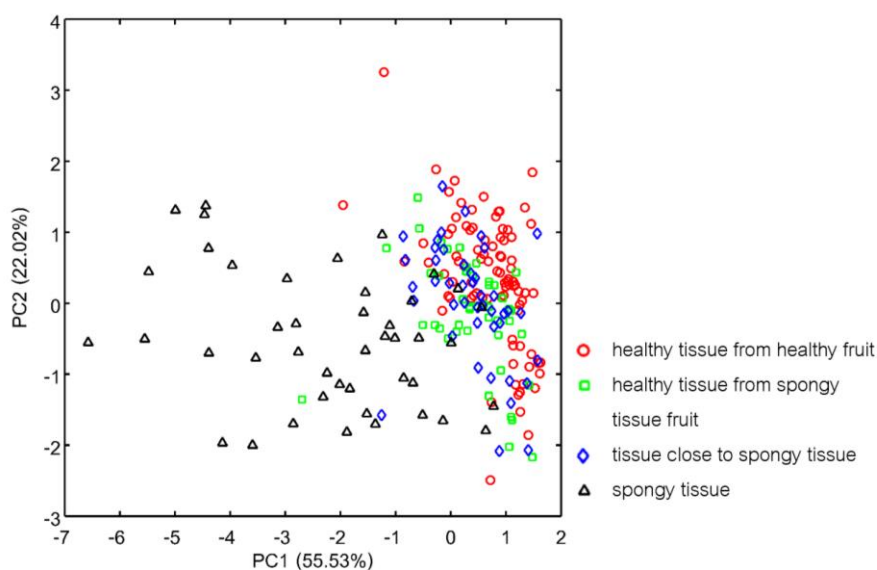


Figure 2. PCA score plot (PC1 vs. PC2) of physical quality parameters of 'Namdokmai Sithong' mango fruit flesh related to the spongy tissue

นอกจากนี้ เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของข้อมูลคุณภาพทางเคมีโดยใช้ข้อมูลจากเนื้อผลปกติ และเนื้อปกติของผลที่มีอาการเนื้อโพรงพบว่า PC1 และ PC2 สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ 54.16 เปอร์เซ็นต์ โดยแผนภาพ PCA score plot ไม่พบการแบ่งกลุ่มของเนื้อผลปกติและเนื้อปกติของผลที่มีอาการเนื้อโพรง (Figure 3) ทั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าเนื้อมะม่วงจากทั้งสองประเภทนี้มีคุณภาพทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลคุณภาพทางเคมีของเนื้อมะม่วง (Table 2)

สรุป

เนื้อมะม่วงที่มีอาการเนื้อโพรงมีปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ต่ำ และมีอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ และสารประกอบ

ฟีนอลิกทั้งหมดสูง จากข้อมูลคุณภาพทางกายภาพของเนื้อผลทั้ง 4 กลุ่ม จะเห็นว่ามีความโน้มในการแบ่งกลุ่ม และจากการวิเคราะห์ PCA ของข้อมูลคุณภาพทางเคมีโดยใช้ข้อมูลจากเนื้อผลปกติ และเนื้อปกติของผลที่มีอาการเนื้อโพรง พบว่า ไม่สามารถแบ่งกลุ่มกันได้ จึงอาจเป็นไปได้ว่าอาการเนื้อโพรงไม่มีผลต่อคุณภาพทางเคมีของเนื้อส่วนที่ปกติที่อยู่ภายในผลเดียวกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัย และภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำหรับสถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

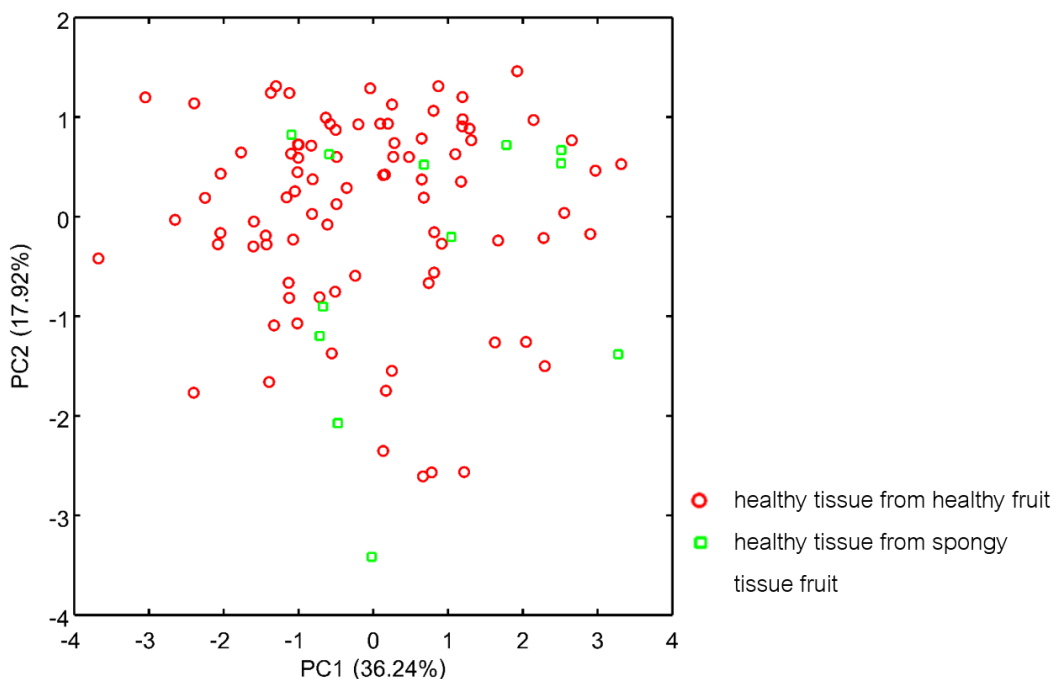


Figure 3. PCA score plot (PC1 vs. PC2) of chemical quality parameters of healthy tissue from healthy (HTH) fruit and spongy tissue fruit (HTS) in 'Namdokmai Sithong' mango

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. AOAC, Washington, D.C.
- Chantrasri, P. 2013. Diseases and disorders. pp. 267-288. *In*: T. Radanachalee, W. Kumpoun and T. Jaroenkit (eds.). Mango Production and Postharvest Technology. Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai. (in Thai)
- de Oliveira Lima, L.C., A.B. Chitarra, M.I.F. Chitarra and E.B. Silva. 1999. Enzymatic activity changes in spongy tissue: a physiological ripening disorder of 'Tommy Atkins' mango. *Acta Horticulturae* 485: 255-258.
- Gunjate, R.T., B.P. Walimbe, B.P. Lad and V.P. Limaye. 1982. Development of internal breakdown in Alphonso mango by post harvest exposure of fruits to sunlight. *Science and Culture* 48(5): 188-190.
- Gunjate, R.T., S.J. Tare, A.D. Rangawala and V.P. Limaye. 1979. Calcium content in Alphonso mango fruits in relation to occurrence of spongy tissue. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities* 4(2): 159-161.
- Joshi, G.D. and V.P. Limaye. 1986. Effects of tree location and fruit weight on spongy tissue occurrence in Alphonso mango. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities* 11: 104-109.
- Katrodia, J.S. and I.K. Sheth. 1988. Spongy tissue development in mango fruit of cv. Alphonso in relation to temperature and its control. *Acta Horticulturae* 231: 827-834.
- Mitra, S.K. and E.A. Baldwin. 1997. Mango. pp. 85-122. *In*: S.K. Mitra (ed.). Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits. CAB International, Wallingford. 448 p.
- Oak, P., A. Deshpande, A. Giri and V. Gupta. 2019. Metabolomic dynamics reveals oxidative stress in spongy tissue disorder during ripening of *Mangifera indica* L. fruit. *Metabolites* 9(11): 255, doi: 10.3390/metabo9110255.
- Office of Agricultural Economics. 2020. Export. (Online). Available: <http://impexp.oae.go.th/service/export.php> (March 8, 2021). (in Thai)
- Pithakpol, W. and N. Rattanapanone. 2013. Fruit ripening. pp. 75-94. *In*: T. Radanachalee, W. Kumpoun and T. Jaroenkit (eds.). Mango Production and Postharvest Technology. Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai. (in Thai)
- Pohsomboon, M. and T. Radanachalee. 2013. Commercial Thai mango cultivars. pp. 157-189. *In*: T. Radanachalee, W. Kumpoun and T. Jaroenkit (eds.). Mango Production and Postharvest Technology. Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai. (in Thai)
- Ranganna, S. 1986. Handbook of Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Products. 2nd ed. Tata McGraw-Hill Publishing Co., Ltd., New Delhi. 1112 p.
- Ravindra, V. 2015. Recent understanding of spongy tissue problem in 'Alphonso' mango - a review. *Acta Horticulturae* 1066: 169-175.
- Ravindra, V. and S. Shivashankar. 2004. Spongy tissue in Alphonso mango - significance of in situ seed germination events. *Current Science* 87(8): 1045-1049.
- Rumainum, I. M., K. Worarad, V. Srilaong and K. Yamane. 2018. Fruit quality and antioxidant capacity of six Thai mango cultivars.

- Agriculture and Natural Resources 52(2): 208-214.
- Shivashankar, S. 2014. Physiological disorders of mango fruit. pp. 313-347. *In*: J. Janick (ed.). Horticultural Reviews: Volume 42. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
- Soto-Vaca, A., A. Gutierrez, J. N. Losso, Z. Xu and J. W. Finley. 2012. Evolution of phenolic compounds from color and flavor problems to health benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(27): 658-6677.
- Subramanyam, H., S. Krishnamurthy, N.V. Subhadra, V.B. Dalal, G.S. Randhawa and E.K. Chacko. 1971. Studies on internal breakdown, a physiological ripening disorder in Alphonso mango (*Mangifera indica* L.). *Tropical Science* 13(3): 203-210.
- Trivedi, M.K., A. Branton, D. Trivedi, G. Nayak, S.C. Mondal and S. Jana. 2015. Morphological characterization, quality, yield and DNA fingerprinting of biofield energy treated alphonso mango (*Mangifera indica* L.). *Journal of Food and Nutrition Sciences* 3(6): 245-250.
- Uthaibutra, J. and K. Whangchai. 2013. Pigments and fruit color changes. pp. 59-74. *In*: T. Radanachaless, W. Kumpoun and T. Jaroenkit (eds.). *Mango Production and Postharvest Technology*. Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai. (in Thai)
- Vasanthaiiah, H.K.N., K.V. Ravishankar, P. Narayanaswamy and K.S. Shivashankara. 2008. Influence of temperature on spongy tissue formation in 'Alphonso' mango. *International Journal of Fruit Science* 8(3): 226-234.
- Wasusri, T. 2013. Mango supply chain. pp. 681-686. *In*: T. Radanachaless, W. Kumpoun and T. Jaroenkit (eds.). *Mango Production and Postharvest Technology*. Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai. (in Thai)
-