

บทความวิจัย (Research Article)**การเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพ และส่วนประกอบทางเคมีของมะม่วงพันธุ์
น้ำดอกไม้สีทองที่แสดงอาการเน่าในและเสี้ยนดำ**ปฐมพร ไชยะ¹, พลกฤษณ์ มณีวรร^{3,4}, จันทลักษณ์ ตียายน^{1,3}, อรุณา เรืองวงษ์^{2,3} และ พิมพีใจ สีหะนาม^{1,3,4*}**Physico-chemical quality comparison of ‘Namdokmai Sithong’ mango fruit with
internal breakdown and black-streaked vascular symptoms**Patomporn Chaiya¹, Phonkrit Maniwara^{3,4}, Chantalak Tiyyayon^{1,3}, Onuma Ruangwong^{2,3} and Pimjai Seehanam^{1,3,4*}¹ Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200² Department of Entomology and Plant pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200³ Postharvest Technology Innovation Center, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok, 10400⁴ Postharvest Technology Research Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200

* Corresponding author: pimjai193@gmail.com

Naresuan Phayao J. 2022;15(1):99-108*Received; 6 May 2021; Revised: 26 October 2021; Accepted: 22 November 2021***บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่แสดงอาการเน่าในและเสี้ยนดำ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) ประกอบด้วย 5 กรรมวิธี ได้แก่ เนื้อมะม่วงผลปกติ เนื้อมะม่วงปกติของผลที่แสดงอาการเน่าใน เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน เนื้อมะม่วงปกติของผลที่แสดงอาการเสี้ยนดำ และเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเสี้ยนดำ ผลการศึกษาพบว่า เนื้อมะม่วงปกติและเนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน มีร้อยละน้ำหนักแห้งน้อยที่สุด สำหรับปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเสี้ยนดำมีค่าน้อยที่สุด ในขณะที่เนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเน่าในมีค่ามากที่สุด อีกทั้งยังพบว่า มะม่วงที่แสดงอาการเน่าในมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้น้อยที่สุดและมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด อย่างไรก็ตามปริมาณวิตามินซีและปริมาณแคโรทีนอยด์ของเนื้อมะม่วงทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis) โดยใช้ข้อมูลคุณภาพทั้ง 6 ตัวแปร พบว่า PC1 และ PC2 สามารถอธิบายความแปรปรวนของเนื้อมะม่วงได้ร้อยละ 45.42

คำสำคัญ: คุณภาพ, อาการเน่าใน, อาการเสี้ยนดำ, มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง¹ ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200² ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200³ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพมหานคร 10400⁴ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Abstract

The objective of this research was to determine physico-chemical quality of 'Namdokmai Sithong' mango fruit with internal breakdown and black-streaked vascular symptoms using a completely randomized design (CRD) of 5 treatments: normal pulp of intact fruit, the normal pulp of internal breakdown fruit, internal breakdown pulp (IB), normal pulp of black-streaked vascular fruit, and pulp containing black-streaked vascular (BSV) symptom. The results indicated that the pulp of normal fruit and the normal pulp of internal breakdown fruit had the lowest percentage of dry weight. In the case of total titratable acidity, black-streaked vascular pulp had the lowest amount, whilst the highest value was found in the normal pulp of internal breakdown fruit. For instance, internal breakdown pulp had the lowest value of total soluble solids, while it had the greatest amount of phenolic compound content. Nonetheless, vitamin C and carotenoid contents of mango pulp from all treatments were not statistically different. Lastly, when performing principal component analysis using 6 quality parameters, it was found that PC1 and PC2 could adequately explain quality variations of mango pulp, achieving 45.42%.

Keywords: Quality, Internal breakdown, Black-streaked vascular, 'Namdokmai Sithong' mango

บทนำ

มะม่วง (mango) ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* L. เป็นผลไม้เขตร้อน สามารถปลูกได้ทุกภูมิภาคในประเทศไทย อีกทั้งยังมีความสำคัญทางเศรษฐกิจทั้งในประเทศและต่างประเทศ เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีวิตามินซี บีตา-แคโรทีน ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ [1,2] อีกทั้งยังมีกลิ่นและเนื้อสัมผัสที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว โดยพันธุ์ที่มีการเพาะปลูกสำหรับการส่งออกและบริโภคในประเทศไทยอย่างแพร่หลาย คือ พันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง ปัจจุบันพบว่าอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาภายในผล (internal disorders) ที่พบมาก ได้แก่ อาการเน่าใน (internal breakdown) และเสี้ยนดำ (black-streaked vascular) อาการเหล่านี้ไม่ได้เกิดจากเชื้อสาเหตุของโรค แต่เกิดจากความไม่สมดุลของธาตุอาหารและกระบวนการป้องกันตัวเองของพืช โดยอาการเน่าในมีสาเหตุมาจากการขาดธาตุอาหาร ได้แก่ แคลเซียม (Ca) และโบรอน (B) ส่งผลให้เกิดการสลายตัวของเนื้อเยื่อและเกิดสีน้ำตาลขึ้นบริเวณเนื้อ (mesocarp) และกรณีของอาการเสี้ยนดำมีสาเหตุมาจากการป้องกันตัวเองจากการเข้าทำลายของแมลงและเชื้อจุลินทรีย์ จึงเกิดการสะสมสารประกอบฟีนอลิกบริเวณ

ท่อลำเลียง (vascular) ส่งผลให้เกิดเส้นสีดำ-น้ำตาลเข้ม สามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่บริเวณเนื้อผลจนถึงเมล็ด [3,4,5] ทั้งนี้อาการผิดปกติที่กล่าวมาข้างต้นไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยการประเมินจากภายนอก ส่งผลให้เกิดความยุ่งยากในการจัดการผลิตผล อีกทั้งลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยาภายในส่งผลให้คุณภาพด้านการบริโภคของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองลดลง [6] ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของผลมะม่วงที่แสดงอาการเน่าในและเสี้ยนดำ เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบและเป็นแนวทางสำหรับการจำแนกลักษณะอาการเน่าในและเสี้ยนดำของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

วัสดุและวิธีการ

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) มี 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ได้แก่ 1) เนื้อมะม่วงผลปกติ 2) เนื้อมะม่วงปกติของผลที่แสดงอาการเน่าใน 3) เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน 4) เนื้อมะม่วงปกติของผลที่แสดงอาการเสี้ยนดำ และ 5) เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเสี้ยนดำ โดยในกรรมวิธีที่ 2 และ 4 ทำการตัดชิ้นเนื้อมะม่วงที่มีลักษณะปกติจากผลมะม่วงที่แสดงอาการเน่าในและ

มะม่วงที่แสดงอาการเสียน้ำ จากนั้นเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง ได้แก่ ร้อยละน้ำหนักแห้ง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก วิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบค่าทางสถิติด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และนำคุณภาพทั้ง 6 ตัวแปร มาวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis) ด้วย โปรแกรม MATLAB version 7.0 (The Math Works Inc., Natick)

ตัวอย่างมะม่วง

เก็บเกี่ยวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองในฤดูกาลเก็บเกี่ยวช่วงเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน 2562 โดยคัดเลือกมะม่วงผลปกติ และผลที่แสดงอาการเน่าในและเสียน้ำ (Figure 1) ในระยะสุกแก่ทางการค้า อายุประมาณ 110-115 วันหลังจากดอกบาน เนื่องจากเป็นระยะที่คุณภาพทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีสามารถพัฒนาไปสู่ระยะการสุกและส่งผลให้คุณภาพผลดีที่สุด เหมาะสมสำหรับการบริโภค โดยเก็บเกี่ยวมะม่วงจากสวนของเกษตรกรในอำเภอมะแม และอำเภอฟัว จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 255 ผล ได้แก่ ผลมะม่วงปกติ 192 ผล ผลมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน 60 ผล และผลมะม่วงที่แสดงอาการเสียน้ำ 3 ผล จากนั้นแบ่งเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน และอาการเสียน้ำออกเป็นเนื้อปกติและเนื้อที่แสดงอาการผิดปกติ



Figure 1 Appearance of normal fruit (A), internal breakdown (B), and black-streaked vascular (C) of 'Namdokmai Sithong' mango fruit used in this study

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี

ร้อยละน้ำหนักแห้ง โดยนำเนื้อมะม่วง 1 กรัม อบในตู้อบลมร้อน (hot air oven) (ยี่ห้อ Contherm รุ่น Thermotec 2000 Oven บริษัท Lab Focus ประเทศไทย) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จนกระทั่ง

น้ำหนักคงที่ จากนั้นนำมาคำนวณหาร้อยละน้ำหนักแห้ง

ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ โดยชั่งเนื้อมะม่วงบั่นละเอียด 1 กรัม นำไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล วัดค่าความเป็นกรดต่างด้วยเครื่อง pH Meter (ยี่ห้อ Eutech

รุ่น pH 700 บริษัท Euthch instruments ประเทศสิงคโปร์) จนสารละลายมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8.2 จากนั้นคำนวณปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้จากปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไป รายงานผลเป็นร้อยละของกรดซิตริก [7]

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ โดยใช้ Pocket refractometer (ยี่ห้อ Atago รุ่น PAL-1 บริษัท Atago ประเทศญี่ปุ่น) รายงานผลเป็นร้อยละ

ปริมาณวิตามินซี โดยชั่งเนื้อมะม่วงที่ปั่นละเอียด 10 กรัม ผสมกับกรดออกซาลิก นำมาไทเทรตกับสารละลาย 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ความเข้มข้น 0.04 เปอร์เซ็นต์ จนถึงจุดยุติที่สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู แล้วคำนวณหาปริมาณวิตามินซีโดยใช้ปริมาณ 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ที่ใช้ไปเทียบกับปริมาณ 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ที่ใช้กับกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ รายงานผลเป็นหน่วยมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด (mg/100gFW) [8]

ปริมาณแคโรทีนอยด์ โดยชั่งเนื้อมะม่วงที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธี freeze-dried แล้วบดละเอียด 1 กรัม ผสมกับสารละลายสกัดที่ประกอบด้วย เฮกเซน: แอซีโตน:เอทานอล อัตราส่วน 2:1:1 จากนั้นเติมน้ำกลั่นในสารละลาย 5 มิลลิลิตร ตูดสารละลายเฮกเซนชั้นบนสุด แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 450 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) (ยี่ห้อ Thermo รุ่น Genesys 10S Vis บริษัท Thermo scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา) คำนวณปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดเปรียบเทียบกับปริมาณ β -carotene มาตรฐาน รายงานผลเป็นหน่วยมิลลิกรัมต่อร้อยละน้ำหนักแห้ง (mg/100g DW) [9]

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งเนื้อมะม่วงที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธี freeze-dried แล้วบดละเอียด 1 กรัม สกัดด้วยเอทานอล 80 เปอร์เซ็นต์ ที่มีส่วนผสมของกรดฟอร์มิก 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้ว sonicated เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยการหมุนเหวี่ยงที่ 9000 รอบ/นาที เป็นเวลา 25 นาที ที่อุณหภูมิ

5 องศาเซลเซียส เก็บสารละลายเหนือตะกอน และสกัดตะกอนอีกครั้งด้วยสารสกัด 5 มิลลิลิตร ตามวิธีการข้างต้น แล้วเก็บสารละลายเหนือตะกอนครั้งที่สอง จากนั้นรวมสารละลายเหนือตะกอนทั้งสองครั้ง นำสารละลายที่ได้วัดปริมาณฟีนอลิกโดยใช้สารละลายเอทานอล 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับ Folin Ciocalteu 0.5 มิลลิลิตร บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 7.5% ปริมาตร 1.8 มิลลิลิตร บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที หลังจากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร คำนวณปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเปรียบเทียบกับปริมาณกรดแกลลิกมาตรฐาน รายงานผลเป็นหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง (mg/g DW) [9]

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle component analysis; PCA)

Principal component analysis (PCA) เป็นเทคนิคทางเคโมเมทริกซ์ (chemometrics) ที่ใช้วิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของข้อมูลหลายตัวแปร ซึ่งในการศึกษานี้คือคุณภาพทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ร้อยละน้ำหนักแห้ง ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก นำเสนอผลการวิเคราะห์โดยแสดงแผนภาพ score plot ระหว่าง PC1 และ PC2

ผลการศึกษา

ร้อยละน้ำหนักแห้ง

เนื้อมะม่วงปกติและเนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเน่าในมีร้อยละน้ำหนักแห้งน้อยที่สุด คือ 43.83 ± 0.36 และ 46.01 ± 0.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน เนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเสียน้ำ และเนื้อที่แสดงอาการเสียน้ำ (Table 1)

ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้

จากผลการทดลอง พบว่า เนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเน่าไม่มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เท่ากับร้อยละ 1.36 ± 0.14 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเสี้ยนดำที่มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เท่ากับร้อยละ 0.53 ± 0.06 แต่ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงทั้งสองกรรมวิธีข้างต้นไม่แตกต่างกับปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงปกติ เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน และเนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเสี้ยนดำที่มีค่าเท่ากับร้อยละ

1.10 ± 0.07 , 0.99 ± 0.09 และ 0.78 ± 0.07 ตามลำดับ (Table 1)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าไม่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้น้อยที่สุด คือ ร้อยละ 12.03 ± 0.93 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเนื้อมะม่วงปกติ เนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน เนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเสี้ยนดำ และเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเสี้ยนดำ ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 15.50 ± 2.49 - 17.38 ± 0.30 (Table 1)

Table 1 Dry weight, titratable acidity and total soluble solids of 'Namdokmai Sithong' mango pulps obtained from normal, internal breakdown, and black-streaked vascular fruit

Treatments	Dry weight (%)	Titratable acidity (%)	Total soluble solids (%)
Normal fruit	$43.83 \pm 0.36b^*$	$1.10 \pm 0.07ab^*$	$17.38 \pm 0.30a^*$
Normal pulp of internal breakdown	$46.01 \pm 0.85b$	$1.36 \pm 0.14a$	$16.78 \pm 0.66a$
Internal breakdown pulp	$57.99 \pm 2.85a$	$0.99 \pm 0.09ab$	$12.03 \pm 0.93b$
Normal pulp of black-streaked	$57.62 \pm 3.94a$	$0.78 \pm 0.07ab$	$16.28 \pm 1.87a$
Black-streaked pulp	$62.10 \pm 2.76a$	$0.53 \pm 0.06b$	$15.50 \pm 2.49a$

Note: * = significant, Means followed by different letters within the same column are significantly different at $P < 0.05$; Mean $\pm$ SE, n=3

ปริมาณวิตามินซี

การศึกษาปริมาณวิตามินซีของเนื้อมะม่วง พบว่า ทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกัน อยู่ในช่วงระหว่าง 3.38 ± 0.25 - 11.20 ± 2.65 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (Table 2)

ปริมาณแคโรทีนอยด์

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของเนื้อมะม่วงในทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.20 ± 0.06 - 1.40 ± 0.19 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Table 2)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

สำหรับการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเนื้อมะม่วง พบว่า เนื้อมะม่วงปกติ เนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน เนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเสี้ยนดำ และเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเสี้ยนดำ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่แตกต่างกัน คือมีค่าอยู่ในช่วง 2.76 ± 0.34 - 5.55 ± 0.24 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าในที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุดเท่ากับ 52.74 ± 6.18 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (Table 2)

Table 2 Vitamin C content, carotenoid content and phenolic compound of 'Namdokmai Sithong' mango pulps obtained from normal, internal breakdown, and black-streaked vascular fruit

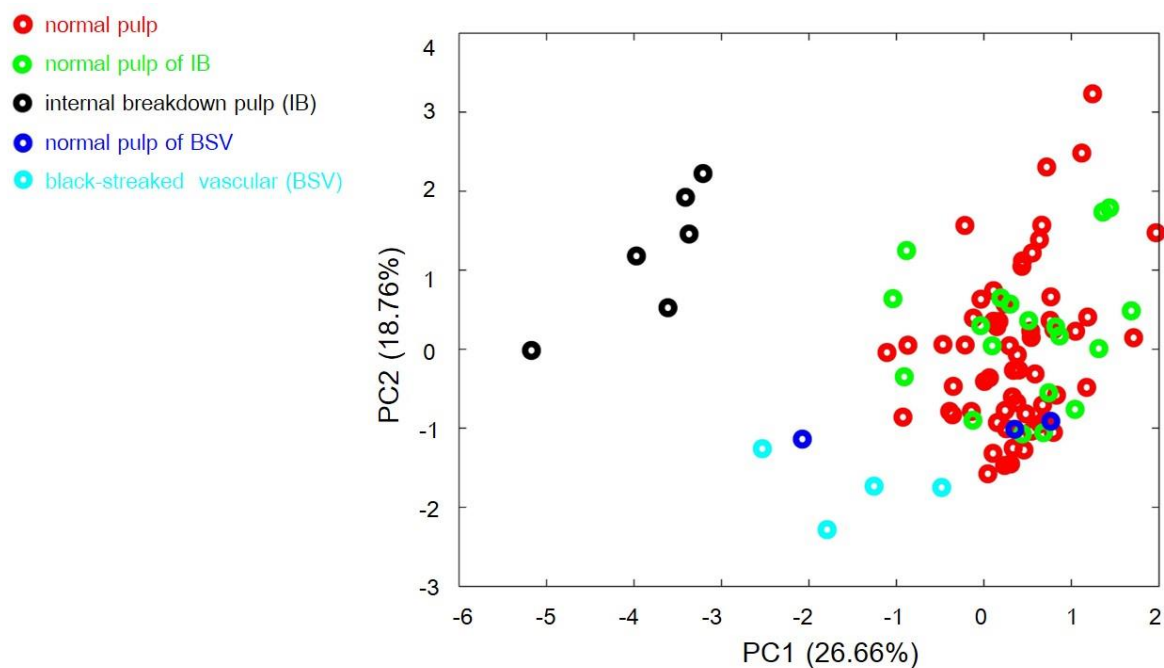
Treatments	Vitamin C content (mg/100g FW)	Carotenoid content (mg/100g DW)	Phenolic compound (mg/g DW)
Normal fruit	9.75±1.80 ^{ns}	1.28±0.09 ^{ns}	4.35±0.09b*
Normal pulp of internal breakdown	11.20±2.63	1.40±0.19	5.55±0.24b
Internal breakdown pulp	7.69±1.28	0.20±0.06	52.74±6.18a
Normal pulp of black-streaked	5.14±0.59	1.04±0.18	2.76±0.34b
Black-streaked pulp	3.38±0.25	0.60±0.13	3.20±0.91b

Note: ns = non-significant, * = significant; Means followed by different letters within the same column are significantly different at $P < 0.05$; Mean±SE, n=3

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle component analysis; PCA)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักโดยใช้ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี ได้แก่ ร้อยละน้ำหนักแห้ง ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

ปริมาณวิตามินซี ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก พบว่า PCA สามารถลดจำนวนตัวแปรและรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในองค์ประกอบ (PC) เดียวกัน โดยการใช้ PC1 และ PC2 สามารถแสดงความแปรปรวนที่สำคัญของข้อมูลได้ 45.42 เปอร์เซ็นต์ (Figure 2)

**Figure 2.** PCA score plot of physico-chemical qualities of 'Namdokmai Sithong' mango fruit

วิจารณ์

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเนื้อมะม่วงปกติและเนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเน่าในมีร้อยละน้ำหนักแห้งต่ำกว่าน้ำหนักแห้งของเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน เนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเสี้ยนดำและเนื้อที่แสดงอาการเสี้ยนดำ (Table 1) ทั้งนี้มีรายงานว่ามะม่วงที่มีลักษณะผิดปกติจะมีร้อยละน้ำหนักแห้งสูงกว่ามะม่วงผลปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการผิดปกติมีปริมาณน้ำในเซลล์ต่ำกว่าเนื้อปกติ โดยทั่วไปแล้วเซลล์ของพืชประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 80 - 95 ของน้ำหนักสด เมื่อเซลล์พืชเสียหาย ส่งผลให้โครงสร้าง เช่น เยื่อหุ้มเซลล์หรือเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์ต่าง ๆ สูญเสียคุณสมบัติในการผ่านเข้าออกของน้ำภายในเซลล์ จึงทำให้เซลล์พืชที่เสียหายเกิดการสูญเสียน้ำได้ [10,11]

นอกจากนี้เนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเน่าในมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ไม่แตกต่างกับเนื้อมะม่วงปกติ เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าในและเนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเสี้ยนดำ แต่มีค่ามากกว่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเสี้ยนดำ (Table 1) เนื่องจากมะม่วงเป็นผลไม้ที่เป็นแหล่งของสารอาหารสำคัญ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีนกรดแอมิโน และกรดอินทรีย์ [12] โดยเฉพาะกรดอินทรีย์เป็นสารตั้งต้นสำคัญในกระบวนการหายใจของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังเป็นสารประกอบที่เกี่ยวข้องกับรสชาติและส่งผลถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยตรง ในระหว่างการแก่และการสุกของผลปริมาณกรดอินทรีย์จะลดลง ทั้งนี้กรดอินทรีย์ที่พบมากในระหว่างที่ผลแก่ คือ กรดซิตริก กรดซักซินิก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริก โดยมีปริมาณกรดซิตริกมากที่สุดและมีปริมาณกรดทาร์ทาริกน้อยที่สุด [13,14,15] มีงานวิจัยที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีและชีวเคมีของผลมะม่วงปกติและผลมะม่วงที่มีความผิดปกติทางสรีรวิทยา พบว่ามะม่วงดังกล่าวมีส่วนประกอบทางเคมีและเมแทบอลิซึมแตกต่างกัน [6,16] ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะผิดปกติทางสรีรวิทยา สภาพแวดล้อม พื้นที่ และสายพันธุ์มะม่วง [6,17,18]

สำหรับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้พบว่า เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าในมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่ำที่สุด ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเนื้อมะม่วงปกติ เนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน เนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเสี้ยนดำ และเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเสี้ยนดำ (Table 1) โดยทั่วไปในระหว่างที่มะม่วงเข้าสู่กระบวนการสุก พบว่า มีกิจกรรมของเอนไซม์ amylase เพิ่มขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยว ในขณะที่ปริมาณแป้งลดลง และเกิดการสะสมน้ำตาลชนิดต่าง ๆ เพิ่มขึ้นภายในเซลล์ กรณีของมะม่วงที่แสดงอาการเน่าในเกิดจากความไม่สมดุลของธาตุอาหาร ได้แก่ แคลเซียมและโบรอน ส่งผลให้เกิดความเสียหายของเนื้อผลเป็นบริเวณกว้าง (Figure 1B) การเกิดกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ เช่น การเคลื่อนย้ายน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ รวมทั้งการสร้างและสะสมแป้งในเอมิโลพลาสต์ (amyloplast) จึงไม่เกิดขึ้น อีกทั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุกผิดปกติ ส่งผลให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่ามะม่วงผลปกติ [3,10,19,20]

จาก Table 2 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณวิตามินซีของเนื้อมะม่วงทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณวิตามินซีในพืชชั้นสูงนั้นเป็นผลมาจากสิ่งเร้าหรือความเครียด สามารถควบคุมกระบวนการตอบสนองของพืชต่อความเครียดและการเข้าทำลายของโรคพืช โดยทั่วไปวิตามินซีมีคุณสมบัติในการป้องกันโรค และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Reactive oxygen species; ROS) เนื่องจากมีความไวต่อการเกิดออกซิเดชันสูง โดยผ่านเอนไซม์แอสคอร์เบตออกซิเดส (ascorbate oxydase) เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ascorbic acid (AsA) เป็น dehydroascorbate (DHA) เปลี่ยนโมเลกุลของออกซิเจน (O_2) ให้เป็นน้ำ (H_2O) [21]

เช่นเดียวกับปริมาณแคโรทีนอยด์ของเนื้อที่มีค่าไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ผลมะม่วงที่แสดงอาการเน่าในและอาการเสี้ยนดำเกิดความเสียหายและเนื้อเยื่อถูกทำลาย สามารถพบได้ตั้งแต่ระยะผลอ่อนจนถึงระยะผลแก่ทางการค้า เมื่อเนื้อเยื่อถูกทำลายจึงเกิดการยับยั้งการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ อีกทั้งยังเกิดการ

ออกซิไดซ์ด้วยอนุมูลอิสระ ทำให้เกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ในเนื้อเยื่อ ส่งผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อมะม่วงลดลง [19]

นอกจากนี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเนื้อมะม่วงปกติ เนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน เนื้อปกติของมะม่วงที่แสดงอาการเสียน้ำ และเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเสียน้ำ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไม่แตกต่างกัน แต่เนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าใน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าประมาณ 10-19 เท่า เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกมีคุณสมบัติในการป้องกันการเกิดความเสียหายของเนื้อเยื่อ และยับยั้งการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ก่อโรคในผลไม้ โดยสารประกอบฟีนอลิกส่งผลต่อกระบวนการทำงานของเซลล์ ทำหน้าที่ในการรีดิวซ์อนุมูลอิสระ (Reactive oxygen species; ROS) ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ โดยเป็นผลมาจากการแตกตัวของอิเล็กตรอนบนวงแหวนแอโรมาติก (aromatic ring) นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกมีส่วนสำคัญในการป้องกันความเครียดทางชีวภาพ เช่น การเข้าทำลายของจุลินทรีย์ก่อโรคหรือการเกิดความผิดปกติทางสรีรวิทยา [21] ดังนั้นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการเน่าในที่มีปริมาณสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อาจถูกสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายของเนื้อเยื่อ และถูกนำไปใช้เพื่อต้านอนุมูลอิสระภายในเซลล์ของมะม่วงที่เกิดจากความไม่สมดุลของการเกิดอนุมูลอิสระ (oxidative stress)

สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักแสดงให้เห็นการแบ่งกลุ่มที่ชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งมะม่วงที่มีอาการเน่าใน (internal breakdown) ที่มี scores ของ PC1 และ PC2 อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันและถูกแยกจากกลุ่มของเนื้อมะม่วงปกติและเนื้อมะม่วงที่มีอาการเสียน้ำ นอกจากนี้แผนภาพ PCA score plot ยังแสดงให้เห็นการรวมตัวของกลุ่มตัวอย่างมะม่วงเนื้อปกติที่ชัดเจน (Figure 2) แสดงว่าตัวอย่าง

มะม่วงกลุ่มนี้มีข้อมูลคุณภาพที่ใกล้เคียงกัน (ความแปรปรวนใกล้เคียงกัน) การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า PCA สามารถช่วยลดจำนวนตัวแปรอิสระ (X) โดยการแบ่งกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเพื่อสร้างตัวแปรใหม่ เรียกว่า principle component (PC) โดย PC1 จะอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลเดิมได้มากที่สุดเสมอ และ PC ลำดับถัดมาจะอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลลดน้อยลงตามลำดับ [22]

จากการศึกษาสรุปได้ว่า อาการเน่าใน และอาการเสียน้ำ ส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพและส่วนประกอบเคมีของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง ได้แก่ ร้อยละน้ำหนักแห้ง ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณวิตามินซี และปริมาณแคโรทีนอยด์ของเนื้อมะม่วง สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก พบว่า สามารถแสดงรายละเอียดข้อมูลของเนื้อมะม่วงได้ถึงร้อยละ 45.42 ทั้งนี้งานวิจัยนี้ทำให้ทราบคุณภาพทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อมะม่วงปกติและเนื้อมะม่วงที่แสดงอาการผิดปกติ อีกทั้งสามารถนำผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักไปเป็นข้อมูลเบื้องต้นประกอบการตัดสินใจ และนำไปประยุกต์ใช้เพื่อจำแนกลักษณะอาการผิดปกติภายในของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองด้วยเทคนิคเคมิเมตริกซ์ (chemometrics)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว และภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่เครื่องมือ และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ที่ใช้ทำการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Tharanathan RN, Yashoda HM, Prabha TN. Mango (*Mangifera indica* L.), "The king of fruits"-an overview. Food Rev Int. 2006; 22: 95-123.
2. Shivashankar S. Physiological disorders of mango fruit. Hortic Rev. 2014; 42: 313-347.
3. Poovarodom S. Calcium and boron fertilizer. In: Rudanachaless T, Kumpoun W, Jaroenkit T,. Mango production and postharvest technology, 1st ed. Bangkok: Postharvest Technology Innovation Center, Ministry of Higher Education; 2013. p. 239-246.
4. Shreedevasena S, Sankar PM. Resin canal discolouration (RCD) – A great handling disorder in mango (*Mangifera indica* L.). Biotica. 2020; 2(6): 405-406.
5. Ma X, Yao Q, Ma H, Wu H, Zhou Y, Wang S. Relationship between internal breakdown and mineral nutrition in the flesh of 'Keitt' mango. Acta Hortic. 2018; 1217: 351-356.
6. Raymond L, Schaffer B, Brecht JK, Crane JH. Internal breakdown in mango fruit: symptomology and histology of jelly seed, soft nose and stem-end cavity. Postharvest Biol Technol. 1998; 13: 59-70.
7. AOAC. Official Methods of Analysis: Association of Official Analytical Chemists, 17th ed. Washington, DC: AOAC International; 2000. 4377 p.
8. Ranganna S. Handbook of Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Product, 2nd ed. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited; 1986. 1111 p.
9. Romainum IM, Worarad K, Srilaong V, Yamane K. Fruit quality and antioxidant capacity of six Thai mango cultivars. Agric Nat Resour. 2018; 15: 1-7.
10. Boonyakiat D. editor. Plant physiology, 1st ed. Chiang Mai: Faculty of Agriculture, Chiang Mai University; 2020. 292 p.
11. Raymond L, Schaffer B, Brecht JK, Hanlon EA. Internal breakdown, mineral element concentration, and weight of mango fruit. J Plant Nutr. 1998; 21(5): 871-889.
12. Bernardes SAP, Nascimento JRO, Lajolo FM, Cordenunsi BR. Starch mobilization and sucrose accumulation in the pulp of Keitt mangoes during postharvest ripening. J Food Biochem. 2008; 32: 384-395.
13. Shashirekha MS, Patwardhan MV. Changes in amino acids, sugars and nonvolatile organic acids in a ripening mango fruit (*Mangifera indica*, Badami variety). Lebensm Wiss Technol. 1976; 9: 369-370.
14. Sarker S, Muhsi AA. A study on the content and interconversions of organic acids of mango (*Mangifera indica* L.) at various stages of fruit development. Bangladesh J Agricult Res. 1981; 8: 69-75.
15. Medlicott AP, Thompson AK. Analysis of sugar and organic acids in ripening mango fruit (*Mangifera indica* var. Keitt) by high performance liquid chromatography. J Sci Food Agric. 1985; 36: 561-566.
16. Lima LCO, Chitarra AB, Chitarra MIF. Enzymatic activity changes in spongy tissue: a physiological ripening disorder of 'Tommy Atkins' mango. Acta Hortic. 1999; 485: 255-258.
17. Burdon M, Moore KG, Wainwright H. Mineral distribution in mango fruit susceptible to the physiological disorder soft nose. Sci Hortic. 1991; 48: 329-336.
18. Chitarra MIF, Chitarra AB, Lima LC. Internal breakdown in mango fruit: changes in cell wall compounds. Acta Hortic. 1999; 485: 91-96.

19. Siriphanich J. Postharvest biology and plant senescence, Nakhon Pathom: Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus; 2006. 453 p.
20. Mitra SK. Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits. Oxfordshire, UK: CAB International; 1997. 431 p.
21. Nath P, Bouzayen M, Matto AK, Pech JC. Fruit Ripening Physiology, Signalling and Genomics. Croydon, UK: CPI Group (UK) Ltd; 2014. 674 p.
22. Ketnark K. Moisture content determination of arabica green coffee by near infrared spectroscopy, Chiang Mai: Chiang Mai University; 2556. 106 p.