

การเร่งการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ไม้ต่อคุณลักษณะทางเคมีกายภาพ และสารหอมระเหย

Acceleration of 'Nam Dok Mai' Mango Ripening Effecting Physicochemical and Volatile Characteristics

วรวัณช์ ชิมพะเนาวิ
Warawaran Shimbhanao *

วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ. เชียงใหม่ 50300

College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai 50300, Thailand

*Corresponding author: Email: warawaran@rmu.ac.th

(Received: 13 November 2017 ; Accepted: 8 June 2018)

Abstract: The effects of ethephon (250, 500, 750 and 1,000 mg/L) and calcium carbide on the physicochemical changes and volatile compounds characteristics in Nam Dok Mai mango fruits was investigated. The results of this research showed that using ethephon at 750 and 1,000 mg/L and calcium carbide as ripening accelerators caused mangoes became ripening after 3 days. However, the fruits ripening characteristics and taste were different. Ethephon at 750 and 1,000 mg/L, provided mango peel as yellowish green, yellow mango flesh similarly to ripen fruit, however, it was still firm in texture and sweet to sour taste. The mango texture and taste quality was suitable for processing. For commercial purpose, the use of ethephon at 750 mg/L was the best choice in terms of quality, safety and cost-effectiveness. In contrast, the use of calcium carbide led to the inconsistent ripeness of mango fruits, too soften of texture, and too sweet taste. Thus, it was not suitable for further processing. Volatile compounds of mango pulp were identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), the most common volatile compounds found in the ripe mangoes was butanoic acid; followed by 3-carene, 4-carene, α -pinene, octanoic acid, 1,3,6-octatriene, β -caryophyllene, α -caryophyllene and (3E,5Z)-undeca-1,3,5-triene. In addition, using ethephon at 750 mg/L and calcium carbide to accelerate the ripeness, the mango flesh contained volatile compounds twice times compared to the control group (mangoes that were naturally ripened).

Keywords: Mango, ethephon, calcium carbide, physicochemical characteristics, volatile compounds

บทคัดย่อ: ผลของสารเอทีฟอน (250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) และการใช้ถ่านแก๊สหรือแคลเซียมคาร์ไบด์ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางเคมีกายภาพและสารหอมระเหยในเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง พบว่าผลมะม่วงดิบ ที่นำมาเร่งการสุกโดยใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และการใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ เริ่มสังเกตเห็นการสุกของเนื้อมะม่วงเมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน เท่ากัน แต่มีลักษณะการสุกและรสชาติแตกต่างกัน โดยการใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เปลือกมะม่วงมีสีเหลืองปนเขียว เนื้อมะม่วงมีสีเหลืองแบบมะม่วงสุก แต่ยังมีลักษณะแข็งและแน่นอยู่ เนื้อมะม่วงมีรสหวานอมเปรี้ยว ซึ่งลักษณะเนื้อมะม่วงที่ได้รวมถึงรสชาติมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปแปรรูปต่อ ซึ่งหากนำไปใช้ทางการค้า การใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความเหมาะสมมากที่สุด ทั้งคุณภาพผลมะม่วงสุกที่ได้รวมถึงความปลอดภัยและความประหยัด ในขณะที่การใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ ผลมะม่วงที่ได้มีการสุกที่ไม่สม่ำเสมอ รวมถึงลักษณะเนื้อมะม่วงที่มีลักษณะนิ่มเกินไปและรสชาติที่หวานเกินไป จึงไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปแปรรูปต่อ เมื่อวิเคราะห์สารหอมระเหยในเนื้อมะม่วงโดยใช้ gas chromatography - mass spectrometry (GC-MS) พบว่าสารประกอบระเหยที่พบมากในเนื้อมะม่วงสุกคือ butanoic acid และ รองลงมาคือ สาร 3-carene, 4-carene, α -pinene, octanoic acid, 1,3,6-octatriene, β -caryophyllene, α -caryophyllene และ (3E,5Z)-undeca-1,3,5-triene นอกจากนี้ ยังพบว่าการเร่งการสุกโดยใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร และการใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ ทำให้เนื้อมะม่วงมีปริมาณสารหอมระเหยมากกว่าเนื้อมะม่วงที่ปล่อยให้สุกเองถึงเกือบ 2 เท่า

คำสำคัญ: มะม่วง เอทีฟอน แคลเซียมคาร์ไบด์ คุณลักษณะทางเคมีกายภาพ สารหอมระเหยให้กลิ่น

คำนำ

มะม่วงเป็นไม้ผลเมืองร้อนที่เป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญ (โจฮันเนส และคณะ, 2561) เป็นผลไม้ประเภทไคโตแมคเทอริค เมื่อผลเริ่มสุก อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน (C_2H_4) จะเพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับสูงสุดแล้วกลับลดลง รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีมีการเปลี่ยนแปลงไป มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solids) และปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น ทำให้รสชาติของเนื้อมะม่วงหวานขึ้น เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มลง และมีกลิ่นเฉพาะตัวเกิดขึ้น (Kader and Mitcham, 2008) โดยเกิดจากสารระเหยประกอบไปด้วยสารประกอบ esters, aldehydes และ ketones เป็นส่วนใหญ่ เช่น hexanol, caryophyllene, elemene และ amorphene เป็นต้น (Luangprasert *et al.*, 2010) โดยทั่วไปแล้วมะม่วงสามารถปล่อยให้สุกเองได้ แต่อาจช้าและทำให้เกิดการเน่าเสีย เนื่องจากการทำลายของเชื้อโรคต่าง ๆ และหากเก็บเกี่ยวผลที่มีความบริบูรณ์ไม่สม่ำเสมอ จะทำให้ผลสุกไม่พร้อมกัน ผลมะม่วงมีคุณภาพต่ำ สีผิวไม่สวย และสูญเสียน้ำหนักมาก การบ่ม จึงถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว รวมถึงใช้ในการกำหนดวันสุกของผลไม้ (อภิธา, 2556)

การบ่มผลไม้โดยทั่ว ๆ ไปมีด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ การบ่มด้วยแก๊สเอทิลีน (ethylene) การใช้ถ่านแก๊สหรือแคลเซียมคาร์ไบด์ (calcium carbide, CaC_2) การใช้สารเอทีฟอน (ethephon) และการบ่มโดยใช้อุณหภูมิ (Kader, 1985) การบ่มผลไม้ด้วยแก๊สเอทิลีน ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชที่ช่วยเร่งการสุกของผลไม้ ทำได้โดยการนำผลไม้ไปรวมกันในสถานที่หรือภาชนะปิดที่มีการถ่ายเทอากาศเกิดขึ้นได้น้อย เช่น การคลุมด้วยผ้าหนา ๆ หรือกระสอบ เพื่อให้เอทิลีนไปกระตุ้นให้ผลไม้สุก ทั้งไ้ระยะหนึ่งก็เอาผลไม้ออกมาวางไว้ข้างนอก เพื่อปล่อยให้สุกตามธรรมชาติ วิธีนี้มีการใช้ทั่วไปในต่างประเทศ (Kader and Mitcham, 2008) ส่วนในประเทศไทยจะเหมาะสำหรับการบ่มผลไม้ปริมาณมาก ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อการส่งออก มีการใช้สารต่าง ๆ ในบ่มผลไม้ ได้แก่ แก๊สเอทิลีน อะเซทิลีน และเอทีฟอน (อภิธา, 2556) อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้วชาวสวนหรือพ่อค้าขายส่งในประเทศไทย นิยมใช้ถ่านแก๊สหรือแคลเซียมคาร์ไบด์ในการเร่งการสุกของผลไม้ อัตราส่วน 10 กรัม ต่อผลไม้ 3-5 กิโลกรัม ซึ่งแคลเซียมคาร์ไบด์จะทำปฏิกิริยากับถ่านแก๊สได้เป็นแก๊สอะเซทิลีน ซึ่งมีสมบัติเร่งการสุกของผลไม้ได้ คล้ายกับเอทิลีนที่ช่วยเร่งให้ผลไม้สุกเร็วขึ้น (อภิธา, 2556) ประเทศ

ในแถบยุโรปได้ห้ามใช้แคลเซียมคาร์ไบด์กับผลิตผลทางการเกษตรทั้งก่อนและหลังเก็บเกี่ยว เนื่องจากแคลเซียมคาร์ไบด์ทำให้มีกลิ่นติดผลิตผล และการใช้ในปริมาณมาก ๆ สามารถก่อให้เกิดอันตรายกับระบบทางเดินหายใจได้ (จริงแท้, 2544) สำหรับการบ่มผลไม้โดยใช้สารเอทีฟอน ซึ่งเป็นสารปลดปล่อยแก๊สเอทิลีนที่มีชื่อการค้าต่าง ๆ กัน เช่น อีเทรล โปรเทรล และฟลอเรล เป็นต้น โดยปกติจะเป็นของเหลว เมื่อจะใช้ก็นำมาผสมน้ำให้เจือจางแล้วจุ่มผลไม้ก็จะเร่งการสุกได้ หลักการคือ สารนี้ถ้าอยู่ในสภาพที่ไม่ใช่กรด จะเกิดการแตกตัวปล่อยแก๊สเอทิลีนออกมา ทำให้ผลไม้สุกเหมือนการบ่มด้วยแก๊สเอทิลีนโดยตรง (Kader and Mitcham, 2008) เอทีฟอนแม้ถูกจัดว่าเป็นสารที่มีอันตรายชนิดหนึ่ง แต่ยังคงมีรายงานการใช้ในการบ่มผลไม้ทางการค้าโดยทั่วไป เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่ยุ่งยากและมีต้นทุนไม่สูงนัก ซึ่ง US-EPA ได้รายงานไว้ว่า อัตราที่ยอมรับให้เข้าสู่ร่างกายโดยไม่เป็นอันตรายคือ 7.5 มก./กก./วัน ปริมาณสูงสุดที่คนปกติจะรับเข้าสู่ร่างกายได้คือ ไม่เกิน 4.5 มก./วัน หรือในระดับความเข้มข้นไม่เกิน 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้น ในการใช้งานจึงควรมีการศึกษาถึงปริมาณที่เหมาะสม (จริงแท้, 2544)

จากงานวิจัยการบ่มมะม่วง (Slaughter, 2009) และกล้วย (Quoc and Duy, 2014) ด้วยสารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 200-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยจุ่มผลไม้มะม่วงและกล้วยลงในสารละลายดังกล่าวแล้วยกขึ้นโดยไม่ต้องแช่ไว้ แล้วนำมาหึ่งหรือวางกองเรียงกัน พบว่าทั้งผลมะม่วงและกล้วยนั้นก็จะเริ่มสุกได้ภายใน 3 วัน หลังจากนั้น โดยจะสุกอย่างสม่ำเสมอพร้อมกัน สำหรับการบ่มกล้วยหอมทองนั้นสามารถบ่มให้สุกได้ที่สภาพอุณหภูมิห้อง แต่กล้วยหอมพันธุ์แกรนด์เนนต้องบ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (Quoc and Duy, 2014) Slaughter (2009) ศึกษาการเร่งการสุกของผลมะม่วงดิบพันธุ์ Haden, Tommy Atkins, Van Dyke, Carrie, Palmer และ Edwards โดยจุ่มลงในสารละลายเอทีฟอนที่ความเข้มข้น 500 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส พบว่าผลมะม่วงดิบพันธุ์ Carrie มีการสุกเกิดขึ้นภายหลังการจุ่มเป็นเวลา 3 วัน สำหรับผลมะม่วงดิบพันธุ์อื่น ๆ มีการสุกเกิดขึ้น

ภายหลังการจุ่มเป็นเวลา 4-5 วัน และภายหลังการสุกของผลมะม่วงพบว่า มีการเปลี่ยนสีผิวจากเขียวเป็นเหลืองในลักษณะที่สม่ำเสมอ เนื้อมะม่วงมีความอ่อนนุ่มลง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่บ่งบอกปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น และค่า pH ที่บ่งบอกปริมาณกรดลดลง ทำให้รสชาติโดยรวมหวานขึ้น สำหรับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ผลแก่บริบูรณ์ (อายุ 90-105 วัน) ควรบ่มที่อุณหภูมิ 20-22 องศาเซลเซียส (Jha et al., 2010)

ผลไม้สุกจากการบ่มอาจมีรสชาติไม่เหมือนกับผลไม้ที่สุกตามธรรมชาติ เพราะในการสุกของผลไม้ตามธรรมชาติ มีกระบวนการเปลี่ยนแปลงหลายกระบวนการ เช่น การเปลี่ยนน้ำตาลเป็นน้ำตาล การสลายตัวของกรด การอ่อนนุ่มของเนื้อ การเปลี่ยนสี และการเปลี่ยนกลิ่นที่มาจากสารหอมระเหย ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ มีอัตราความเร็วของการเปลี่ยนแปลงไม่เท่ากัน แต่ผลไม้ที่บ่มให้สุกด้วยเอทิลีน สามารถเร่งกระบวนการสุกของผลไม้ได้ในระยะเวลาอันสั้น และทำให้ผลไม้สุกพร้อมกันและมีคุณภาพดีขึ้น (นิธิยา และดนัย, 2548) นอกจากนี้ยังได้รับโจทย์จากทางบริษัทลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ผู้ผลิตมะม่วงแช่เยือกแข็งรายใหญ่ของทางภาคเหนือ ที่มีความต้องการในการเร่งการสุกของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองก่อนเข้าสู่กระบวนการแปรรูปโดยการแช่เยือกแข็ง โดยมีความสนใจในการใช้สารเอทีฟอนและการใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ในการเร่งการสุก ซึ่งมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองนั้น ยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการบ่มผลมะม่วงพันธุ์ดังกล่าวมากนัก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารเอทีฟอนและการใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางเคมีกายภาพและสารหอมระเหยในเนื้อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง

อุปกรณ์และวิธีการ

การเร่งการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง

ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองดิบที่มีอายุใกล้เคียงกัน นำมาเร่งการสุก โดยการใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และการใช้ถ่านแก๊สหรือแคลเซียมคาร์ไบด์

เปรียบเทียบกับผลมะม่วงที่ปล่อยให้สุกตามธรรมชาติ (ชุดควบคุม) ทำที่รีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 1 ระยะเวลา ๆ ละ 30 ผล วางแผนการทดลองแบบ CRD การใช้สารละลายเอทีฟอนทำได้โดยแช่ผลมะม่วงในสารละลายเอทีฟอน (ชื่อทางการค้า อีเทรล® 48 พีจีอาร์, Ethrel® 48 PGR) ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ใช้เวลานาน 1 นาที นำผลมะม่วงมาตั้งทิ้งไว้ในห้องบ่ม รอให้ผลมะม่วงแห้ง จึงบรรจุลงในตะกร้าพลาสติกชนิด High-density polyethylene (HDPE) จากนั้นทำการคลุมด้วยผ้าเตนท์ โดยมีการเปิดผ้าเตนท์ออกในเวลา 12.00-18.00 น. ของทุกวัน บันทึกอุณหภูมิระหว่างการเร่งการสุกอยู่ที่ 28-34 องศาเซลเซียส สำหรับการใส่แคลเซียมคาร์ไบด์ในการเร่งการสุกนั้น โดยนำถ่านแก๊สหรือแคลเซียมคาร์ไบด์มาทุบให้มีขนาดเล็กลงห่อด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ ห่อละ 10 กรัม ใส่ตะกร้าละ 5 ห่อ ให้ทั่วตะกร้าพลาสติกที่บรรจุผลมะม่วงและคลุมตะกร้าพลาสติกด้วยผ้าเตนท์ สำหรับผลมะม่วงชุดควบคุมที่ปล่อยให้สุกตามธรรมชาตินั้น ผลมะม่วงจะถูกบรรจุไว้ในตะกร้าพลาสติกมีการคลุมด้วยผ้าเตนท์และเปิดออกในลักษณะเดียวกัน จากนั้นติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางเคมีกายภาพของผลมะม่วงทุกวันจนครบ 7 วัน สำหรับการเปลี่ยนแปลงสารหอมระเหยในเนื้อมะม่วง ทำการวิเคราะห์ในเนื้อผลมะม่วงที่ผ่านการเร่งการสุก โดยคัดเลือกความเข้มข้นของสารละลายเอทีฟอนที่เหมาะสมต่อการเร่งการสุกของผลมะม่วงมากที่สุด ผลมะม่วงที่เร่งการสุกด้วยถ่านแก๊ส และผลมะม่วงจากชุดควบคุม จากนั้นนำไปวิเคราะห์สารหอมระเหยในเนื้อมะม่วง

การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและสารหอมระเหย

การวิเคราะห์ค่าสีเปลือกของผลมะม่วงด้วยเครื่องวัดสี (colorimeter, Hunter Associates Laboratory, ColorQuest XE, USA.) โดยวัดค่าสีเปลือกบนเปลือกผลมะม่วงบริเวณจุดกึ่งกลางของผลและปลายทั้งสองด้าน ด้านละ 3 จุด ค่าสีที่วัดได้บันทึกเป็นค่า L^* , chroma และ hue angle (McGuire, 1992) การวิเคราะห์ความแน่นเนื้อของผลมะม่วง (firmness) โดยการใช้เครื่อง fruit pressure tester (Newton, N) (FACCHINI-48011, ALFONSINE,

Italy) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ในเนื้อมะม่วง ทำการวิเคราะห์ตามวิธีของ AOAC (2005) และการวิเคราะห์องค์ประกอบสารให้กลิ่น โดยใช้วิธี dynamic headspace-solid phase microextraction gas chromatography mass spectrometer (DHS-SPME-GC-MS, Agilent Technology) (Wongpornchai *et al.*, 2003) ด้วยเครื่อง gas chromatograph-mass spectrometer (GC-MS, Agilent 7890A, Agilent Technologies, Palo Alto, California, USA) ที่มีการใช้ไฟเบอร์ในการดักจับกลิ่นของเนื้อมะม่วงสุก โดยไฟเบอร์ที่ใช้คือ 100 μ m Polydimethylsiloxane DVB/Carboxen™/PDMS StableFlex™ โดยทำการอุ่นสารตัวอย่างจำนวน 5 กรัม ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที ให้ไฟเบอร์ดูดซับไอสารระเหยเป็นเวลา 20 นาที และฉีดเข้าเครื่อง GC-MS ที่อุณหภูมิ injector 250 องศาเซลเซียส นาน 42 นาที วิเคราะห์โดยใช้คอลัมน์ชนิด DB5-MS (Agilent Technologies) (ความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร หน้า 0.25 ไมโครเมตร) มีแก๊สฮีเลียมเป็นตัวพาที่อัตราไหลคงที่ 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที ตั้งโปรแกรมระบบอุณหภูมิของ oven ที่ 40 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิที่อัตรา 5 องศาเซลเซียส ต่อนาที จนถึง 200 องศาเซลเซียส คงที่ไว้ 10 นาที วิเคราะห์สารหอมระเหยด้วยเครื่อง mass spectrometer detector (MSD 5975C, Agilent Technology) (scan range 50-550 amu) ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส ที่ภาวะเครื่อง 70 eV โดยบ่งชี้คุณลักษณะของสารระเหยเทียบกับ Wiley 275 Mass Spectral Library และ NIST Mass Spectral Library ที่ %quality match ร้อยละ 80

ผลการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลมะม่วง

ผลมะม่วงดิบเมื่อเริ่มต้นการทดลองเปลือกมีสีเขียวทั่วทั้งผล วัดสีเปลือกของผลมะม่วงเป็นค่า L^* , chroma และ hue angle ดังแสดงในตารางที่ 1-3 จากผลการทดลองพบว่า สีเปลือกของผลมะม่วงดิบมีค่า L^* เท่ากับ 55.87 ค่า chroma เท่ากับ 29.14 และค่า hue angle เท่ากับ 91.28 เริ่มสังเกตเห็นผลมะม่วงเข้าสู่ระยะ

Table 1. L* value change of mango peel subjected to ethephon and calcium carbide

Treatment	Day 1	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7
Control	55.87	61.08 ^d	61.26 ^d	61.20 ^c	63.40 ^b	63.80
250 mg/L Ethephon	55.87	63.92 ^c	65.12 ^c	67.45 ^b	64.27 ^a	
500 mg/L Ethephon	55.87	63.82 ^c	69.80 ^b	71.33 ^a		
750 mg/L Ethephon	55.87	67.22 ^b	71.71 ^{ab}	71.35 ^a		
1,000 mg/L Ethephon	55.87	67.00 ^{ab}	72.24 ^a	70.32 ^a		
Calcium carbide	55.87	69.17 ^a	70.56 ^{ab}	70.38 ^a		
LSD _{0.05}	ns	2.01	2.14	2.13	0.43	

Data are expressed as mean values. Mean values with different superscripts in the same column differ significantly at $P \leq 0.05$

Table 2. Chroma value change of mango peel subjected to ethephon and calcium carbide

Treatment	Day 1	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7
Control	29.14	35.02 ^d	33.71 ^e	37.91 ^c	43.43 ^b	44.28
250 mg/L Ethephon	29.14	40.80 ^{bc}	44.45 ^{cd}	44.78 ^b	45.13 ^a	
500 mg/L Ethephon	29.14	38.38 ^c	43.37 ^d	46.59 ^{ab}		
750 mg/L Ethephon	29.14	40.87 ^{bc}	47.34 ^{ab}	45.18 ^{ab}		
1,000 mg/L Ethephon	29.14	42.15 ^b	49.32 ^a	46.79 ^a		
Calcium carbide	29.14	47.69 ^a	46.40 ^{bc}	46.91 ^a		
LSD _{0.05}	ns	2.76	2.58	2.01	1.07	

Data are expressed as mean values. Mean values with different superscripts in the same column differ significantly at $P \leq 0.05$

Table 3. Hue angle change of mango peel subjected to ethephon and calcium carbide

Treatment	Day 1	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7
Control	90.98	91.34 ^a	91.36 ^b	91.40 ^a	88.46	88.47
Control	91.28	91.48 ^a	91.52 ^a	88.48 ^d	88.49	
250 mg/L Ethephon	91.12	91.44 ^a	88.49 ^e	88.56 ^c		
500 mg/L Ethephon	91.15	89.82 ^{ab}	88.60 ^c	88.62 ^b		
750 mg/L Ethephon	90.95	89.51 ^b	88.58 ^{cd}	88.58 ^{bc}		
Calcium carbide	91.27	88.54 ^b	88.61 ^c	88.59 ^{bc}		
LSD _{0.05}	ns	1.68	0.03	0.03	ns	

Data are expressed as mean values. Mean values with different superscripts in the same column differ significantly at $P \leq 0.05$

การสุก เมื่อเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวทั้งผลเป็นสีเหลืองปนเขียว ในระยะนี้สีเปลือกของผลมะม่วงมีค่า L* เพิ่มขึ้นเป็น 67-68 ค่า chroma เพิ่มขึ้นเป็น 40-41 และค่า hue angle ลดลงเหลือ 88-89 จนเมื่อผลมะม่วงสุกเต็มที่แล้ว เปลือก

เปลี่ยนเป็นสีเหลืองเกือบทั่วทั้งผลและมีสีเหลืองเข้มขึ้น เมื่อวัดสีเปลือกของผลมะม่วงที่สุกเต็มที่ พบว่าค่า L* เพิ่มขึ้นเป็น 71-72 ค่า chroma เพิ่มขึ้นเป็น 44-45 และค่า hue angle ลดลงเหลือ 88

การเร่งการสุกโดยใช้สารละลายเอทีฟอนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ การใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ และการปล่อยให้สุกตามธรรมชาติ ทำให้ผลมะม่วงเข้าสู่กระบวนการสุกในระยะเวลาแตกต่างกัน และมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพบว่าผลมะม่วงดิบที่ผ่านการเร่งการสุกโดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์และการใช้สารละลายเอทีฟอนที่ความเข้มข้น 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เริ่มเข้าสู่ระยะการสุก โดยเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวทั้งผลเป็นสีเหลืองปนเขียว เมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน เท่ากัน สำหรับการเร่งการสุกโดยใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 500 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร เริ่มสังเกตเห็นการสุกและการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลมะม่วง เมื่อเวลาผ่านไป 4 และ 5 วัน ตามลำดับ ส่วนผลมะม่วงที่ปล่อยให้สุกเองตามธรรมชาติ เมื่อเวลาผ่านไป 6 วัน การใช้แคลเซียมคาร์ไบด์และการใช้สารละลายเอทีฟอนที่ความเข้มข้น 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ผลมะม่วงเข้าสู่ระยะการสุกในเวลาเร็วที่สุดคือ 3 วัน โดยการใช้สารละลายเอทีฟอนทำให้การสุกและการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลมะม่วงนั้นมีความสม่ำเสมอ ในขณะที่การใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ทำให้ผลมะม่วงมีการสุกและการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกไม่สม่ำเสมอ โดยผลมะม่วงบางส่วนมีสีเหลืองปนเขียว บางผลสุกแต่ไม่เปลี่ยนสี และบางส่วนเปลี่ยนเป็นสีเหลืองไม่สม่ำเสมอ

การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลมะม่วง

ผลมะม่วงดิบเมื่อเริ่มต้นการทดลองเนื้อผลมีลักษณะแข็งและแน่น วัดความแน่นเนื้อมีค่าเท่ากับ 0.81 นิวตัน เมื่อผลมะม่วงเริ่มเข้าสู่ระยะการสุก ค่าความแน่นเนื้อลดลงเหลือ 0.55-0.57 นิวตัน จนเมื่อผลมะม่วงสุกเต็มที่ ค่าความแน่นเนื้อลดลงเหลือ 0.45-0.47 นิวตัน (ตารางที่ 4) การเร่งการสุกโดยใช้สารละลายเอทีฟอนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ การใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ และการปล่อยให้สุกตามธรรมชาติ ทำให้ผลมะม่วงเข้าสู่กระบวนการสุกในระยะเวลาแตกต่างกัน และมีการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพบว่าผลมะม่วงดิบที่ผ่านการเร่งการสุกโดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์และการใช้สารละลายเอทีฟอนที่ความเข้มข้น 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เริ่มสังเกตเห็นการสุกของผลมะม่วง โดยเนื้อผลมีลักษณะอ่อนลงและมีค่าความแน่นเนื้อลดลง เมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน เท่ากัน เนื้อมะม่วงมีค่าความแน่นเนื้อลดลงเหลือ 0.49, 0.57 และ 0.55 นิวตัน ตามลำดับ การใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 4 วัน โดยมีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 0.52 นิวตัน และการใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 5 วัน โดยมีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 0.55 นิวตัน สำหรับผลมะม่วงที่ปล่อยให้สุกเองตามธรรมชาติ เมื่อเวลาผ่านไป 6 วัน โดยมีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 0.51 นิวตัน

Table 4. Hardness change of mango pulp subjected to ethephon and calcium carbide

Treatment	Day 1	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7
Control	0.81	0.75 ^a	0.67 ^a	0.58 ^a	0.51 ^a	0.39
Control	0.81	0.71 ^{ab}	0.62 ^b	0.55 ^a	0.47 ^b	
250 mg/L Ethephon	0.81	0.68 ^b	0.52 ^c	0.48 ^b		
500 mg/L Ethephon	0.81	0.57 ^c	0.52 ^{cd}	0.47 ^b		
750 mg/L Ethephon	0.81	0.55 ^c	0.53 ^{cd}	0.45 ^b		
Calcium carbide	0.81	0.49 ^d	0.49 ^d	0.40 ^c		
LSD _{0.05}		ns	0.04	0.04	0.03	

Data are expressed as mean values. Mean values with different superscripts in the same column differ significantly at $P \leq 0.05$

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA) และค่า TSS/TA

ผลมะม่วงดิบเมื่อเริ่มต้นการทดลอง มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 9.50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เท่ากับ 2.12 เปอร์เซ็นต์ และค่า TSS/TA เท่ากับ 4.48 เมื่อผลมะม่วงเริ่มเข้าสู่ระยะการสุก เนื้อมะม่วงจะมีรสชาติดหวานขึ้น พร้อมกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 18 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ลดลงเหลือ 0.35-4 เปอร์เซ็นต์ และค่า TSS/TA เพิ่มขึ้นเป็น 25-30 โดยเนื้อมะม่วงมีรสชาติดหวานอมเปรี้ยวเมื่อค่า TSS/TA เท่ากับ 25 และเนื้อมะม่วงมีรสชาติดหวานเมื่อค่า TSS/TA มากกว่า 30

จากการทดลองพบว่าการเร่งการสุกโดยใช้สารละลายเอทีฟอนที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ การใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ และการปล่อยให้สุกตามธรรมชาติ ทำให้ผลมะม่วงเข้าสู่กระบวนการสุกในระยะเวลาแตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ และค่า TSS/TA มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 5 ผลมะม่วงดิบที่นำมาเร่งการสุกโดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์และการใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เริ่มสังเกตการสุกในเนื้อมะม่วง เมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน เท่ากัน แต่มีรสชาติแตกต่างกัน โดยในวันที่ 3 ผลมะม่วงที่เร่งการสุกโดยใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ เนื้อมะม่วงมีรสชาติดหวานและมีค่า TSS/TA เท่ากับ 33.99 ในขณะที่ผลมะม่วงที่เร่งการสุกโดยใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น

750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื้อมะม่วงมีรสชาติดหวานอมเปรี้ยว และมีค่า TSS/TA เท่ากับ 24.07 และ 22.72 ตามลำดับ สำหรับการให้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 500 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร เริ่มสังเกตเห็นการสุกของผลมะม่วง เมื่อเวลาผ่านไป 4 และ 5 วัน ตามลำดับ และมีค่า TSS/TA เท่ากับ 43.14 และ 88.90 ตามลำดับ สำหรับผลมะม่วง ที่ปล่อยให้สุกเองตามธรรมชาติ เริ่มสังเกตเห็นการสุกของเนื้อมะม่วงตั้งแต่วันที่ 5 ภายหลังการเร่งการสุกแล้ว แต่การสุกปรากฏอย่างชัดเจนภายหลังการเร่งการสุก 6 วัน และมีค่า TSS/TA เท่ากับ 84.60

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและความแน่นเนื้อของผลมะม่วง รวมถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ และ TSS/TA ที่ส่งผลต่อรสชาติของเนื้อมะม่วง พบว่าผลมะม่วงดิบที่เร่งการสุกโดยใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้าสู่ระยะการสุกเมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน โดยเปลือกมะม่วงมีสีเหลืองปนเขียว เนื้อมะม่วงมีสีเหลืองแบบมะม่วงสุก แต่เนื้อยังมีลักษณะแน่นและแข็งอยู่ เนื้อมะม่วงมีรสหวานอมเปรี้ยว และผลมะม่วงมีการสุกสม่ำเสมอเท่ากัน ซึ่งลักษณะสีเปลือกและความแน่นเนื้อรวมถึงรสชาติที่ได้ มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปแปรรูปต่อ ซึ่งหากนำไปใช้ทางการค้าการใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความเหมาะสมมากที่สุด เมื่อคำนึงถึงความปลอดภัยและประหยัดด้วย ผลมะม่วงดิบที่เร่งการสุกโดยใช้ถ่านแก๊สหรือแคลเซียมคาร์ไบด์ พบว่าเข้าสู่ระยะการสุกเมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน เช่นกัน แต่ผลมะม่วงมีการสุกที่ไม่สม่ำเสมอ

Table 5. TSS/TA ratio change of mango pulp subjected to ethephon and calcium carbide

Treatment	Day 1	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7
Control	4.48	13.21 ^f	16.73 ^e	35.44 ^e	84.60 ^b	150.71
Control	4.48	16.45 ^d	16.39 ^e	48.67 ^d	90.45 ^a	
250 mg/L Ethephon	4.48	13.93 ^e	43.14 ^d	87.42 ^b		
500 mg/L Ethephon	4.48	24.07 ^b	61.72 ^a	88.90 ^a		
750 mg/L Ethephon	4.48	22.72 ^c	55.34 ^c	74.37 ^c		
Calcium carbide	4.48	33.99 ^a	57.08 ^b	49.48 ^d		
LSD _{0.05}	ns	0.97	1.36	1.06	0.49	

Data are expressed as mean values. Mean values with different superscripts in the same column differ significantly at $P \leq 0.05$

เปลือกผลมะม่วงเปลี่ยนสีไม่สม่ำเสมอ บางส่วนมีสีเหลืองปนเขียว และบางผลสุกแต่ผลไม่เปลี่ยนสี รวมถึงลักษณะเนื้อมะม่วงที่ได้มีลักษณะนุ่มเกินไป จึงไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปแปรรูปต่อ สำหรับผลมะม่วงที่สุกตามธรรมชาติ เริ่มสังเกตเห็นการสุกของเนื้อมะม่วงตั้งแต่วันที่ 5 แต่การสุกปรากฏชัดเจนในวันที่ 6 เปลือกของผลมะม่วงมีสีเหลืองปนเขียว เนื้อมะม่วงมีสีเหลือง ลักษณะนุ่มและและมีรสหวาน แต่การสุกโดยธรรมชาตินั้น นอกจากจะใช้เวลานานแล้ว การสุกของผลมะม่วงโดยรวมไม่มีความสม่ำเสมอ ซึ่งแต่ละผลจะมีความสุกไม่เท่ากัน สีเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงไม่เท่ากัน เนื้อผลมีลักษณะนุ่มและเหมาะสมสำหรับการนำไปแปรรูปต่อ

สารหอมระเหยในเนื้อมะม่วง

การวิเคราะห์สารหอมระเหยในเนื้อมะม่วง โดยนำผลมะม่วงที่ได้จากการเร่งการสุกโดยใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร และการใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ เมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน มาทำการวิเคราะห์สารหอมระเหยในเนื้อมะม่วงเปรียบเทียบกับผลมะม่วงที่ปล่อยให้สุกเองตามธรรมชาติ เมื่อเวลาผ่านไป 6 วัน ผลการทดลองพบว่า ผลมะม่วงสุกทุกหน่วยทดลอง

มีสารหอมระเหยให้กลิ่นกว่า 20 ชนิด โดยมี butanoic acid เป็นสารหอมระเหยหลัก และรองลงมาคือ สาร 3-carene, 4-carene, α -pinene, octanoic acid, 1,3,6-octatriene, β -caryophyllene, α -caryophyllene และ (3E,5Z)-undeca-1,3,5-triene ดังแสดงในตารางที่ 6 นอกจากนี้ยังพบว่าการเร่งการสุกโดยใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร และการใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ ทำให้เนื้อของผลมะม่วงดังกล่าวมีปริมาณสารหอมระเหยมากกว่าผลมะม่วงที่ปล่อยให้สุกเองถึงเกือบ 2 เท่า ดังแสดงในภาพที่ 1a-b ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจสอบระหว่างการทดลอง ที่พบว่าผลมะม่วงที่ผ่านการเร่งการสุกจะมีกลิ่นที่ชัดเจนกว่าผลมะม่วงที่ปล่อยให้สุกเอง

วิจารณ์

จากการทดลองพบว่า การใช้สารละลายเอทีฟอนและการใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ ช่วยเร่งการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้เร็วขึ้น เนื่องจากเอทีฟอนเป็นสารที่ปลดปล่อยเอทิลีน (Kader and Mitcham, 2008) ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเร่งการสุกของ

Table 6. Volatile constituents identified in the aromas of mango pulp subjected to 750 mg/L ethephon and calcium carbide

No	Compound	Peak	Odor quality	Percent corrected area			
				Natural ripening	750 mg/L Ethephon	Calcium carbide	LSD _{0.05}
1	octanoic acid	1	fruit	2.17 ^c	3.75 ^a	3.57 ^b	0.16
2	1,3,6-octatriene	3	passion fruit	1.92 ^c	3.42 ^a	3.28 ^b	0.17
3	(3E,5Z)-undeca-1,3,5-triene	6	pineapple	1.43 ^c	1.98 ^a	1.71 ^b	0.24
4	butanoic acid	8	fruit	26.55 ^c	43.32 ^a	41.77 ^b	1.44
5	α -pinene	11	pine	0.83 ^c	3.79 ^a	2.67 ^b	0.14
6	3-carene	14	citrus	15.84 ^c	17.14 ^b	17.40 ^a	0.34
7	4-carene	17	citrus	10.51 ^b	12.64 ^a	12.77 ^a	0.38
8	β -caryophyllene	23	citrus	2.48 ^b	4.76 ^a	4.77 ^a	0.37
9	α -caryophyllene	25	citrus	0.68 ^c	3.41 ^a	3.33 ^b	0.07
10	napthalene	26	burning" odor	0.23 ^c	0.30 ^a	2.69 ^b	0.27

Data are expressed as mean values. Mean values with different superscripts in the same row differ significantly at $P \leq 0.05$

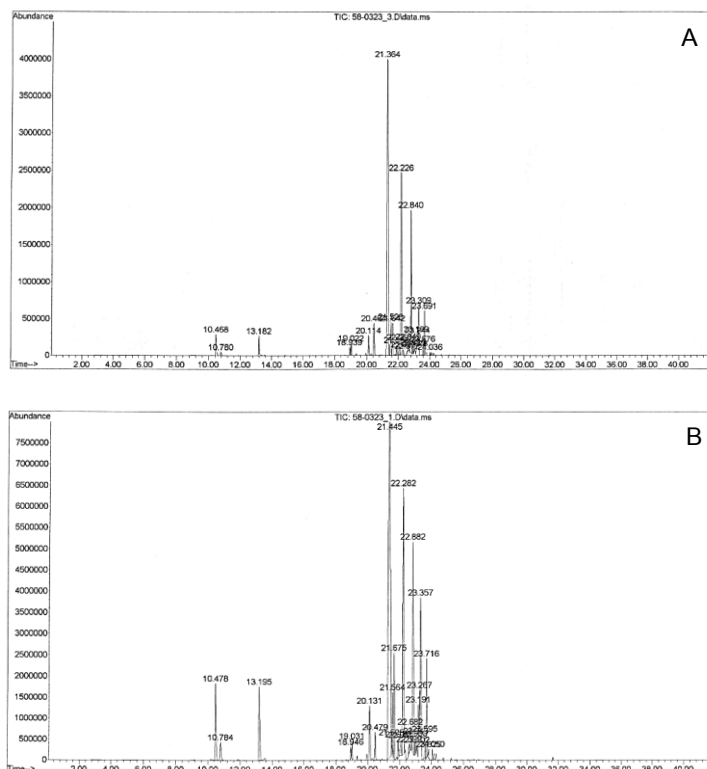


Figure 1. GC chromatogram of volatile compounds extracted from fresh mango after 6 days of natural ripening (a) and subjected to 750 mg/L ethephon after 3 days (b)

ผลไม้ เช่น การเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ การสร้างสารสี และสารหอมระเหย (Yang, 1985) โดยมีการนำมาใช้บ่มผลิตผลสดหลังการเก็บเกี่ยวในประเทศไทยหลายชนิด เช่น มังคุด ทุเรียน และมะม่วง ซึ่งมีรายงานว่าไม่ควรใช้ในระดับความเข้มข้นมากกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะว่าเอทิลฟอนจัดเป็นสารที่มีพิษชนิดหนึ่ง (จริงแท้, 2544) ส่วนแคลเซียมคาร์ไบด์จะปลดปล่อยแก๊สอะเซทิลีน ซึ่งมีสมบัติเร่งการสุกของผลไม้คล้ายกับเอทิลีน (อภิตา, 2556) นอกจากนี้ยังพบอีกว่า การใช้สารละลายเอทิลฟอนที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ช่วยเร่งการสุกของผลมะม่วงได้เร็วขึ้น คล้ายคลึงกับการศึกษาของธีรนุตและคณะ (2546) ที่พบว่า การใช้เอทิลีนความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ช่วยเร่งการสุกของผลมะม่วงได้เร็วขึ้น และการศึกษาของกฤษณา และคณะ (2555) ที่พบว่า การใช้สารละลายเอทิลฟอนความเข้มข้นที่สูงขึ้น (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) ทำให้ผลทุเรียนมีการสุกเร็วขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณน้ำตาล

สูงกว่าการใช้สารละลายเอทิลฟอนที่ความเข้มข้นต่ำ (10 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร)

สำหรับการใช้แคลเซียมคาร์ไบด์นั้นพบว่า ช่วยเร่งการสุกของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้เร็วขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของกาญจนา (2537) ที่พบว่า การใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ 10 และ 20 กรัม/มะม่วง 1 กิโลกรัม บ่มนาน 24 ชั่วโมง ทำให้ผลมะม่วงพันธุ์แก้วสุกเร็วและดีกว่าการปล่อยให้สุกตามธรรมชาติ และให้ผลไม่แตกต่างกับการบ่มด้วยเอทิลีน อัตรา 200 ไมโครลิตร/ลิตร แต่ในการศึกษาครั้งนี้ การบ่มผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ ทำให้ผลมะม่วงสุกไม่สม่ำเสมอ และคุณภาพที่ปรากฏให้เห็นจากภายนอกต่ำกว่าการใช้สารละลายเอทิลฟอน โดยพบว่าสีเปลือกของผลมะม่วงมีการเปลี่ยนแปลงไม่สม่ำเสมอ และบางผลไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Somsrivichai *et al.* (2000) ที่พบว่า การใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ในการบ่มผลมะม่วง เกิดการสุกได้

ภายใน 3 วัน แต่การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกจากสีเขียวเป็นสีเหลืองน้อยมาก และบางผลเปลือกยังคงมีสีเขียวอยู่

การวิเคราะห์สารหอมระเหยในเนื้อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ผ่านการเร่งการสุกโดยใช้สารละลายเอทีฟอนและแคลเซียมคาร์ไบด์ เปรียบเทียบกับการปล่อยให้สุกตามธรรมชาติพบว่า การใช้สารละลายเอทีฟอนและแคลเซียมคาร์ไบด์ ทำให้เนื้อมะม่วงมีปริมาณสารหอมระเหยมากกว่าที่ปล่อยให้สุกตามธรรมชาติเกือบ 2 เท่า เนื่องจากผลมะม่วงมีการสุกมากกว่า ซึ่งธีระ (2545) ได้รายงานไว้ว่า ปริมาณของสารหอมระเหยของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อผลมีการสุกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ในการศึกษาครั้งนี้ยังพบอีกว่า ผลมะม่วงสุกมีสารหอมระเหยให้กลิ่นมากกว่า 20 ชนิด โดยมีสาร butanoic acid เป็นสารหอมระเหยหลัก และรองลงมาคือ สาร 3-carene, 4-carene และ α -pinene ซึ่งคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Munafo *et al.* (2016) ที่พบว่า ผลมะม่วงพันธุ์ Haden เมื่อผลสุกมีสารหอมระเหยให้กลิ่นมากกว่า 24 ชนิด โดยมีสารในกลุ่ม ethyl 2-methylbutanoate, (3E,5Z)-undeca-1,3,5-triene, ethyl 3-methylbutanoate และ ethyl butanoate เป็นสารหอมระเหยหลัก รองลงมาคือ (2E,6Z)-nona-2,6-dienal (cucumber-like), ethyl 2-methylpropanoate (fruity), (E)- β -damascenone (cooked apple-like), ethyl hexanoate (fruity), 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone (caramel-like) และ γ -decalactone (peach-like) และการศึกษาของธีระ (2545) ที่พบว่า ปริมาณสารหอมระเหยหลักของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ คือ butyric acid รองลงมาคือ สาร β -pinene (pine-like), 3-carene และ β -phellandrene

สรุป

การใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิระหว่าง 28-34 องศาเซลเซียส สามารถนำมาใช้ในการเร่งการสุกของผลมะม่วงก่อนนำไปแปรรูปได้เหมาะสมที่สุด โดยทำให้ผลมะม่วงเข้าสู่ระยะการสุกเมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน เปลือกของผลมะม่วงมีสีเหลืองปนเขียว เนื้อมะม่วงมีสีเหลืองแบบมะม่วงสุก แต่ยังมีลักษณะแน่นและแข็ง มีรสหวานอมเปรี้ยว และผล

มะม่วงมีการสุกและการเปลี่ยนสีเปลือกสม่ำเสมอ ซึ่งสีเปลือก ลักษณะความแน่นเนื้อ รวมถึงรสชาติที่ได้ภายหลังการเร่งการสุก มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปแปรรูปเป็นมะม่วงแช่เยือกแข็งต่อไป นอกจากนี้ ยังพบว่าการเร่งการสุกโดยใช้สารละลายเอทีฟอนความเข้มข้น 750 มิลลิกรัมต่อลิตร และการใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ ทำให้เนื้อมะม่วงมีปริมาณสารหอมระเหยมากกว่าผลมะม่วงที่ปล่อยให้สุกเองตามธรรมชาติเกือบ 2 เท่า

เอกสารอ้างอิง

- กฤษณา หงษ์คู่ ณ์ภูริฐา เลหาทูลจิตต์ และ อรพิน เกิดชูชื่น. 2555. การเร่งการสุกของทุเรียนหมอนทองต่อคุณลักษณะทางเคมีกายภาพและสารหอมระเหย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 43(2) (พิเศษ): 417-420.
- กาญจนา เหลืองสุวาลัย. 2537. การศึกษาการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี ดัชนีการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา และการแปรรูปผลมะม่วง (*Mangifera indica* L.) พันธุ์แก้วจุก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 156 หน้า.
- โจอันเนส มิลล์เลอร์ มัทธิอัธ เพลวา วิชชา สอาดสุด และ วูลแฟรม สเปียร์. 2561. การประเมินศักยภาพในการปรับปรุงกระบวนการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวในการผลิตมะม่วงในรัฐชานตอนใต้ประเทศพม่า. วารสารเกษตร 34(1): 111-121.
- จรัสแท้ ศิริพานิช. 2544. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 396 หน้า.
- ธีรนุต รมโพธิ์ภักดี เจริญ ขุนพรม สมนึก ทองบ่อ และ รุ่งนภา ก่อประดิษฐ์สกุล. 2546. สรีรวิทยาและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ภายหลังการเก็บเกี่ยว. รายงานวิจัย. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), กรุงเทพฯ. 124 หน้า.

- ธีระ วัฒนศิริเวช. 2545. การศึกษาชนิดและปริมาณสารหอมระเหย น้ำตาล และกรดบางชนิดในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่มีระยะการสุกและสภาวะการสุกแตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 103 หน้า.
- นิธิยา รัตนพานนท์ และ ดนัย บุญยเกียรติ. 2548. การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 236 หน้า.
- อภิธา บุญศิริ. 2556. การบ่ม. หน้า 125-158. ใน: ธวัชชัย รัตน์เลิศ วิลาวัลย์ คำปวน และ ธีรณัฐ เจริญกิจ (บก.). มะม่วง-การผลิตและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา, กรุงเทพฯ. 836 หน้า.
- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th ed. AOAC International, Gaithersburg, Maryland. 2200 p.
- Jha, S.K., S. Sethi, M. Srivastav, A.K. Dubey, R.R. Sharma, D.V.K. Samuel and A.K. Singh. 2010. Firmness characteristics of mango hybrids under ambient storage. Journal of Food Engineering 97(2): 208-212.
- Kader, A. A. 1985. Postharvest biochemistry and technology: An overview. pp. 3-7. In: A.A. Kader, R.F. Kasmire, F.G. Mitchell, M.S. Reid, N.F. Sommer and J.F. Thompson (eds.). Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California, Davis, California.
- Kader, A. A. and B. Mitcham. 2008. Optimum procedures for ripening mangoes. pp. 47-48. In: C.H. Crisosto and J.F. Thompson (eds.). Fruit Ripening and Ethylene Management. University of California, Davis, California.
- Luangprasert, K., J. Uthaibutra and K. Saengnil. 2010. The effect of sugar application on the concentrations of anthocyanin and flavonol of 'Mahajanaka' mango (*Mangifera indica* L. cv. Mahajanaka) fruit. Chiang Mai Journal of Science 37(2): 355-362.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective colour measurement. HortScience 27(12): 1254-1255.
- Munafu J.P. Jr., J. Didzbalis, R. J. Schnell and M. Steinhaus. 2016. Insights into the key aroma compounds in mango (*Mangifera indica* L. 'Haden') fruits by stable isotope dilution quantitation and aroma simulation experiments. Journal of Agricultural and Food Chemistry 64(21): 4312-4318.
- Quoc, L.P.T. and T.H. Duy. 2015. Effect of nopal gel solution on the preservation of banana (*Musa paradisiaca*). Agricultural and Biological Sciences Journal 3(1): 95-99.
- Slaughter, D.C. 2009. Methods for management of ripening in mango: A review of literature. (Online). Available: www.mango.org/media/./methods_for_management_of_ripening.pdf (May 3, 2017).
- Somsrivichai, J., J. Uthaibutra and T. Yantarasri. 2000. Controlling of peel and fresh color development of mango by perforation of modified atmosphere package at different temperatures. Acta Horticulturae 509: 387-394.
- Wongpormchai, S., T. Sriseadka and S. Choonvisase. 2003. Identification and quantitation of the rice aroma compound, 2-Acetyl-1-pyrroline, in bread flowers (*Vallaris glabra* Ktze). Journal of Agricultural and Food Chemistry 5(2) : 457-462.
- Yang, S.F. 1985. Biosynthesis and action of ethylene. HortScience 20: 41-45.