รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด (ยุติการทดลอง)

---

1. **แผนงานวิจัย** : แผนงานวิจัยและพัฒนาไม้ผลเศรษฐกิจ
2. **โครงการวิจัย** : การจัดการมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อการส่งออกทางเรือ

   กิจกรรม : -

   กิจกรรมย่อย (ถ้ามี) : -
3. **ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย)**

   การทดลองที่ 3 : การเก็บรักษาด้วยเทคนิคซุปเปอร์คูลิงค์ (super-cooling) ต่อคุณภาพของมะม่วง

   ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) Storage of Super-Cooling Technique on Quality of Mango Fruit
4. **คณะผู้ดำเนินงาน**

   หัวหน้าการทดลอง : นายอนุวัฒน์ รัตนชัย สังกัด สถาบันวิจัยพืชสวน

   ผู้ร่วมงาน : นายทวีศักดิ์ แสงอุดม สังกัด สถาบันวิจัยพืชสวน

   ผศ. ดร.สมศักดิ์ ครามโชติ สังกัด สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

   นายภาณุมาศ โคตรพงศ์ สังกัด กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

   นางริสา รัตนชัย สังกัด กองพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าพืช

   นางสาวนุจรี ชินสุทธิ์ สังกัด กองพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าพืช

กรมวิชาการเกษตร

5. **บทคัดย่อ**

ปัญหาที่สำคัญของมะม่วง คือ อายุการเก็บรักษาสั้น การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมที่ช่วยรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลให้ยาวนานขึ้น งานวิจัยนี้ศึกษาการเก็บรักษาด้วยเทคนิคซุปเปอร์คูลิงค์ (super-cooling) ต่อคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ทำการเก็บรักษาด้วยเทคนิคซุปเปอร์คูลิงค์โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กำลัง 1,000 2,000 และ 3,000 โวลต์ต่อเมตร เก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิ 13$\pm$1 องศาเซลเซียส

นาน 1 เดือน โดยในเบื้องต้นได้เก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส นาน 1 เดือน เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสี การเหี่ยว และการเกิดโรค จากการทดลองพบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีสีเข้มขึ้น โดยเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีเหลืองทองและเกิดการเหี่ยวหรือการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ส่วนการเกิดโรคพบอาการของโรคในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามไม่สามารถดำเนินการทดลองต่อได้ เนื่องจากการทดลองการเก็บรักษาด้วยเทคนิคซุปเปอร์คูลิงค์ (super-cooling) จำเป็นต้องใช้เครื่องมือนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งปัจจุบันมีสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ทำให้ยังไม่สามารถนำเข้าเครื่องมือได้ จึงยุติการทดลองดังกล่าวเนื่องจากมีความเสี่ยงที่การทดลองดังกล่าวจะไม่ประสบความสำเร็จ

The major problem with mango is its short shelf life. The appropriate postharvest handling could maintain quality and extends the shelf life of fresh produce. This aims of studied the super-cooling storage technique on the quality of mango fruit. The super-cooling technique was stored by using electromagnetic waves at 1,000 2,000 and 3,000 volts per meter at 13±1 °C for 1 month. Preliminary data were collected from 'Nam Dok Mai Si-Thong' mangoes during storage at 13 + 1 ° C for 1 month to observe appearance changes such as color changes, wilt, and disease. It was found that the 'Nam Dok Mai Si-Thong' mango had a darker color by changing from light yellow to golden yellow and there is increased wilting or weight loss, according to the longer storage period. As for the disease, the symptoms of the disease were found on the 6th day of storage. However, the experiment could not be continued due to the storage with super-cooling technique involved to use the machine that imported from abroad. Currently, the situation of Coronavirus (COVID-19) spread making it impossible to import this machine. Therefore, the experiment was stopped because is a risk that the trials will not be successful.

6. คำนำ

ปี 2560 ประเทศไทยส่งออกมะม่วง 59,045 เมตริกตัน คิดเป็นมูลค่า 3,323 ล้านบาท ส่งออกมะม่วงสดหรือแช่แข็ง 33,381 เมตริกตัน คิดเป็นมูลค่า 1,674 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) ปัญหาที่

กรมวิชาการเกษตร

สำคัญของมะม่วง คือ อายุการเก็บรักษาสั้น การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมที่ช่วยรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลให้ยาวนานขึ้น ในการส่งออกมะม่วงส่วนใหญ่ใช้การขนส่งทางเครื่องบิน ซึ่งมีต้นทุนสูงกว่าการขนส่งทางเรือ 3-4 เท่า หากพัฒนาวิธีการเก็บรักษาให้ได้นานและมีคุณภาพ จะสามารถขนส่งทางเรือซึ่งจะช่วยลดต้นทุนลงอย่างมาก การเก็บรักษาเพื่อให้ผลิตผลอยู่ได้นานจึงเป็นการปฏิบัติด้วยกรรมวิธีต่างๆ เพื่อชะลอเมตาบอลิซึม (metabolism) ภายในผลิตผลและลดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งได้แก่ การควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ องค์ประกอบของบรรยากาศ และปัจจัยอื่นๆ รอบๆ ผลิตผลให้เหมาะสม และการใช้สารเคมี ซึ่งมีข้อเสียคือมีผลกระทบที่ไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคซึ่งอาจทำให้มีสารพิษตกค้างสะสมมากขึ้น โดยวิธีการที่นิยมใช้ในการรักษาคุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว คือ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นวิธีที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและต้นทุนต่ำ

ซุปเปอร์คูลิงค์ (super-cooling) หรือความเย็นยิ่งยวด เป็นสภาวะที่อุณหภูมิของของเหลวลดต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (freezing point) แต่ยังไม่มีผลึกน้ำแข็ง (ice crystal) (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2561) ซุปเปอร์คูลิงค์ เป็นเทคนิคการแปรรูปอาหารที่มีศักยภาพในการเพิ่มอายุการเก็บรักษาอาหารอย่างมีนัยสำคัญ และเพื่อลดการสูญเสียผลิตภัณฑ์อาหารจากภาคการผลิตและการค้าปลีกของห่วงโซ่ความเย็น กระบวนการนี้ใช้อุณหภูมิในการจัดเก็บที่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งเริ่มแรกของอาหาร โดยไม่มีการแช่แข็งของผลิตภัณฑ์ซึ่งจะรักษาคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับอาหารสด ไม่ใช้กระบวนการแช่แข็งทำให้ระยะเวลาการผลิตลดลง จากการเก็บเกี่ยวถึงการส่งมอบจนถึงการค้าปลีก รวมทั้งการใช้พลังงานที่ลดลง (ไม่มีการกำจัดความร้อนที่แฝงจากแปลง) และเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการผลิตเมื่อเทียบกับการผลิตอาหารแช่แข็งตามมาตรฐาน (Stonehouse and Evans, 2015) ข้อดีของ Super Cooling System (SCS) คือการติดตั้งแผ่นระบายความร้อนแบบซุปเปอร์บนผนังด้านในของห้องสามารถทำงานพื้นที่ภายในตู้ได้ ซึ่งชุดควบคุมและแผ่น SCS (แผงควบคุม) สามารถติดตั้งได้ในระยะเวลาอันสั้น และสามารถติดตั้งได้ในตู้เย็นตู้แช่เย็นหลังจากติดตั้งแล้ว ต้นทุนลดลง ที่ผ่านมีการนำเทคนิคซุปเปอร์คูลิงค์มาใช้ในการเก็บรักษาสินค้าเกษตร ได้แก่ ผัก ปลา และเนื้อสัตว์ (James *et al*., 2009; Beaufort *et al*., 2009; Fukuma *et al*., 2012; Lawrence *et al*., 2010) อย่างไรก็ตามการนำเทคนิคซุปเปอร์คูลิงค์มาใช้ในการเก็บรักษาผลไม้มีอยู่อย่างจำกัด มีรายงานว่าในแอบเปิ้ลเก็บในความเย็นยิ่งยวดได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Diehl and Wright, 1924) นอกจากนี้มีรายงานว่า องุ่น ส้มนาเวล และเลมอน ก็มีความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคซุปเปอร์คูลิงค์ (Lucas, 1954) Chen and Carter (1986) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อระดับการแช่แข็งและความเย็นยิ่งยวด (super-cooling) ในพืชตระกูลส้มพบว่า ส้มและเกรฟฟรุตที่มีความหวาน 10.5 และ 9.5 ตามลำดับ มีสภาวะความเย็นยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 7 และ 2 °F (-13.9 และ -16.6) เมื่อเร็วๆ นี้

กรมวิชาการเกษตร

ประเทศญี่ปุ่นได้นำเทคนิค super-cooling มาใช้ในการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์สีแดงไทโยโนะทามาโงะของญี่ปุ่น สามารถเก็บรักษาได้นาน 33 วัน (Super cooling Labo, 2018) ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงนำเทคนิค Super-cooling มาใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงให้นานขึ้น โดยตั้งเป้าในการเก็บรักษานาน 60 วัน และทดสอบการจัดการคุณภาพมะม่วงเพื่อการส่งออกทางเรือ

7. วิธีดำเนินการ

- วัสดุ อุปกรณ์

1. มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง
2. ห้องเย็น
3. เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น (data logger)
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. อุปกรณ์สำหรับทำระบบซุปเปอร์คูลิงค์ (super-cooling)
6. ตะกร้าพลาสติก
7. กรรไกรตัดกิ่ง

- วิธีการ

(1) แบบและวิธีการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 5 ซ้ำ มะม่วง 12 ผล/หน่วยทดลอง จำนวน 4 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 $\pm$1 องศาเซลเซียส (ชุดควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 $\pm$1 องศาเซลเซียส ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากำลัง 1,000 โวลต์ต่อเมตร

กรรมวิธีที่ 3 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 $\pm$1 องศาเซลเซียส ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากำลัง 2,000 โวลต์ต่อเมตร

กรรมวิธีที่ 4 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 $\pm$1 องศาเซลเซียส ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากำลัง 3,000 โวลต์ต่อเมตร

(2) วิธีปฏิบัติการทดลอง

- นำตัวอย่างมะม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 $\pm$1 องศาเซลเซียส ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากำลัง 1,000 2,000 และ 3,000 โวลต์ต่อเมตร นาน 2 เดือน

ศูนย์วิชาการเกษตร

- สุ่มตัวอย่างตรวจสอบคุณภาพทุกๆ 7 วัน

- วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธี ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

(3) การบันทึกข้อมูล

- ลักษณะที่ปรากฏ เช่น การเกิดรอยช้ำ การเปลี่ยนแปลงสี เป็นต้น

- การผลิตเอทิลีน อัตราการหายใจ

- ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณวิตามินซี

- องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน เยื่อใย เถ้า ไขมัน ความชื้น คาร์โบไฮเดรต

- เวลาและสถานที่ ดำเนินการตั้งแต่ ตุลาคม 2562 – กันยายน 2563 แปลงเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ห้องปฏิบัติการวิจัยพืชสวน กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร และกองพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าพืช กรมวิชาการเกษตร

8. ผลการทดลองและวิจารณ์

(1) จัดเตรียมผลผลิตสำหรับการทดลอง

- ได้ดำเนินการติดต่อเกษตรกร สำรวจแปลงปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ที่อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา และจัดหาผลผลิตมาดำเนินการทดลองเบื้องต้น โดยคัดเลือกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองระยะสุกแก่ 80 เปอร์เซ็นต์ (หลังดอกบาน 110-115 วัน) ทำการตัดขั้วเหลือประมาณ 0.5 เซนติเมตร และตั้งทิ้งให้ยางไหลออกจนหมด จากนั้นนำมาห่อด้วยโฟมตาข่ายกันกระแทก (foam net) บรรจุลงกล่องกระดาษลูกฟูก เก็บรักษาในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 13 $\pm$1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95% เป็นระยะเวลา 1 เดือน เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสี การเหี่ยว และการเกิดโรค จากการทดลองพบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีสีเข้มขึ้น โดยเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีเหลืองทองตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น เกิดการเหี่ยวหรือการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ส่วนการเกิดโรคพบอาการของโรคในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ทั้งนี้จากการทดลองเก็บรักษามะม่วงและเก็บข้อมูลการเปลี่ยนที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการทดลองซุปเปอร์คูลิงค์ (super-cooling) ต่อไป

(2) การดำเนินการทดลองซุปเปอร์คูลิงค์ (super-cooling)

กรมวิชาการเกษตร

- ไม่สามารถดำเนินการทดลองต่อได้ เนื่องจากการทดลองการเก็บรักษาด้วยเทคนิคซุปเปอร์คูลิงค์ (super-cooling) จำเป็นต้องใช้เครื่องมือนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งปัจจุบันมีสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ทำให้ยังไม่สามารถนำเข้าเครื่องมือได้ จึงยุติการทดลองดังกล่าว เนื่องจากมีความเสี่ยงที่การทดลองดังกล่าวจะไม่ประสบความสำเร็จ ทั้งนี้ ได้แจ้งยุติการทดลองให้คณะที่ปรึกษาด้านวิชาการเกษตรของกรมวิชาการเกษตร และได้ทำหนังสือแจ้งกองแผนงาน กรมวิชาการเกษตร เรียบร้อยแล้ว

(ก) แปลงมะม่วง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา

(ข) มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ระยะสุกแก่ 85%

(ค) มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองบรรจุกล่องเพื่อเก็บรักษาในห้องเย็น

(ง) ลักษณะปรากฏมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง เก็บ 13 $\pm$1 องศาเซลเซียส นาน 21 วัน

ภาพที่ 1 (ก-ง) การเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่อุณหภูมิ 13 $\pm$1 องศาเซลเซียส

กรมวิชาการเกษตร

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ±1 องศาเซลเซียส นาน 1 เดือน เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสี การเหี่ยว และการเกิดโรค พบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีสีเข้มขึ้น โดยเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีเหลืองทองและเกิดการเหี่ยวหรือการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ส่วนการเกิดโรคพบอาการของโรคในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา เนื่องจากการทดลองการเก็บรักษาด้วยเทคนิคซุปเปอร์คูลิงค์ (super-cooling) จำเป็นต้องใช้เครื่องมือนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งปัจจุบันมีสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ทำให้ยังไม่สามารถนำเข้าเครื่องมือได้ จึงยุติการทดลองดังกล่าวเนื่องจากมีความเสี่ยงที่การทดลองดังกล่าวจะไม่ประสบความสำเร็จ

ดังนั้นการนำเข้าเครื่องมือจากต่างประเทศถึงแม้มีการติดต่อประสานงานและตกลงร่วมมือกันเป็นที่เรียบร้อยแล้วก็ตามก็มีความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างกรณีสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ทำให้ยังไม่สามารถนำเข้าเครื่องมือได้มาทดลองได้

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ –

11. คำขอบคุณ (ถ้ามี) –

12. เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พิมพ์เพ็ญ พรฉิมพงศ์ และนิธิยารัตนปนนท์. 2561. Supercooling/ความเย็นยิ่งยวด. แหล่งที่มา: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0514, 13 มิถุนายน 2561.

เบญจมาส รัตนชินกร คมจันทร์ สรงจันทร์ ปรางค์ทอง กวานห้อง ศิรกานต์ ศรีธัญรัตน์ วิชา ธิติประเสริฐและเฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง. 2550. ผลของอุณหภูมิต่ออายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค. แหล่งที่มา: www.doa.go.th/doaresearch/files/498_2550.pdf, 13 มิถุนายน 2561.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร: มันฝรั่ง. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/production/%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%9D%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B9%88%E0%B8%87%2060.pdf, 13 มิถุนายน 2561.

กรมวิชาการเกษตร

Beaufort, A., Cardinal, M., Le-Bail, A. and Didelet-Bourdin, G. 2009. The effects of superchilled storage at -2 °C on the microbial and organoleptic properties of cold-smoked salmon before retail display. International Journal of Refrigeration, 1850-1857.

Chen, C., and Carter, R. 1986. Temperature changes in citrus fruit at sub-freezing temperatures. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, 128-131.

Diehl, H. and Wright, R. 1924. Freezing injury of apples. Journal of Agricultural Research, 99-127.

Fukuma, Y., Yamane, A., Itoh, T., Tsukamasa, Y. and Ando, M. 2012. Application of supercooling to long-term storage of fish. Fish Science, 451-461.

Hruschka, H., Akeley, R., Ralph, E., Sawyer, R. and Schark, A. 1961. Seed potato productivity after cooling, supercooling or freezing. USDA Mkt. Res. Rpt. No. 507, 14 pp.

James, C., Seignemartin, V. and James, S. 2009. The freezing and supercooling of garlic (*Allium sativum* L). International Journal of Refrigeration, 253-260.

Lawrence, P., Woolfe, M. and Tsampazi, C. 2010. The effect of superchilling and rapid freezing on the HADH assay for chicken and turkey. Journal of the Association of Public Analysts (online), 13-23.

Lucas, J. 1954. Subcooling and ice nucleation 467 in lemons. Plant Physiology, 245-251.

Stonehouse, G.G. and Evans, J.A. 2015. The use of supercooling for fresh foods: A review. Journal of Food Engineering. 148: 74-79.

Super Cooling Labo. 2018. Super Cooling System. [Online]. Available: http://www.scs-labo.co.jp/scs.php, June, 24 2018.

13. ภาคผนวก -

กรมวิทยาศาสตร์