# รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. **แผนงานวิจัย** : วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตผลเกษตร

2. **โครงการวิจัย** : การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการรักษาคุณภาพผลิตผลสดหลังการเก็บเกี่ยว
   **กิจกรรม** : การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการรักษาคุณภาพผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว
   **กิจกรรมย่อย (ถ้ามี)** : -

3. **ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย)** : การพัฒนาสารดูดซับเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์เพื่อรักษาคุณภาพผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว
   **ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ)** : Development of Ethylene Absorber to Maintain Fruit Quality after Harvesting

4. **คณะผู้ดำเนินงาน**
   **หัวหน้าการทดลอง** : นายภาณุมาศ โคตรพงศ์ กวป.
   **ผู้ร่วมงาน** : นางสาวทิวาพร ผดุง กปผ.
   นางสาวสโรชา ถึงสุข ศวพ.เพชรบูรณ์

5. **บทคัดย่อ**

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีสถานะเป็นก๊าซมีบทบาทในการกระตุ้นการสุกของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ทำให้ผลไม้สูญเสียคุณภาพเร็ว จึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการลดปริมาณเอทิลีนในผลไม้ให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น จึงได้นำไบโอชาร์ซึ่งเป็นถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีสมบัติในการดูดซับก๊าซได้ดีมาพัฒนาเป็นสารดูดซับเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์เพื่อรักษาคุณภาพผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว โดยนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ซังข้าวโพด ไม้ไผ่ และกิ่งลำไย มาผ่านกระบวนการผลิตไบโอชาร์ หลังจากนั้นนำไบโอชาร์ทั้ง 3 ชนิดบรรจุในซองกระดาษที่มีสมบัติในการแลกเปลี่ยนก๊าซได้มาทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับเอทิลีนในห้องปฏิบัติการ พบว่า ไบโอชาร์ที่ผลิตจากซังข้าวโพดสามารถดูดซับเอทิลีนความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตรได้สูงสุดถึง 94.18 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 24 ชั่วโมง รองลงมา คือ ไบโอชาร์ที่ผลิตจากไม้ไผ่ และไบโอชาร์ที่ผลิตจากกิ่งลำไยตามลำดับ จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการได้คัดเลือกไบโอชาร์ที่ผลิตจาก ซังข้าวโพดที่มีประสิทธิภาพการดูดซับเอทิลีนสูงที่สุดมาทดสอบการดูดซับเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์เพื่อลดการผลิตเอทิลีนของผลไม้ในกลุ่ม Climacteric ซึ่งมีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงภายหลังการเก็บเกี่ยว ผลไม้ที่นำมาใช้ในการทดลอง คือ มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง ประกอบด้วย 3 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่สารดูดซับเอทิลีน (กรรมวิธีควบคุม) กรรมวิธีที่ 2 ใส่สารดูดซับเอทิลีน ปริมาณ 50 กรัมต่อกล่อง และกรรมวิธีที่ 3 ใส่สารดูดซับเอทิลีน ปริมาณ 100 กรัมต่อกล่อง โดยบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง จำนวน 6 ผลต่อกล่อง

กรมวิชาการเกษตร

ในกล่องกระดาษลูกฟูก ขนาด 2 กิโลกรัม แล้วใส่สารดูดซับเอทิลีนในกล่องตามแต่ละกรรมวิธี หลังจากนั้นนำไปจำลองการขนส่งไปต่างประเทศที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน จากการทดลองพบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักแตกต่างกันทางสถิติ โดยมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในกล่องที่ใส่สารดูดซับเอทิลีนปริมาณ 50 และ 100 กรัม มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในกล่องที่ไม่ใส่สารดูดซับเอทิลีน การใส่สารดูดซับเอทิลีนทั้งสองกรรมวิธีสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเหลืองของเปลือก (ค่า b*) และความแน่นเนื้อผลของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองได้ดีกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่สารดูดซับเอทิลีน ส่วนการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของผลผลิต ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซีในทุกกรรมวิธีให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ

จากผลการทดลองนี้ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สารดูดซับเอทิลีนสำหรับนำไปใช้ในการรักษาคุณภาพผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวและยังเป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สำหรับในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองแนะนำให้ใช้สารดูดซับเอทิลีนจากไบโอชาร์ที่ผลิตมาจากซังข้าวโพดในปริมาณ 50 กรัมต่อน้ำหนักผลผลิต 2 กิโลกรัม ซึ่งมีต้นทุนการผลิต 0.5 บาท ต่อ 50 กรัม โดยจะนำไปแนะนำให้ผู้ประกอบการและผู้ส่งออกนำไปใช้ต่อไป

**Abstract**

Ethylene is a plant hormone. It has a gas state and has the ability to stimulate the ripening of the fruit after harvest. Resulting in the fruit lose its quality in a short time. Therefore, it is necessary to find a way to reduce the ethylene content in the fruit for longer storage. For this reason, the application of biochar produced from agricultural waste and has gas absorbing properties to develop into ethylene absorbent in packaging. Agricultural waste materials in 3 types are corncobs, bamboo, and longan twigs. All materials are taken through the biochar manufacturing process. All three biochar types are packaged in a gas exchange-capable envelope to test the ethylene absorption efficiency in the laboratory. It was found that biochar produced from corncobs could absorb up to 94.18% of ethylene at a concentration of 1 mg / L within 24 hours, followed by bamboo and biochar longan branches, respectively. Based on laboratory results, biochar produced from corn cobs were tested for the adsorption of ethylene in the packaging to reduce the ethylene production of the fruit in the climacteric group. The fruit that was tested was Nam Dok Mai Si-Thong mango which consisted of 3 treatments, namely, treatments 1 without ethylene absorbent. (Control method) treatments 2 add 50 g of ethylene absorbent per box and treatments 3 add 100 g of ethylene absorbent per box. Packed 6 mangoes per box, in a 2 kg corrugated carton. Then put the ethylene absorbent in the box according to each treatment. After that simulate export to foreign countries, stored at 13 ° C for 28 days. It was found that the Nam Dok Mai

ศูนย์วิทยทรัพยากร

Si-Thong mango in boxes containing 50 and 100 grams of ethylene absorbent had less weight loss percentage than control treatments. Both applications of ethylene absorbent can delay the yellowing of the bark (b * value) and firmness, the results are better than control treatments. The chemical quality of the products, including total soluble solids, titratable acidity, and vitamin C, were not statistically different in all treatments.

From the results of this experiment, ethylene absorbent products were obtained. ethylene absorbent products were obtained, for storage fruit quality after harvest and also to increase the value of agricultural waste that can be utilized. For mango, Nam Dok Mai Si-Thong recommends 50 g of biochar ethylene absorbent per 2 kg of product weight at a production cost of 0.5 baht per 50 g. To be recommended for entrepreneurs and exporters to continue to use.

**6. คำนำ**

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการทำเกษตรกรรมมาก และมีรายได้หลักมาจากภาคเกษตรกรรม ซึ่งทำให้ต่อปีนั้นประเทศไทยมีวัสดุเหลือใช้จากการเก็บเกี่ยวหรือจากการแปรรูปสินค้าทางการเกษตร เช่น ซังข้าวโพด กิ่งลำไย เปลือกไม้ไผ่ กะลามะพร้าว กิ่งยางพารา เป็นต้น โดยซังข้าวโพดและเปลือกมีปริมาณมากถึง 7.96 ตันต่อปี กิ่งลำไยที่ได้จากการตัดแต่งต้นมีการนำมาใช้เป็นฟืน 39% ใช้เผาถ่าน 11% และคงเหลืออีกมากถึง 50% (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2560) นอกจากนี้ กาบไผ่ก็เป็นพืชที่มีปริมาณวัสดุเหลือทิ้งมากถึง 1000-15,000 กิโลกรัมต่อปี (สำนักงานเกษตรจังหวัดชัยนาท, 2560) ซึ่งวัสดุเหลือใช้เหล่านี้ เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ ในการผลิตไฟฟ้า ผลิตความร้อน และภาคส่วนอื่น ๆ ได้มากถึง 71,289,681 ตัน แต่ก็ยังคงมีวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมากถึง 62,844,420 ตัน (กระทรวงพลังงาน, 2556) ปัจจุบัน จึงได้มีการศึกษาการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อลดปริมาณวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร และยังเป็นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย ซึ่งการทำถ่านชีวภาพ หรือ Biochar ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และถ่านชีวภาพยังเป็นประโยชน์ต่อพืชอีกด้วย

**ถ่านชีวภาพ (Biochar)**

ถ่านชีวภาพ (Biochar) คือ วัสดุที่มีความพรุน พื้นที่ผิวภายในมาก โดยมีค่าประมาณ 2-377 ตารางเมตรต่อกรัม (Pituya *et al.*, 2017) อุดมไปด้วยคาร์บอนสูงถึงร้อยละ 50 ของวัตถุดิบในการผลิต ประกอบไปด้วย C, H, O, N, S และขี้เถ้า โดยโครงสร้างของถ่านชีวภาพจะแตกต่างกันตามประเภทของชีวมวลที่นำมาใช้ (Suksawang, 2010; Winsley, 2007; Zafar, 2009) ถ่านชีวภาพผลิตจาก ชีวมวลหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยมีองค์ประกอบหลัก คือ เซลลูโลส ที่เป็นเส้นใย เฮมิเซลลูโลส ที่เป็นตัวยึดเซลลูโลสไว้ด้วยกัน และลิกนิน ที่ทำหน้าที่ให้เส้นใยสามารถยึดเหนี่ยวกันได้อย่างแข็งแรง รวมเรียกว่า ชีวมวลลิกโนเซลลูโลส ซึ่ง

การผลิตถ่านชีวภาพนั้น ทำได้ด้วยวิธีการแยกสลายด้วยความร้อนในสภาวะไร้แก๊สออกซิเจนหรือไพโรไรซิส (pyrolysis) แบบช้า โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 350-600 องศาเซลเซียส จากการแยกสลายด้วยความร้อนนี้จะได้น้ำมันชีวภาพ (bio-oil) 60% แก๊สสังเคราะห์ (syngas) 20% ได้แก่ $H_2$ CO และ$CH_4$ และถ่านชีวภาพ (biochar) 20% (อรสา, 2552) ประโยชน์ของถ่านชีวภาพ ได้แก่

1) ช่วยปรับปรุงดิน ด้วยคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีรูพรุน และมีพื้นที่ผิวภายในมาก จึงช่วยกักเก็บน้ำ อาหาร และจุลินทรีย์ในดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ และด้วยการที่ถ่านชีวภาพยังมีค่าความเป็นด่างค่อนข้างสูง จึงเหมาะกับการปรับค่าความเป็นกรดด่างในดินที่มีความเป็นกรดมาก นอกจากนี้ ยังสามารถช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในดิน ช่วยให้พืชมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น (จิระพงษ์, 2552)

2) ลดก๊าซเรือนกระจก โดยถ่านชีวภาพมีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนสูง เป็นแหล่งสะสมคาร์บอนในดิน โดยจะเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของพืชมาอยู่ในรูปคาร์บอนเสถียรสะสมในถ่านชีวภาพ ทำให้ลดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ นอกจากนี้ ยังมีความสามารถในการดูดซับแก๊สในกลุ่มมีเทน และไนตรัสออกไซด์อีกด้วย (Yanai *et al*., 2007)

3) ผลิตพลังงานทดแทน ในกระบวนการผลิตถ่านชีวภาพด้วยการแยกสลายด้วยความร้อน หรือไพโรไรซิส (pyrolysis) นั้น จะได้พลังงานชีวภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อการขนส่งหรือระบบอุตสาหกรรมได้ และยังเป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนกลุ่มเชื้อเพลิงแข็งในเชื้อเพลิงฟอสซิลอีกด้วย

นอกจากประโยชน์ของถ่านชีวภาพที่กล่าวในข้างต้น ปัจจุบัน นักวิจัยได้สนใจที่จะศึกษาการนำถ่านชีวภาพมาใช้ในการดูดซับแก๊สเอทิลีนเพื่อยืดอายุการวางจำหน่ายของผัก และผลไม้

**แก๊สเอทิลีน**

แก๊สเอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่ง ที่มีสถานะเป็นแก๊ส ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย เป็นสารประเภทไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) โดยพืช และจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถผลิตแก๊สเอทิลีนได้ ซึ่งแก๊สเอทิลีนมีผลโดยตรงกับพืช กล่าวคือ เอทิลีนมีผลในการเร่งอัตราการเสื่อมสภาพของพืช หรือส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น การร่วงของใบไม้ รวมไปถึงกระตุ้นการสุก และการหายใจของผลไม้ ซึ่งหากผลไม้มีแก๊สเอทิลีน และมีการหายใจมาก จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ขององค์ประกอบภายใน ที่นำไปซึ่งการเสื่อมสภาพ ทำให้ผลไม้มีอายุการวางจำหน่ายสั้น ดังนั้น ในด้านการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว แก๊สเอทิลีน จึงถือเป็นตัวการสำคัญที่ต้องควบคุม เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ ให้มีอายุการวางจำหน่ายให้นานยิ่งขึ้น โดยยังคงคุณภาพหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ ปริมาณแก๊สเอทิลีนในผลไม้แต่ละชนิดนั้นจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภทของผลไม้

การสังเคราะห์เอทิลีนในผลไม้แต่ละชนิดนั้นจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของผลไม้ โดยสามารถแบ่งผลไม้ออกเป็น 2 ประเภท คือ climacteric และnon-climacteric ผลไม้ประเภท climacteric คือ ผลไม้ที่มีการผลิตแก๊สเอทิลีน และความเข้มข้นของเอทิลีนในผลระหว่างการเจริญเติบโตต่ำ เมื่อผลเริ่มสุก จะมีการผลิตแก๊สเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้น และความเข้มข้นของแก๊สเอทิลีนภายในก็เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ในขณะที่ผลไม้ประเภท

กรมวิชาการเกษตร

non-climacteric จะมีอัตราการผลิต และความเข้มข้นของแก๊สเอทิลีนต่ำตลอดการพัฒนาและการเจริญเติบโต (จริงแท้, 2538) กล่าวคือ ในระหว่างการเจริญเติบโต ผลไม้ทั้ง 2 ประเภท มีการสังเคราะห์แก๊สเอทิลีน และความเข้มข้นแก๊สเอทิลีนต่ำเหมือนกัน (ระบบที่ 1) โดยเริ่มจากการที่ methionine (MET) เปลี่ยนไปเป็น S-adenosyl methionine (SAM) โดยมีเอนไซม์ SAM synthetase เป็นเอนไซม์เร่งปฏิกิริยา จากนั้น SAM จะเปลี่ยนไปเป็น 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) โดยมีเอนไซม์ ACC synthase (ACS) เป็นเอนไซม์เร่งปฏิกิริยา และสุดท้าย ACC เปลี่ยนไปเป็น เอทิลีน โดยมีเอนไซม์ ACC oxidase เป็นเอนไซม์เร่งปฏิกิริยา แต่เมื่อผลเริ่มสุก ผลไม้ประเภท climacteric จะมีการสังเคราะห์แก๊สเอทิลีน และความเข้มข้นของแก๊สเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้น (ระบบที่ 2) ซึ่งเป็นการสร้างเอทิลีนตอบสนองต่อเอทิลีน หรือเรียกการกระตุ้นตัวเองแบบนี้ว่า autocatalysis โดยมีวัตถุดิบ เอนไซม์ และขั้นตอนต่าง ๆ เหมือนกันกับระบบที่ 1 แตกต่างกันที่การกระตุ้นเท่านั้น กล่าวคือ เอนไซม์ที่กระตุ้นการสร้างนั้น (ACS) ถูกสร้างมาจากยีนคนละยีน และเมื่อระบบที่ 2 เกิดขึ้นนั้น เอนไซม์ ACS1A ที่ทำหน้าที่ในระบบที่ 1 จะถูกยับยั้งการทำงาน แต่จะมีเอนไซม์ ACS4 และACS2 ทำหน้าที่แทน ตัวอย่างผลไม้ประเภท climacteric เช่น กล้วย มะละกอ ฝรั่ง พลับ มะม่วง เป็นต้น ผลไม้ประเภท non-climacteric เช่น เงาะ สับปะรด ลองกอง สตรอว์เบอร์รี เป็นต้น (จริงแท้, 2553) นอกจากผลไม้จะมีการสังเคราะห์แก๊สเอทิลีนที่แตกต่างกันตามแต่ประเภทของผลไม้แล้ว ยังมีปริมาณการผลิตแก๊สเอทิลีนที่แตกต่างกันอีกด้วย

อัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนในมะม่วง กล้วย และมังคุดนั้น มีอัตราการผลิตอยู่ในระดับปานกลาง 1.0-10.0 $C_2H_4$/กก.ชม. (จริงแท้, 2538) โดยมีรายงานอัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนในมะม่วงน้ำดอกไม้หลังเก็บเกี่ยว พบว่า เมื่อนำมะม่วงน้ำดอกไม้มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มะม่วงมีอัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนสูงที่สุดในวันที่ 4 ซึ่งเป็นวันที่ผลเริ่มสุก (Ketsa *et al.*, 1999) ซึ่งสอดคล้องกับ อภิญญา และอนวัช (2553) ที่นำมะม่วงน้ำดอกไม้ความสุกแก่ 90% มาเก็บรักษา 12 องศาเซลเซียส 3 วัน และย้ายมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส พบว่า ในช่วง 3 วันแรกของการเก็บรักษามีอัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนต่ำ โดยมีอัตราการผลิตไม่เกิน 200 nl $C_2H_4$ $kg^{-1}hr^{-1}$ แต่เมื่อผ่านไป 5 วัน กลับมีอัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในวันที่ 5–11 มีอัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนเท่ากับ 400-1,000 nl $C_2H_4$ $kg^{-1}hr^{-1}$ ส่วนในกล้วยหอมนั้น พบว่า เมื่อนำกล้วยหอมทอง ความแก่ประมาณ 80% มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส กล้วยหอมทองมีอัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนเพิ่มขึ้น โดยในช่วง 2 วันแรก มีอัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนไม่เกิน 0.2 mg $C_2H_4$ $kg^{-1}hr^{-1}$ และเมื่อเก็บรักษานาน 4 วัน กลับมีอัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นเป็น 0.8 mg $C_2H_4$ $kg^{-1}hr^{-1}$ (ณัฐชัย และคณะ, 2555) เช่นเดียวกับการทดลองของชัยรัตน์ (2561) ที่นำกล้วยหอมทองระยะสุกแก่ 70-80% มาเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส มีการหายใจเพิ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มเก็บรักษา จบถึงวันที่ 6 ของการเก็บรักษา โดยมีอัตราการผลิตเอทิลีนอยู่ที่ 1-4 µl/ $kg^{-1}hr^{-1}$ และอัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนในมังคุด โดยนำผลระยะที่ 1 หรือระยะสายเลือดมาเก็บรักษาอุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส พบว่า ในช่วงวันแรกของการเก็บรักษามีอัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนเพิ่มสูง มีค่าประมาณ 50 $nl.g^{-1}.h^{-1}$ จากนั้นค่อย ๆ ลดน้อยลงจนกระทั่งคงที่ และมีการ

กรมวิชาการเกษตร

เพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงก่อนที่สีเปลือกของมังคุดจะมีค่าความสว่างคงที่ คือ ในช่วง 4-6 วันของการเก็บรักษา โดยมีอัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนประมาณ 40 $nl.g^{-1}.h^{-1}$ (สายชล และพัชร, 2552)

จากข้างต้น แก๊สเอทิลีนถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องได้รับการควบคุม เพื่อยืดอายุการวางจำหน่ายผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งปัจจุบัน มีวิธีการต่าง ๆ ที่ช่วยในการยับยั้งหรือชะลอการสังเคราะห์แก๊สเอทิลีนและการทำงานของแก๊สเอทิลีน เช่น การดัดแปลงพันธุกรรม การเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ การควบคุมหรือดัดแปลงสภาพบรรยากาศ การใช้สาร 1-MCP การใช้สารดูดซับเอทิลีน เป็นต้น

**สารดูดซับเอทิลีน**

สารดูดซับเอทิลีน เป็นสารที่นิยมใช้ในการกำจัดแก๊สเอทิลีนออกจากบรรจุภัณฑ์ ซึ่งโดยทั่วไปนั้น สารดูดซับเอทิลีนจะมีโครงสร้างที่มีรูพรุน และมีพื้นที่ผิวสูง สารดูดซับเอทิลีนที่นิยมใช้ทั่วไป เช่น ด่างทับทิม สารดูดซับเอทิลีนพร้อมใช้ Ethyl-Gone® ถ่านกัมมันต์ เป็นต้น

1. ด่างทับทิม (potassium permanganate, $KMnO_4$) เป็นสารดูดซับเอทิลีนที่นิยมใช้ในการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยว โดยทำหน้าที่ในการออกซิไดซ์เอทิลีน ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูป อะซีเตท (acetate) และเอทานอล (ethanol) ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ เช่น การเก็บรักษาสตรอเบอร์รี่ในถุง PE ร่วมกับการใช้สารดูดซับเอทิลีน ($KMnO_4$) 10 เปอร์เซ็นต์ หลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส มีคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ดี และมีอายุการเก็บรักษานานถึง 10 วัน (รอสมี และคณะ, 2559) แต่เนื่องจาก ด่างทับทิมเป็นพิษ จึงเป็นข้อจำกัดโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหารโดยตรง (Rooney, 1995)

2. Ethyl-Gone® เป็นสารดูดซับในรูปแบบซองพร้อมใช้ และยังไม่ทราบส่วนประกอบที่แน่ชัด เนื่องจากเป็นความลับของแต่ละบริษัท แต่คาดว่า น่าจะประกอบไปด้วย ซีโอไลต์ (zeolite) และด่างทับทิม (KMnO4) (ศักยะ, 2555) โดยซีโอไลต์เป็นสารประกอบจำพวกอลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) โดยซีโอไลต์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เป็นซีโอไลต์ที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี มีลักษณะเป็นรูพรุน และมีความสามารถในการดูดซับแก๊สเอทิลีนได้ดี เมื่อนำมาใช้ควบคู่กับด่างทับทิม จึงสามารถช่วยยืดอายุการวางจำหน่ายแก่ผลไม้ได้ โดยมีการทดลองการใช้สาร Ethyl-Gone® ในการเก็บรักษากล้วยไข่ (ปวีณพล และวาสนา, 2560) และมะม่วงน้ำดอกไม้ (ศักยะ, 2555) เป็นต้น

3. ถ่านกัมมันต์ (activated carbon หรือ activated charcoal) เป็นสารดูดซับแก๊สเอทิลีนในรูปของถ่าน ที่ได้จากการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น เปลือกทุเรียน ขี้เลื่อย แกลบ เป็นต้น (รุ่งทิพย์ และคณะ, 2541) มาผ่านวิธีการแยกสลายด้วยความร้อนในสภาวะไร้แก๊สออกซิเจน หรือไพโรไรซิส (pyrolysis) แบบเร็ว ซึ่งจะใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า ไพโรไรซิส (pyrolysis) แบบช้า โดยถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติในการดูดซับมลสารจากของเหลวหรือแก๊ส เนื่องจากมีพื้นที่ผิวมาก ความจุในการดูดซับสูง ผิวโครงสร้างเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (microporous structure) โดยมีขนาดรูพรุนตั้งแต่ 20-20,000 angstrom และมีความวองไวในการดูดซับสูง ทำให้สามารถดูดซับได้ดี โดยมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากถึง 600-1,000 $m^2/g$ (ปรินทร ,2551)

กรมวิชาการเกษตร

รายงานการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับเอทิลีน เช่น การเก็บรักษาแตงหอม โดยใช้กระดาษที่ผสมถ่านกัมมันต์ในการเก็บรักษา พบว่า มีศักยภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาแตงหอม (พีชยา, 2549) และให้ผลเช่นเดียวกันกับการเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้ (แพรวดาว และคณะ, 2560)

จากข้อมูลสารดูดซับเอทิลีนที่ได้กล่าวไปนั้น จะพบว่าทุกสารมีความสามารถในการดูดซับเอทิลีน แต่ยังเกิดข้อจำกัดในการใช้ เนื่องจาก Ethyl-Gone® มีการปนเปื้อนสารเคมี และถ่านกัมมันต์นั้น ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยในปี 2562 ที่ผ่านมานี้ ประเทศไทยมีการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากทั่วโลกคิดเป็นมูลค่ามากถึง 2,478 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2562) ทำให้มีเป็นต้นทุนที่สูง ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีแนวคิดที่จะลดการปนเปื้อนและนำเข้าสารจากต่างประเทศ โดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยถ่านชีวภาพ (biochar) น่าจะมีความสามารถในการดูดซับเอทิลีน เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายใน และมีรูพรุนมาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของสารดูดซับเอทิลีน และยังสามารถผลิตได้ภายในประเทศ เนื่องจากใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าการผลิตถ่านกัมมันต์ และยังเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย แต่เนื่องจากการศึกษาเรื่องถ่านชีวภาพ (biochar) กับการดูดซับแก๊สเอทิลีนในผลไม้ ยังมีอย่างจำกัด จึงนำมาซึ่งวัตถุประสงค์ในการทดลองนี้ เพื่อประเมินคุณภาพของผลไม้หลังเก็บรักษาโดยใช้ถ่านชีวภาพเป็นตัวดูดซับเอทิลีน

**7. วิธีดำเนินการ:**

**- อุปกรณ์**

1. มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้
2. สารดูดซับเอทิลีน
3. กล่องกระดาษลูกฟูก
4. กระดาษบรู๊ฟ
5. ปากกาเคมี
6. ถุงมือยาง
7. ตะกร้าพลาสติก
8. กรรไกรตัดแต่งกิ่ง
9. ขวดรูปชมพู่
10. บีกเกอร์
11. ปิเปรต
12. หลอดทอลอง
13. กระดาษกรอง
14. ผ้าก๊อซ
15. ห้องควบคุมอุณหภูมิต่ำ (Room cooling)
16. เครื่องชั่งน้ำหนัก
17. เครื่องวัดความแน่นเนื้อ (Texture analyzer)
18. เครื่องวัดสี (Color reader)

กรมวิชาการเกษตร

19. เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Digital refractometer)
20. เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Data logger)

**- วิธีการ**

1.การเตรียมตัวอย่างมะม่วง

นำผลมะม่วงน้ำดอกไม้จากแปลงเกษตรกร ในระยะสุกแก่ 90% มาล้างทำความสะอาด จากนั้นคัดเลือกผลที่มี ขนาด และสี ใกล้เคียงกัน มาบรรจุลงในกล่องกระดาษลูกฟูกขนาดกล่องบรรจุ 2 กิโลกรัม โดยบรรจุมะม่วงจำนวน 6 ผลต่อกล่อง แล้วใส่สารดูดซับเอทิลีนในกล่องตามแต่ละกรรมวิธี ประกอบด้วย 3 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่สารดูดซับเอทิลีน (กรรมวิธีควบคุม) กรรมวิธีที่ 2 ใส่สารดูดซับเอทิลีน ปริมาณ 50 กรัมต่อกล่อง และกรรมวิธีที่ 3 ใส่สารดูดซับเอทิลีน ปริมาณ 100 กรัมต่อกล่อง

2.การทดสอบการวางจำหน่าย

นำกล่องมะม่วงทั้ง 3 กรรมวิธี มาจำลองการขนส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน

3.บันทึกผล

วิเคราะห์คุณภาพผลผลิตทุก 7 วัน โดยบันทึกข้อมูล การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีผล (L*, a*, b*) ความแน่นเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี ได้แก่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซี

3.1 การสูญเสียน้ำหนัก

นำมะม่วงมาชั่งน้ำหนักในวันที่บันทึกข้อมูล จากนั้นนำน้ำหนักก่อนการทดลอง และน้ำหนักในวันที่บันทึกผลมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักด้วยสูตร

$$\% \text{ การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น - น้ำหนักวันที่บันทึกผล}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}}$$

3.2 การเปลี่ยนแปลงสีผล

นำมะม่วงมาวัดค่า L* a* b* ด้วยเครื่อง Color reader (KONICA MINOLTA., CR-10, Japan) โดยวัดบริเวณกึ่งกลางผล ทั้ง 2 ด้านที่ตรงข้ามกัน

กรมวิชาการเกษตร

3.3 ความแน่นเนื้อผล

นำมะม่วงมาวัดความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง Texture Analyzer (LLOYD instruments., รุ่น LX plus, United Kingdom) ตัววัดแรง (load cell).1 กิโลกรัม ความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะทางในการวัด 5 มิลลิเมตร โดยทำการวัดบริเวณกึ่งกลางผลทั้ง 2 ด้าน มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

3.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

นำน้ำคั้นที่ได้จากผลมะม่วงมาวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ด้วยเครื่อง Digital Refractometer (ATAGO., รุ่น PR-101, Japan) อ่านค่าที่ได้ในหน่วย %

3.5 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

นำน้ำคั้นจากผลมะม่วง ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เติม Phenolphthalein ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็น indicator จำนวน 2 หยด นำไปไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติ หรือสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน นำค่าปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการ ไทเทรตไปคำนวณหาปริมาณกรดในรูปของเปอร์เซ็นต์กรดมาลิกจากสูตร (AOAC., 1990)

$$\% \text{ TA} = \frac{(\text{N NaOH})(\text{ml NaOH})(\text{meq. wt of malic acid})}{\text{ml of sample}}$$

N NaOH คือ Normality ของสารละลายด่างมาตรฐาน (0.1 N)

ml NaOH คือ ปริมาตร (ml) ของ NaOH ที่ใช้ในการไทเ X 100

meq.wt of malic acid คือ 0.067

3.6 ปริมาณวิตามินซี

การเตรียมสารละลายกรดแอสคอร์บิคมาตรฐาน (SIGMA-Aldrich, Chemie, Steinheim, Germany) ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม /100 มิลลิลิตร) นำกรดแอสคอร์บิคปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมกรดออกซาลิกปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตด้วย สารละลาย 2,6-dichlorophenolinophenol จนกระทั่งถึงจุดยุติ คือ จุดที่สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอย่างน้อย 5 วินาที

การหาปริมาณวิตามินซีจากมะม่วง นำน้ำคั้นมะม่วง ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมกรดออกซาลิกปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปไทเทรตด้วย สารละลาย 2,6 dichlorophenolinophenol จนกระทั่งถึงจุดยุติ หรือจุดที่สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอย่างน้อย 5 วินาที นำค่าของปริมาตรสารละลาย 2, 6

X 100

$$\text{ปริมาณวิตามินซี} = \frac{\text{ปริมาณ 2,6-dichloroindophenol ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง}}{\text{ปริมาณน้ำคั้นที่ใช้ (ml)}}$$

กรมวิชาการเกษตร

dichloroindophenols ที่ใช้ไป มาคำนวณหาปริมาณวิตามินซี โดยมีหน่วยเป็น มิลลิกรัม กรดแอสคอร์บิค/ 100 มิลลิลิตรน้ำคั้น (mg Ascorbic acid/100mL juice)

**ระยะเวลาทำการทดลอง**

ตุลาคม 2559 - กันยายน 2563

**8. ผลการทดลองและวิจารณ์**

ประสิทธิภาพการดูดซับแก๊สเอทิลีน

จากการทดลองประสิทธิภาพในการดูดซับแก๊สเอทิลีนของถ่านซังข้าวโพด ถ่านไม้ไผ่ และถ่านกิ่งลำไยพบว่า ถ่านซังข้าวโพดมีความสามารถในการเป็นดูดซับแก๊สเอทิลีนได้ดี เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ถ่านซังข้าวโพดสามารถดูดซับแก๊สเอทิลีนได้ถึง 72% และประสิทธิภาพในการดูดซับแก๊สเอทิลีนมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น โดยสามารถดูดซับแก๊สเอทิลีนได้มากสุดถึง 94% ในขณะที่ถ่านไม้ไผ่ และถ่านกิ่งลำไยมีประสิทธิภาพในการดูดซับแก๊สเอทิลีนน้อยกว่าถ่านซังข้าวโพด และทั้ง 2 ถ่านมีประสิทธิภาพในการดูดซับแก๊สเอทิลีนไม่แตกต่างกัน โดยที่เวลา 10 นาที สามารถดูดซับได้ 69-72% และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น โดยสามารถดูดซับแก๊สเอทิลีนได้มากสุด 82-85% (ภาพที่ 1)

1. คุณภาพทางกายภาพ

1.1 การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงที่ได้รับสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตจากถ่านซังข้าวโพด พบว่าในช่วง 7 วันแรกของการเก็บรักษา ทุกกรรมวิธีมีการสูญเสียน้ำหนัก 2.2-2.5% และมีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง 5% ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา ส่วนในวันที่ 28 ของการเก็บรักษานั้น พบว่า ทุกกรรมวิธีมีการสูญเสียน้ำหนักใกล้เคียงกัน โดยกรรมวิธีควบคุม มีการสูญสียน้ำหนักมากที่สุดถึง 7% รองลงมาคือกรรมวิธีที่ได้รับสารดูดซับเอทิลีน 50 และ100 กรัม ตามลำดับ โดยมีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 6.7% และ 6.3% ตามลำดับ ทั้งนี้ มีแนวโน้มว่าการใช้สารดูดซับเอทิลีนช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก (ภาพที่ 2)

1.2 การเปลี่ยนแปลงสีผล

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีผลในมะม่วงที่ได้รับสารดูดซับเอทิลีน พบว่า ตลอดการเก็บรักษา กรรมวิธีควบคุม มีค่าความสว่าง หรือค่า L* น้อยกว่าทุกกรรมวิธี โดยในวันที่ 7 ของการเก็บรักษากรรมวิธีควบคุมมีค่า L* เท่ากับ 69.9 จากนั้น มีค่าลดน้อยลงจนถึง 65.5 ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา และมีค่าคงที่จนเก็บรักษาครบ 28 วัน ส่วนกรรมวิธีที่ได้รับสารดูดซับเอทิลีน พบว่า สามารถชะลอการลดลงของค่า L* ได้ โดยกรรมวิธีที่ได้รับสารดูดซับเอทิลีน 50 กรัม ในช่วงวันที่ 7 และ14 ของการเก็บรักษา มีค่า L* ไม่แตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ 70.5-70.6 จากนั้น มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนเหลือเพียง 68.8 ในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา เช่นเดียวกันกับกรรมวิธีที่ได้รับสารดูดซับเอทิลีน 100 กรัม ที่พบว่า ในวันที่ 7 และ14 ของเก็บ

กรมวิชาการเกษตร

รักษามีค่า L* ไม่แตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ 71.4-71.5 จากนั้น มีค่าลดน้อยลง จนเหลือเพียง 68.1 ในวันที่ 28 ของเก็บรักษา (ภาพที่ 3ก)

ค่าสีแดง หรือค่า a* ของมะม่วงทั้ง 3 กรรมวิธี พบว่า ทุกกรรมวิธี มีค่า a* ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าเท่ากับ 1.2-1.8 ในวันที่ 7 และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง 7.4-8.3 ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา จากนั้นมีค่าคงที่ จนกระทั่งเก็บรักษาครบ 28 วัน (ภาพที่ 3ข)

ค่าสีเหลือง หรือค่า b* ของมะม่วง พบว่า ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา กรรมวิธีควบคุมมีค่า b* 36.7 และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนมากถึง 42.2 จากนั้น มีค่าคงที่จนเก็บรักษาครบ 28 วัน ส่วนกรรมวิธีที่ได้รับสารดูดซับเอทิลีน สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า b* ได้ โดยทั้ง 2 กรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ 35.5-35.8 ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนถึง 41.0 ในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 3ค)

1.3 ความแน่นเนื้อ

จากการประเมินค่าความแน่นของของมะม่วงที่ได้รับสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตจากถ่านซังข้าวโพด พบว่า หลังเก็บรักษา 7 วัน กรรมวิธีควบคุมมีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 19.9 นิวตัน และมีค่าลดลงต่อเนื่องจนมีค่าเพียง 4.1 นิวตัน ในขณะที่ กรรมวิธีที่ได้รับสารดูดซับเอทิลีน สามารถชะลอการลดลงของค่าความแน่นเนื้อได้ ซึ่งทั้ง 2 กรรมวิธีมีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน โดยหลังเก็บรักษา 7 วัน มีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 21.7-22.5 นิวตัน จากนั้น มีค่าลดน้อยลงจนเก็บรักษาครบ 28 วัน มีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับ 5.0-5.8 นิวตัน (ภาพที่ 4)

2. คุณภาพทางเคมี

2.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

การประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะม่วง พบว่า ทุกกรรมวิธีมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกัน โดยหลังเก็บรักษา 7 วัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 13.2-14.4% จากนั้น มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึง 17.5% ในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 5ก)

2.2 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

การประเมินปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ พบว่า หลังเก็บรักษา 7 วัน กรรมวิธีควบคุมมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เท่ากับ 1.8% และมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนเก็บรักษาครบ 28 วัน มีค่าเพียง 0.4% ส่วนกรรมวิธีที่ได้รับสารดูดซับเอทิลีน 50 กรัม มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ 1.6% และมีค่าลดลงจนเหลือเพียง 0.3% ในวันที่ 28 ส่วนกรรมวิธีที่ได้รับสารดูดซับเอทิลีน 100 กรัม มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เท่ากับ 1.9% และมีค่าลดน้อยลงจนเหลือเพียง 0.4% ในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 5ข)

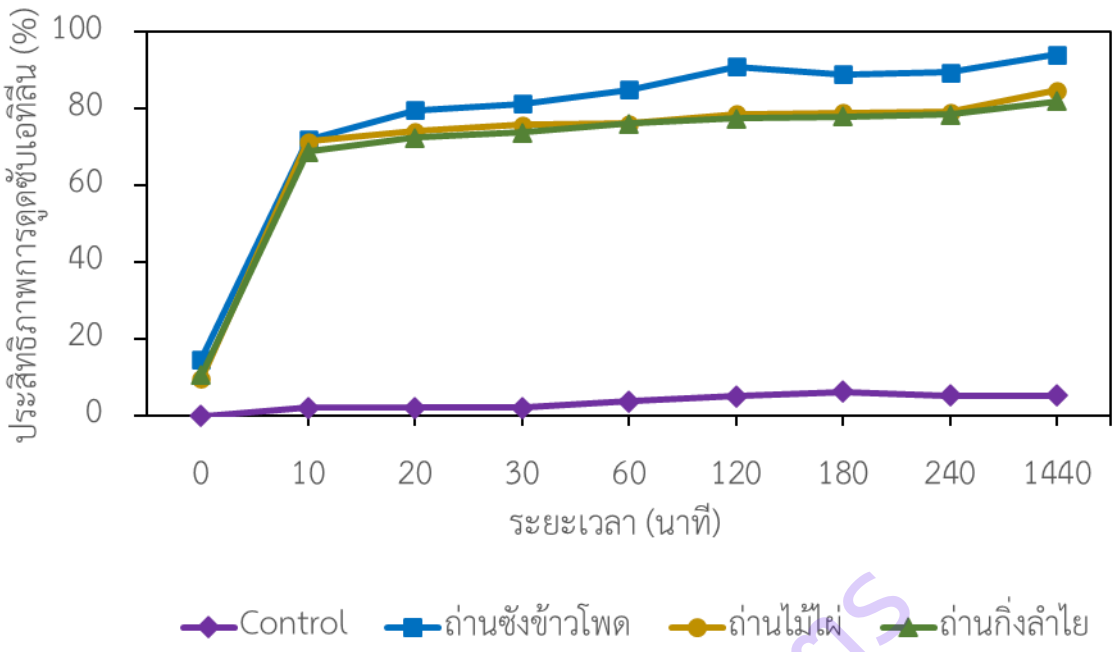
2.3 ปริมาณวิตามินซี

ปริมาณวิตามินซีของมะม่วงทั้ง 3 กรรมวิธี พบว่า หลังเก็บรักษา 7 วัน กรรมวิธีควบคุมมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 28.1 mg/100 g ml และมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนเหลือเพียง 23.7 mg/100 g ml

กรมวิชาการเกษตร

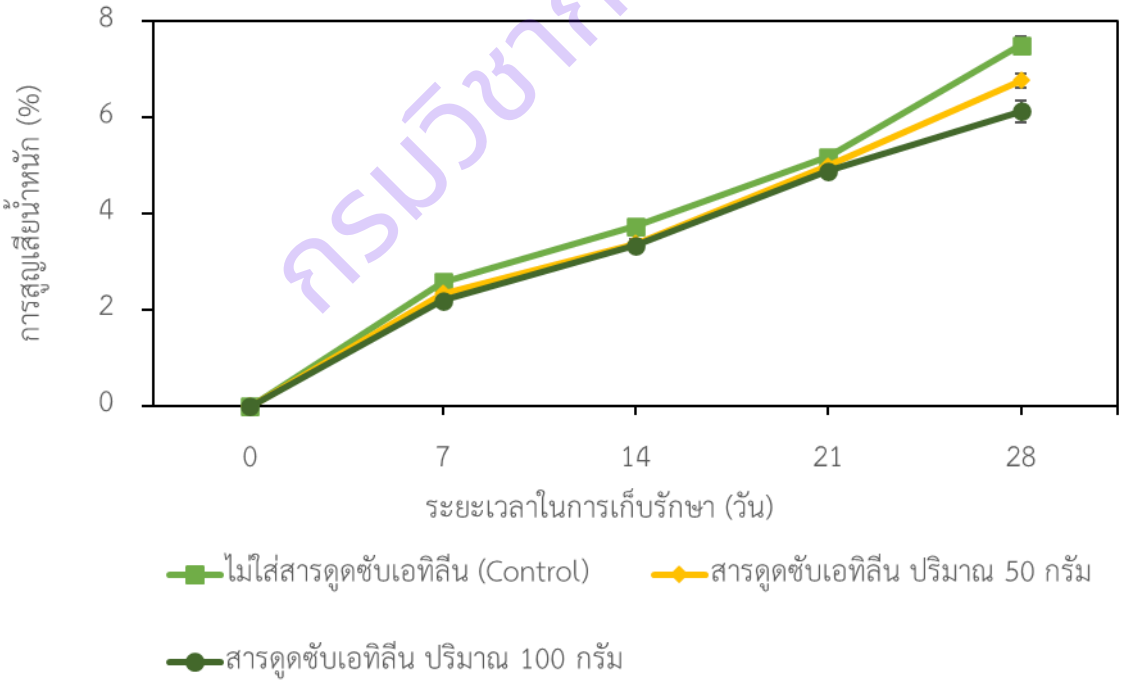
ในวันที่ 28 กรรมวิธีที่ได้รับสารดูดซับเอทิลีน 50 กรัม มีปริมาณวิตามินซี 25.6 mg/100 g ml ในวันที่ 7 และลดน้อยลงจนถึงวันที่ 14 มีค่ากับ 23.9 mg/100 g ml จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นวันที่ 21 มีค่าเท่ากับ 26.2 mg/100 g ml และลดน้อยลงจนเหลือเพียง 24.1 mg/100 g ml ส่วนกรรมวิธีที่ได้รับสารดูดซับเอทิลีน 100 กรัม หลังเก็บรักษา มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 26.8 mg/100 g ml และมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 23.2 mg/100 g ml (ภาพที่ 5ค)

กรมวิชาการเกษตร

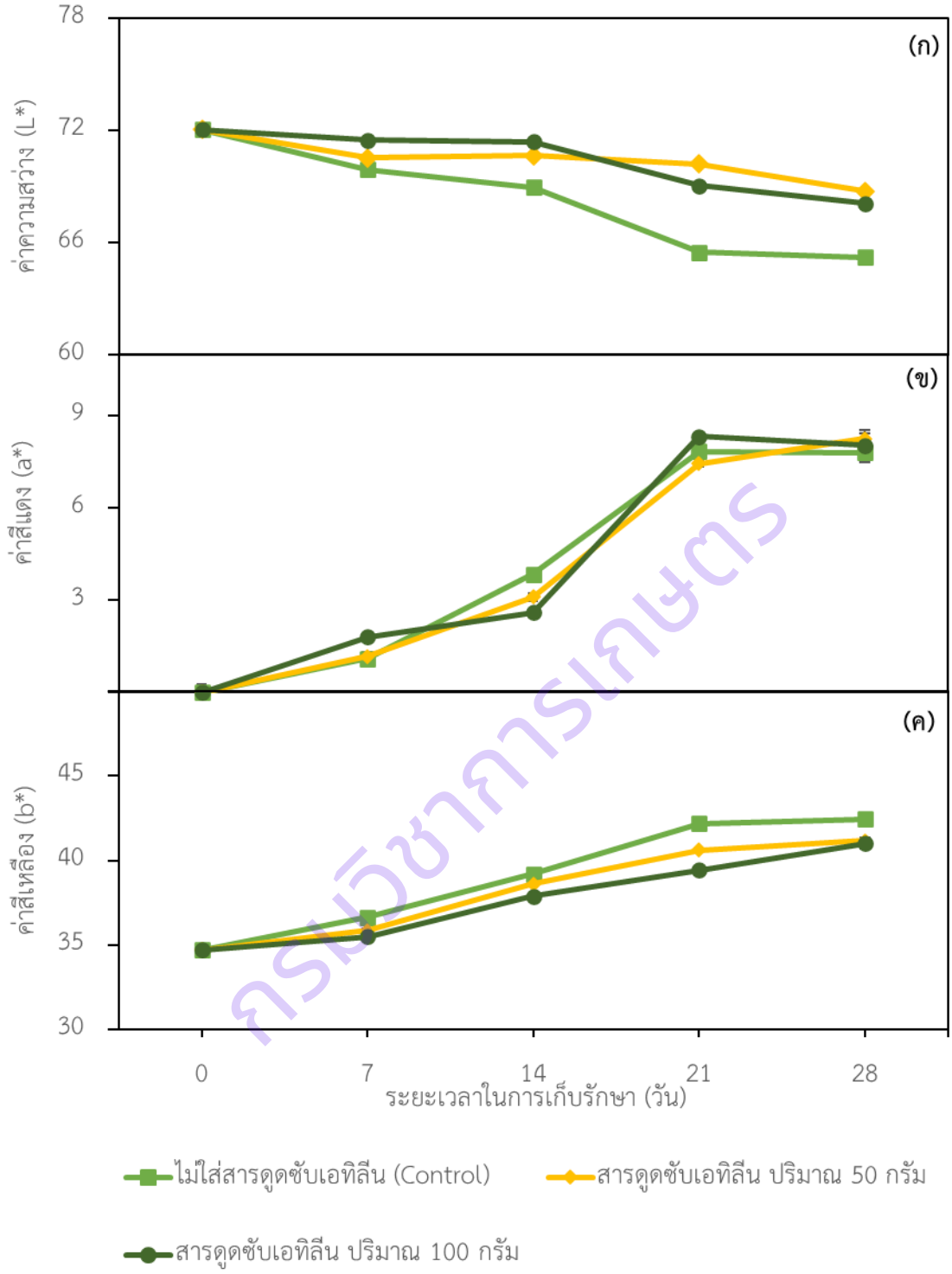



**ภาพที่ 1** ประสิทธิภาพการดูดซับเอทิลีน (เปอร์เซ็นต์) ของไบโอชาร์ในการทดสอบห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

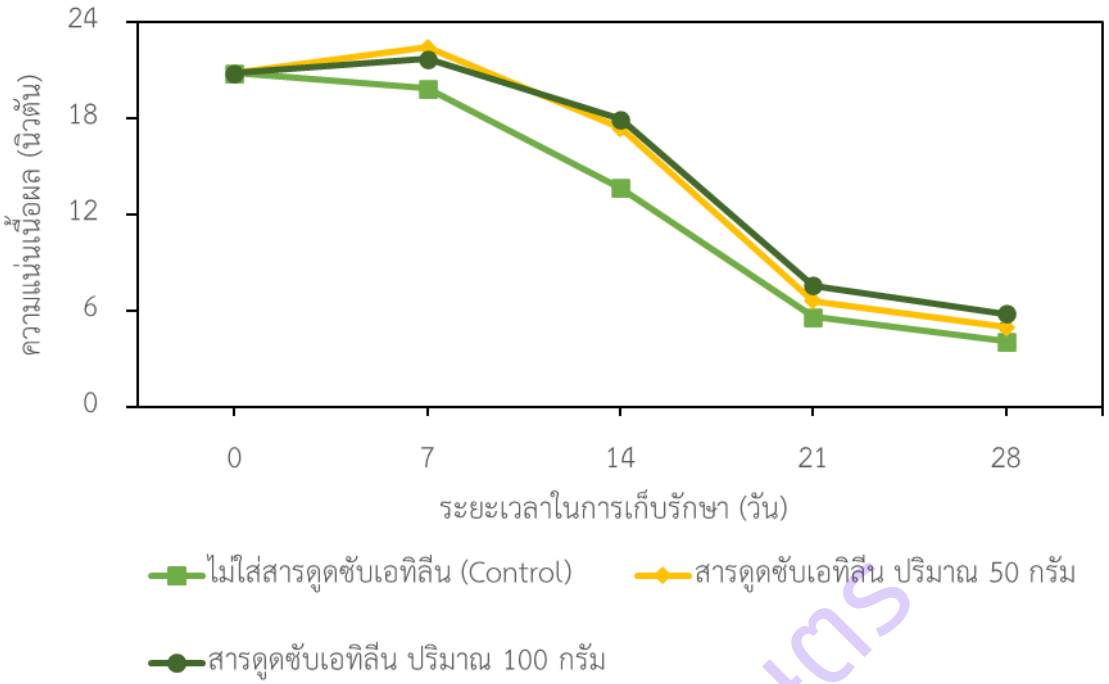
กรมวิชาการเกษตร




**ภาพที่ 2** เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ที่ใส่สารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตจากซังข้าวโพดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน

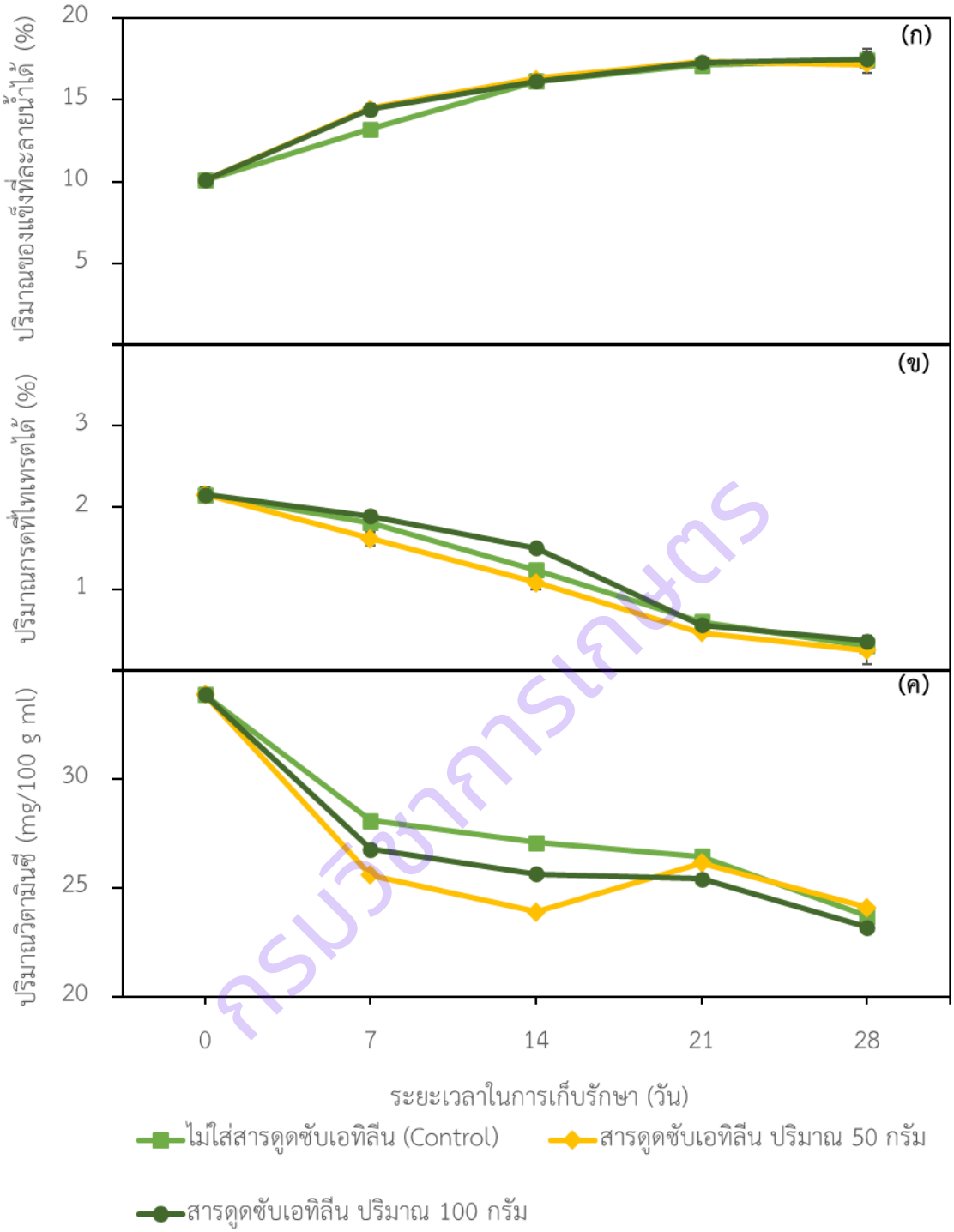



**ภาพที่ 3** การเปลี่ยนแปลงสี (ค่าความสว่าง L*(ก) ค่าสีแดง a* (ข) ค่าสีเหลือง b* (ค)) ของเปลือกมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ที่ใส่สารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตจากซังข้าวโพดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน




**ภาพที่ 4** การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อผล (นิวตัน) ของมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ที่ใส่สารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตจากซังข้าวโพดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน

กรมวิชาการเกษตร




กรมวิชาการเกษตร

**ภาพที่ 5** การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี (ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ก) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ข) ปริมาณวิตามินซี (ค)) ของมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ที่ใส่สารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตจากซังข้าวโพดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน

การทดลองใช้ถ่านชีวภาพ (Biochar) จากถ่านซังข้าวโพด พบว่า สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี และการลดลงของค่าความแน่นเนื้อในมะม่วงได้ ซึ่งเมื่อเทียบกับการใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาในมะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดสามารถเก็บรักษาได้นานถึง 28 วัน ในขณะที่ การใช้ถ่านกัมมันต์ตามรายงานของ พรชัย และคณะ (2553) ที่ใช้กล่องที่บุด้วยกระดาษกัมมันต์ความเข้มข้น 25% สามารถชะลอการสุก การเปลี่ยนแปลงสี และความแน่นเนื้อของผลมะม่วงได้ โดยสามารถเก็บรักษามะม่วงได้เพียง 20 วัน ซึ่งถ่านกัมมันต์นั้น มีความสามารถในการดูดซับแก๊สเอทิลีนได้มากที่สุด 0.96 ppm/hr (แพรวดาว และคณะ, 2560) ในขณะที่ การใช้ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดมีประสิทธิภาพในการดูดซับแก๊สเอทิลีนได้มากถึง 94%

จากการประเมินการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี และความแน่นเนื้อ พบว่า การใช้ถ่านซังข้าวโพดสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ เนื่องจาก ถ่านซังข้าวโพดมีความสามารถในการดูดซับแก๊สเอทิลีนที่ผลไม้ปลดปล่อยออกมา โดยแก๊สเอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีบทบาทในการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่นำไปซึ่งการวายของผัก และไม้ เมื่อพืชได้รับเอทิลีนจะถูกกระตุ้นให้มีการหายใจมากขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของแก๊สเอทิลีน และอัตราการหายใจ จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในต่าง ๆ และการหายใจจะต้องใช้อาหารสะสมภายในของผลไม้ที่อยู่ในรูปน้ำตาล จึงทำให้ผลไม้มีอายุการเก็บรักษาที่สั้น (จริงแท้, 2538; จริงแท้, 2553) ดังนั้น การดูดซับแก๊สเอทิลีนจึงสามารถลดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงสี เมื่อผลมะม่วงเข้าสู่กระบวนการสุก จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสี โดยผลมะม่วงจะมีการเปลี่ยนแปลงสี จากสีเขียวเป็นสีเหลือง ทั้งนี้ เนื่องจากการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ลดน้อยลง และเกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ทำให้เห็นสีเหลืองของแคโรทีนอยด์ ส่วนการชะลอการลดลงค่าความแน่นเนื้อนั้นสอดคล้องกับการทดลองของ Warsiki *et al*. (2019) ที่ใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับแก๊สเอทิลีนในผลมะม่วง ซึ่งพบว่า สามารถชะลอการลดลงของค่าความแน่นเนื้อได้ ทั้งนี้ เกิดจากการที่ในผลไม้มีแก๊สเอทิลีนลดน้อยลง ส่งผลให้ไปลดกิจกรรมของเอนไซม์ polygalacturonase และ pectinesterase (Dong *et al.*, 2009) pectate lyase (Ortiz *et al.*, 2011) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพคติน (pectin) ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และละลายน้ำได้น้อยให้มีโมเลกุลขนาดเล็ก และละลายน้ำได้มาก ทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์พืชยังคงความแข็งแรง และชะลอการลดลงของค่าความแน่นเนื้อได้ ส่วนการชะลอการลดลงของการสูญเสียน้ำหนักนั้นสอดคล้องกับการทดลองของ ปริญญา และคณะ (2563) ที่ทดลองใช้กระดาษดูดซับเอทิลีนผสมถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด ซึ่งสามารถชะลอการลดลงของการสูญเสียน้ำหนักได้ ในกล้วยหอมทอง

กรมวิชาการเกษตร

**9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ**:

จากการพัฒนาสารดูดซับเอทิลีนจากไบโอชาร์ พบว่า ถ่านซังข้าวโพดมีประสิทธิภาพในการดูดซับแก๊สเอทิลีนมากที่สุด ถึง 94% และเมื่อนำมาทดสอบโดยใส่ถ่านซังข้าวโพด 50 และ100 กรัม ในกล่องมะม่วง เพื่อจำลองการขนส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน พบว่า การใช้ถ่านซังข้าวโพด50 และ 100 กรัม สามารถลดการสูญเสียคุณภาพของผลไม้ได้ โดยสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี และค่าความแน่นเนื้อได้ ในขณะที่ ยังสามารถคงคุณภาพทางเคมีของผลไม้ได้เช่นกัน

**10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์:**

ในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองแนะนำให้ใช้สารดูดซับเอทิลีนจากไบโอชาร์ที่ผลิตมาจากซังข้าวโพดในปริมาณ 50 กรัมต่อน้ำหนักผลผลิต 2 กิโลกรัม ซึ่งมีต้นทุนการผลิต 0.5 บาท ต่อ 50 กรัม โดยจะนำไปแนะนำให้ผู้ประกอบการและผู้ส่งออกนำไปใช้ต่อไป

**11. คำขอบคุณ (ถ้ามี):** ไม่มี

**12. เอกสารอ้างอิง:**


กระทรวงพลังงาน. 2556. **ชีวมวล (Biomass).** แหล่งที่มา : http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html#, 1 กันยายน 2563.

กรมศุลกากร. 2562. **สถิติการนำเข้าถ่านกัมมันต์ปี 2562**. แหล่งที่มา: http://www.customs.go.th/statistic_report.php?tab=by_tariff_classification, 16 กันยายน 2563.

จิระพงษ์ คูหากาญจน์. 2552. **การผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้ (Charcoal & Wood Vinegar).** บริษัท ออฟเซ็ท ครีเอชั่นจำกัด, กรุงเทพฯ.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2538. **สรีระเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม.

_____. 2553. **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยว และการวายของพืช.** โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม.

ชัยรัตน์ บูรณะ. 2561. ผลของฟองก๊าซ 1-MCP ขนาดไมโคร ต่อคุณภาพของกล้วยหอมทอง. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา** 23 (3): 1597-1603.

ณัฐชัย พงษ์ประเสริฐ, พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย และ วาริช ศรีละออง. 2555. การใช้ฟองก๊าซ 1-MCP ขนาดไมโครและนาโน: เทคนิคใหม่ในการชะลอการสุกของกล้วยหอม. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** 43 (3) (พิเศษ): 284-287.


กรมวิชาการเกษตร

ปริญญา ไกรวุฒินันท์, ศุภกิจ ยินดี และอชิรญา ศิริภาพ. 2563. การพัฒนากระดาษดูดซับเอทิลีนจากถ่านกัมมันต์(ไม้ไผ่และซังข้าวโพด) สำหรับการชะลอการสุกของกล้วยหอมทอง (Musax paradisiacal). **วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์** 1: 41-48.

ปรินทร เต็มญารศิลป์ . 2551. **การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตงและไผ่หมาจู๋**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมี), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปวีณพล คุณารูป และ วาสนา พิทักษ์พล. 2560. ผลของสารดูดซับเอทิลีนต่อการชะลอการสุกและคุณภาพการแปรรูป เป็นกล้วยกรอบของกล้วยไข่พันธุ์พระตะบอง. **วารสารแก่นเกษตร** 45 (1) (พิเศษ) : 374-380.

พีชยา ตันติเตมิท. 2549. **การผลิตกระดาษจากใบสับปะรดที่มีถ่านกัมมันต์เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บแตงหอม Cucumis melo L**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรชัย ราชตนะพันธุ์, สุพัฒน์ คำไทย และดวงใจ น้อยวัน. 2553. ผลของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟจากกระดาษดูดซับเอทิลีนต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41 (1) (พิเศษ): 227-230.

แพรวดาว โสภา, มลฑฐิ กันทาเดช, กนกกาญจน์ พรรณนาไทร, วรรณิกา คำวังสวัสดิ์ และ สุฐพัศ คำไทย. 2560. ประสิทธิภาพของกระดาษเคลือบสารดูดซับเอทฐินเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** 48 (3) (พิเศษ ) : 339-342.

มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2560. **บทสรุปผู้บริหารโครงการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานทดแทน ในกลุ่มวิสาหกิจชุมชน และอุตสาหกรรมขนาดเล็กของประเทศไทย.** กรุงเทพฯ: มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม.

รุ่งทิพย์ ชัยวัฒนานนท์, ผาสุก คงชาตรี, กรรณิกา สถาปิตานนท์และ นัยนา นิยมขัน. 2541. **การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม**. โครงการวิจัยที่ ภ 37-14. สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, หน้า 3-4.

รอสมี ยะสะแต, สมชาย กล้าหาญ และ ขวัญชนก เรือนงาม. 2559. ผลของสารดูดซับเอทิลีนต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพของสตรอเบอรรี่. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์** 3 (1) (พิเศษ) : 26-32.

ศักยะ สมบัติไพรวัน. 2555. **การศึกษาการชะลอการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยถ่านกัมมันต์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สายชล เกตุษา และ พัชร ปิริยะวินิตร. 2552. **รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยรหัส ก-ษ (ด) 10.52 เรื่องการควบคุมการสุกของผลมังคุดหลังการเก็บเกี่ยว.** สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 104.

สำนักงานเกษตรจังหวัดชัยนาท. 2560. **ข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรจังหวัดชัยนาท ปี 2560**. 16-19.

กรมวิชาการเกษตร

อรสา สุกสวาง. 2552. **เทคโนโลยีถานชีวภาพ: วิธีแกปญหาโลกรอน ดิน และความยากจนในภาคเกษตรกรรม.** *ใน* การประชุมวิชาการเรื่อง **สภาวะโลกรอน: ความหลากหลายทางชีวภาพและการใชประโยชนอยางยั่งยืน.** 5-6 พฤศจิกายน 2552. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตรวิทยาเขตกำแพงแสน, 172-184.

อภิญญา วิสุทธิอมรกุล และ อนวชั สุวรรณกุล. 2553. ผลของรังสีแกมมาที่มีตอคณภาพของผลมะมวงพันธุน้ำดอกไมสีทอง. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** 41 (1) (พิเศษ): 99-102.

Dong, T., Xia, R., Xiao, Z., Wang, P. and Song, W. 2009. Effect of pre-harvest application of calcium and boron on dietary fibre, hydrolases and ultrastructure in 'Cara Cara'navel orange (Citrus sinensis L. Osbeck) fruit. **Scientia horticulturae** 121(3): 272-277.

Ketsa, S., W. Phakawatmongkol and S. Subhadrabhandhu. 1999. Peel enzymatic activity and colour change in ripening mango fruit. **Journal Plant Physiol**. 154: 363-366.

Ortiz, A., Graell, J. and Lara. I. 2011. Cell wall-modifying enzymes and firmness loss in ripening 'Golden Reinders' apples: A comparison between calcium dips and ULO storage. **Food Chemistry**. 128: 1072–1079.

Pituya, P., Sriburi, T. and Wijitkosum, S. 2017. Optimization of Biochar Preparation from Acacia Wood for Soil Amendment. **Engineering Journal** 21 (2): 99-105.

Rooney, M.L. 1995. **Ethylene-removing packaging**. p.38-54. *In*: **active food packaging**. 1st edition. Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall. UK. 293p.

Suksawang, O. 2010. **Biochar: Carbon Negative Technology, A Solution for Solving Global Warming, Soil and Poverty**. Fostering Economic Growth through Low Carbon Initiatives in Thailand 25-26 Feb. 2010.

Warsiki, E., Aprilliani, F. and Iskandar, A. 2019. The effects of the use of corrugated cardboards covered with ethylene absorbers on mango fruit quality after short-term storage (Mangifera indica L.). **Journal of Horticultural Research** 27 (2): 65-70.

Winsley, P. 2007. Biochar and bioenergy production for climate change mitigation. **New Zealand Science Review**, (64) (1): 5-10.

Yanai, Y., Toyota, K. and Okazaki, M. 2007. Effects of charcoal addition on N2O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments. **Soil Sci Plant Nutr** 53: 181–188.

Zafar, S. 2008. **Biochar and its Role in Mitigating Climate Change** (Online). Available:

กรมวิชาการเกษตร

http://news.mongabay.com/2008/1217-zafar_biochar.html., 8 Sep 2020.

กรมวิชาการเกษตร