

การใช้ซอลกเป็นสารตัวพาของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเพื่อยืดอายุ การเก็บรักษาผลมะนาว

พรอนันต์ บุญก่อน* และ อังคณา เชื้อเจ็ดตน

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้สารดูดซับเอทิลีนที่ทำจากสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาวที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส โดยทำการเก็บรักษาผลมะนาวร่วมกับถุงตาข่ายที่บรรจุสารดูดซับเอทิลีนที่ทำจากวัสดุต่าง ๆ ได้แก่ (1) ซอลกแท่งที่ไม่ผ่านการแช่ KMnO_4 (ชุดควบคุม) (2) ซอลกแท่งที่ผ่านการแช่สารละลาย KMnO_4 ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์หรือ (3) ผงซอลกที่ผ่านการแช่สารละลาย KMnO_4 ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำมาวางในถาดโฟมและหุ้มด้วยพลาสติก PVC แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 วัน จากการทดลองพบว่าผลมะนาวในชุดที่เก็บรักษาร่วมกับผงซอลกที่ผ่านการแช่สารละลาย KMnO_4 ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ สามารถรักษาคุณภาพของผลมะนาวได้ดีที่สุด เนื่องจากสามารถชะลอการลดลงของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ การลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์รวมทั้งเปลือกผล รวมทั้งมีคะแนนการประเมินคุณภาพทางการบริโภคสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำแต่อย่างใด

*ผู้เขียนหลัก: pornananb@yahoo.com

คำสำคัญ: ซอลก สารตัวพาของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต มะนาว

The Usage of Chalk as Potassium Permanganate Carrier for Extending the Storage Life of Lime Fruits

Pornanan Boonkorn* and Angkana Chuajedton

Department of Biology, Faculty of Science, Lampang Rajabhat University, Thailand

Abstract

This research explored the usage of an ethylene absorber made from 3% potassium permanganate (KMnO_4) as a way of extending the storage life of lime fruits kept at 13 °C. Three ethylene absorber treatments were used and these were packed in netted bags. The treatments consisted of (1) chalk sticks (the control treatment), (2) chalk stick soaked in 3% KMnO_4 and (3) chalk powder soaked in 3% KMnO_4 . The ethylene absorber and limes were placed together on a foam tray, covered with PVC film and stored at 13 °C for 40 days. The results showed that the ethylene absorber made from chalk powder soaked in 3% KMnO_4 preserved the fruit better than did the other treatments, and this treatment slowed the decline in titratable acidity content and total chlorophyll content. The scores awarded in consumer assessment of the treatment were also significantly higher for this than for other treatments. All studied treatments did not significantly effect on weight loss and total soluble solids of the fruits.

*Corresponding Author : pornananb@yahoo.com

Keywords: chalk, potassium permanganate carrier, lime

1. บทนำ

มะนาวเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่ตลาดมีความต้องการสูงตลอดทั้งปี อย่างไรก็ตามมะนาวให้ผลผลิตมากเฉพาะในช่วงฤดูฝนซึ่งเป็นช่วงที่มะนาวล้นตลาด มีราคาถูก เมื่อถึงฤดูแล้งผลผลิตจะลดลง จึงทำให้เกิดปัญหากับผู้บริโภคโดยตรงเนื่องจากราคาของมะนาวค่อนข้างสูง การยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาวที่มีปริมาณล้นตลาดในฤดูฝนให้ยาวจนถึงฤดูแล้งเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหานี้ได้ อย่างไรก็ตามพบว่าผลมะนาวเมื่อถูกเก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน ส่วนของเปลือกผลจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเนื้อผลมีปริมาณกรดและวิตามินซีที่ลดลง ทำให้ลดมูลค่าทางการตลาด เอทิลีนเป็นฮอร์โมนที่พืชสร้างขึ้นได้เองและสามารถชักนำให้เกิดสลายคลอโรฟิลล์ได้และขณะเดียวกันก็สามารถชักนำให้เกิดการสร้างคาโรทีนอยด์ได้ด้วยเช่นกันความเข้มข้นของเอทิลีนในผลมะนาวที่ 0.1 ppm สามารถชักนำให้สีผลเปลี่ยนเป็นสีเหลืองได้^[1]

โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นสารเคมีที่สามารถทำปฏิกิริยากับเอทิลีนทำให้เกิดเป็นสารใหม่คือ แมงกานีสไดออกไซด์ (manganese dioxide) และเอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นเอทิลีนได้อีก ในปัจจุบันมีการใช้ในเชิงพาณิชย์เพื่อชะลอการสุกของผลไม้ระหว่างการขนส่งโดยผลิตออกมาจำหน่ายแบบสำเร็จรูปซึ่งพร้อมที่จะใช้ได้ทันที แต่วัสดุเหล่านี้ยังมีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นการผลิตสารดูดซับเอทิลีนขึ้นเพื่อใช้เองจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตและยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรได้ มีงานวิจัยจำนวนมากที่ใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ในการดูดซับเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักผลไม้ เช่นงานวิจัยของ Chaves *et al.* (2007)^[4] ที่พบว่าโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตสามารถชะลอการแก่ของผลน้อยหน่าและขยายเวลาให้เกิดการสุกของผลอย่างมีประสิทธิภาพได้ เช่นเดียวกับ Silva *et al.* (2009)^[13] ใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในการเก็บรักษาผลมะละกอพันธุ์ Sunrise Golden พบว่ามีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพของมะละกอระยะ pre-climacteric ตลอด 25 วันของการเก็บรักษาโดยไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการสุกของผลในภายหลัง อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของสารโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในการออกซิไดส์ก๊าซเอทิลีนในบรรยากาศรอบๆ ผลผลิตต้องอาศัยพื้นที่ผิวที่มากเพียงพอ ซึ่งสามารถทำได้โดยการดูดซับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตไว้ที่ผิวของวัสดุตัวพาประเภทอินทรีย์ที่เฉื่อยและมีรูพรุนเช่น ซิลิกา^[7] เวอร์มิคูไลท์^[12], อะลูมินา^[8] นาโนซีโอไลต์^[6] เป็นต้น ขณะที่ Kavanagh and Wade (1987)^[9] ได้ศึกษาวัสดุตัวพาจำนวน 21 ชนิดพบว่าวัสดุตัวพาแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพในการออกซิไดส์ก๊าซเอทิลีนโดยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและความจุของวัสดุนั้นๆ สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทดสอบการใช้ซอร์บ์ทั้งแบบแห้งและแบบผงในการเป็นตัวพาของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเพื่อดูดซับก๊าซเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์ที่มีผลมะนาว เนื่องจากซอร์บ์เป็นวัสดุที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย

2. วิธีการดำเนินการ

การเตรียมสารดูดซับเอทิลีน

นำซอล์กแท่งและผงซอล์กแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ (w/v) จนอิ่มตัว จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส บรรจุในถุงตาข่ายขนาด 8x9 เซนติเมตร ฤกษ์ละ 20 กรัม ส่วนชุดควบคุมใช้ซอล์กแท่งที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

กรรมวิธีการทดลอง

นำผลมะนาวไร้เมล็ดพันธุ์ตาฮิติมาแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ชุดที่ 1 เก็บรักษาร่วมกับซอล์กแท่ง (ชุดควบคุม) ชุดที่ 2 เก็บรักษาร่วมกับซอล์กแท่งที่ผ่านการแช่ KMnO_4 และ ชุดที่ 3 เก็บรักษาร่วมกับผงซอล์กที่ผ่านการแช่ KMnO_4 จากนั้นนำผลมะนาวเรียงในถาดโฟมแล้วนำถุงตาข่ายที่บรรจุสารดูดซับเอทิลีนแต่ละชุดการทดลองใส่ลงในแต่ละถาด ปิดด้วยพลาสติก PVC แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 วัน การวัดผลทางกายภาพและเคมีในทุกการทดสอบทำ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ผล ส่วนการประเมินคุณภาพทางการบริโภคโดยใช้ผู้ประเมิน 10 คน เป็นคนเดิมตลอดการทดลอง ผู้ประเมินแต่ละคนประเมิน 3 ผลต่อชุดการทดลอง

การวัดผลทางกายภาพ เคมี และการประเมินคุณภาพทางการบริโภค

วัดเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง

วัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ (Total Soluble Solids; TSS) ด้วยเครื่อง Hand refractometer

วิเคราะห์หาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable Acidity; TA) โดยไทเทรตน้ำคั้นมะนาวกับสารละลายมาตรฐาน NaOH (0.1N) โดยมีสารละลาย 1% phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์

วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์รวมตามวิธีของ Arnon (1949)^[2] โดยการสกัดคลอโรฟิลล์จากเปลือกผลมะนาวด้วยอะซิโตน 80 เปอร์เซ็นต์ และวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 663 และ 645 นาโนเมตร

ถ่ายภาพลักษณะของผลมะนาวทุก 5 วัน เป็นระยะเวลาทั้งหมด 40 วัน

วิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีโดยไทเทรตกับสารละลายไอโอดีนโดยมีน้ำแ่งเป็นอินดิเคเตอร์แล้วคำนวณปริมาณวิตามินซีเทียบกับสารละลายวิตามินซีมาตรฐาน โดยดัดแปลงจากวิธีของ Babashahi-Kouhanestani et al. (2014)^[3]

ประเมินคะแนนจากสีเปลือกผล กลิ่น รสชาติของมะนาว และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกจำนวน 10 คน ซึ่งเป็นคนเดิมตลอดการทดลอง จำนวนคนละ 3 ซ้ำ โดยมีรายละเอียดการประเมินดังนี้

1. คะแนนประเมินด้านสีเปลือกผล (5 = สีเขียวทั้งผล ไปจนถึง 1 = สีเหลืองทั้งผล)
2. คะแนนประเมินด้านกลิ่น (3 = กลิ่นมะนาวปกติ, 2 = มีกลิ่นผิดปกติเล็กน้อย, 1 = มีกลิ่นผิดปกติอย่างรุนแรง)
3. คะแนนประเมินด้านรสชาติ (3 = รสชาติปกติ, 2 = มีรสชาติผิดปกติเล็กน้อย, 1 = มีรสชาติผิดปกติอย่างรุนแรง)
4. คะแนนประเมินโดยรวม (9 = ชอบมากที่สุด ไปจนถึง 1 = ไม่ชอบมากที่สุด)

วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One –Way ANOVA วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ Least-Significance Different ที่ระดับนัยสำคัญ $p \leq 0.05$

3. ผลการวิจัย

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาวในทุกกรรมวิธีมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยพบว่าเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาที่ 40 วัน ผลมะนาวที่เก็บรักษาร่วมกับผงซอร์บที่ผ่านการแช่ KMnO_4 มีแนวโน้มค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดคือ 5.24 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลมะนาวที่เก็บรักษาร่วมกับซอร์บแห้งที่ไม่ผ่านการแช่ KMnO_4 (ชุดควบคุม) และซอร์บแห้งที่ผ่านการแช่ KMnO_4 มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักคือ 6.22 และ 5.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 1) อย่างไรก็ตามพบว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาวในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่อย่างใด

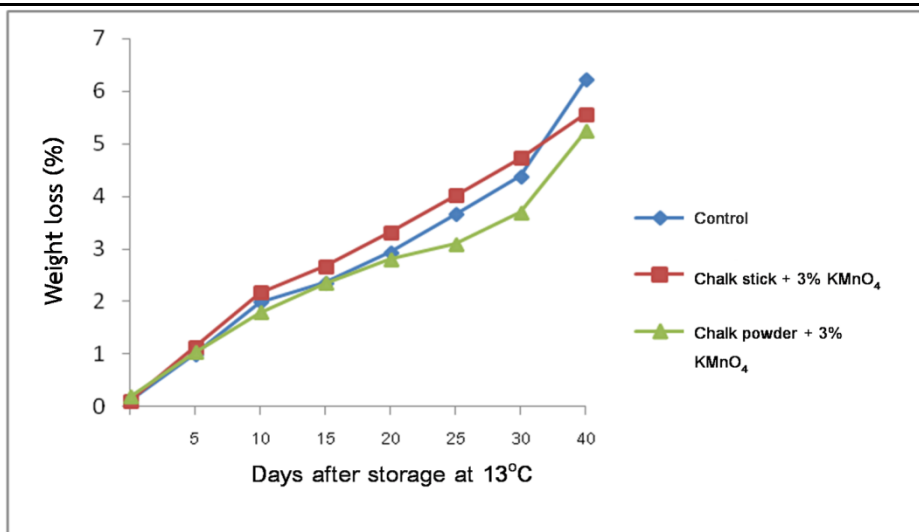


Figure 1 Weight loss percentage of lime after storage at 13 °C with or without potassium permanganate

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของน้ำคั้นจากผลมะนาวก่อนเก็บรักษาร่วมกับสารดูดซับเอทิลีน มีค่า 7.8 % Brix เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง (Figure 2) และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละชุดการทดลอง โดยเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการทดลองที่ 40 วัน ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ของทุกชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ย 8.04 % Brix ซึ่งของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของน้ำคั้นจากผลมะนาวมักเป็นน้ำตาลที่เป็นสารตั้งต้นของกระบวนการหายใจ จึงแสดงให้เห็นว่ากรรมวิธีการทดลองไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อกระบวนการหายใจของพืช

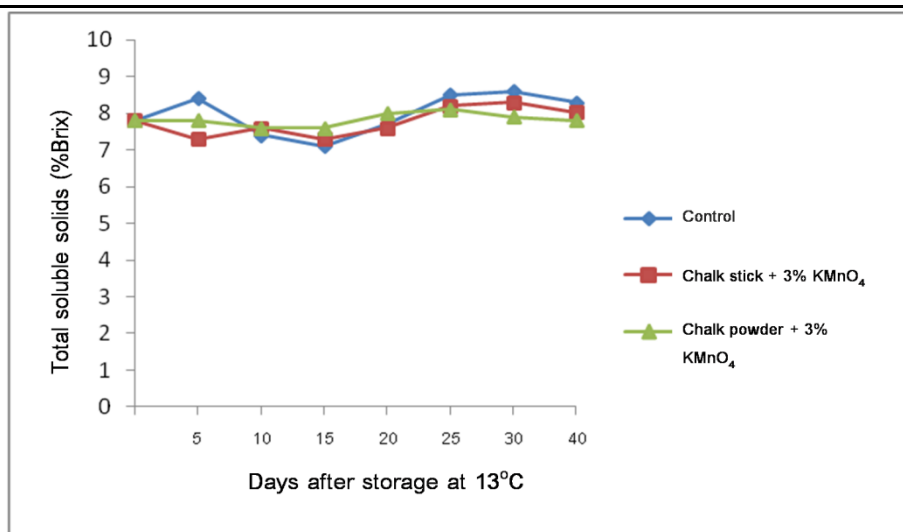


Figure 2 Total soluble solids of lime after storage at 13 °C with or without potassium permanganate

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้หลังจากการเก็บรักษาพบว่าก่อนนำผลมะนาวไปเก็บรักษาในทุกชุดการทดลองมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เฉลี่ย 8.56 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจนถึงวันที่ 40 พบว่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลมะนาวหลังเก็บรักษามีค่าลดลงในทุกชุดการทดลอง (Figure 3) โดยมะนาวที่เก็บรักษาร่วมกับผงซอล์ที่ผ่านการแช่ KMnO₄ มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มากที่สุดคือ 3.8 เปอร์เซ็นต์ มีค่าแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับผลมะนาวที่เก็บรักษาร่วมกับซอล์แช่ที่ไม่ผ่านการแช่ KMnO₄ (ชุดควบคุม) และ ซอล์แช่ที่ผ่านการแช่ KMnO₄ มีปริมาณกรดที่ไทเทรตคือ 2.0 และ 2.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

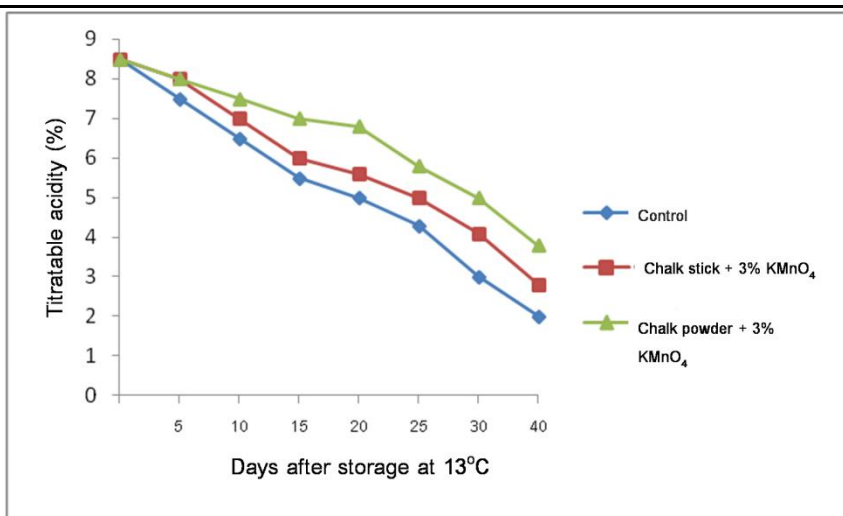


Figure 3 Titratable acidity of lime after storage at 13 °C with or without potassium permanganate

ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมีค่าลดลงในทุกชุดการทดลองเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น โดยมะนาวในชุดที่เก็บรักษาร่วมกับผงชอล์กที่ผ่านการแช่ KMnO₄ ในวันที่ 40 ของการเก็บรักษาพบว่าปริมาณของคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุดเท่ากับ 0.006 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับชุดที่เก็บรักษาร่วมกับชอล์กแท่งที่ไม่ผ่านการแช่ KMnO₄ (ชุดควบคุม) และชุดชอล์กแท่งที่ผ่านการแช่ KMnO₄ มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมเท่ากับ 0.003 และ 0.004 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (Figure 4) สอดคล้องกับลักษณะของสีเปลือกผลมะนาวในชุดที่เก็บรักษาร่วมกับผงชอล์กที่ผ่านการแช่ KMnO₄ ซึ่งยังคงมีสีเขียวมากกว่าผลมะนาวในชุดอื่น ๆ (Figure 5) ทั้งนี้เอทิลีนเป็นฮอร์โมนที่เร่งการสลายของคลอโรฟิลล์ แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่มี KMnO₄ สามารถชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ที่เป็นผลมาจากเอทิลีนลงได้

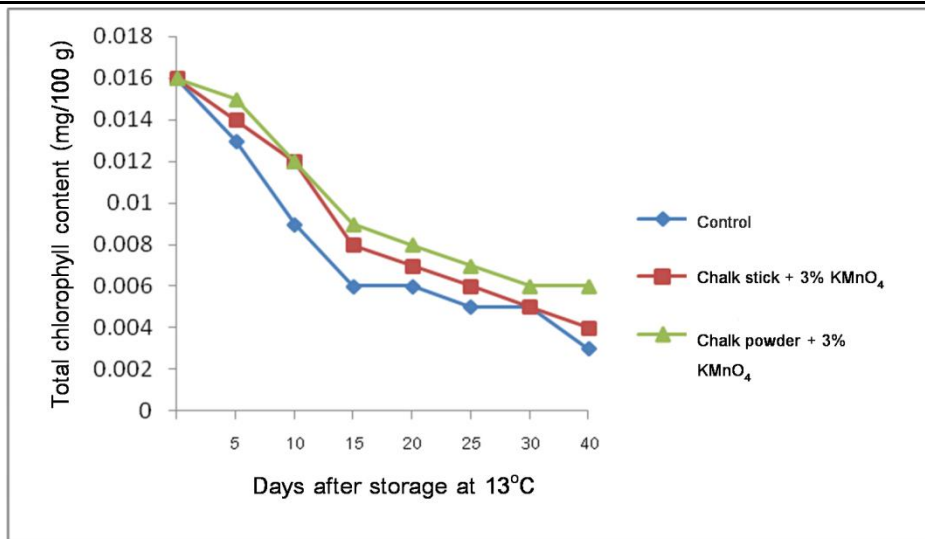


Figure 4 Total chlorophyll content of lime after storage at 13 °C with or without potassium permanganate

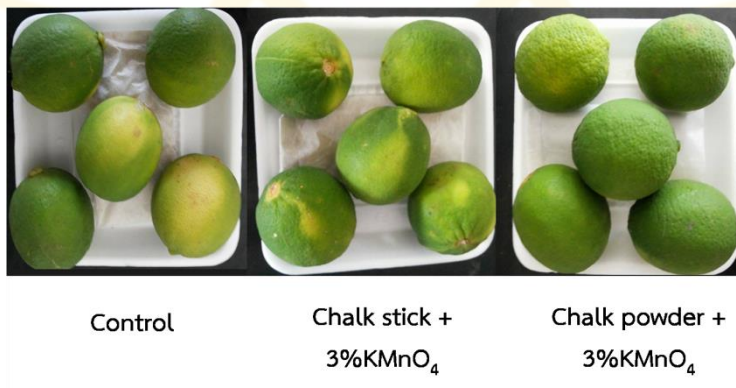


Figure 5 Physical characteristic of lime after storage at 13 °C with or without potassium permanganate for 40 days

ทุกชุดการทดลองพบว่าปริมาณวิตามินซีมีค่าลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา (Figure 6) เมื่อวัดผลในวันที่ 40 ของการเก็บรักษาพบว่าปริมาณวิตามินซีในชุดผงซอล์กที่ผ่านการแช่ KMnO_4 มีแนวโน้มของปริมาณวิตามินซีมากที่สุดเท่ากับ 11.1 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ส่วนชุดที่เก็บรักษาร่วมกับซอล์กแห้งที่ไม่ผ่านการแช่ KMnO_4 (ชุดควบคุม) และชุดซอล์กแห้งผ่านการแช่ KMnO_4 มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ โดยผลมะนาวที่เก็บรักษาร่วมกับ KMnO_4 มีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

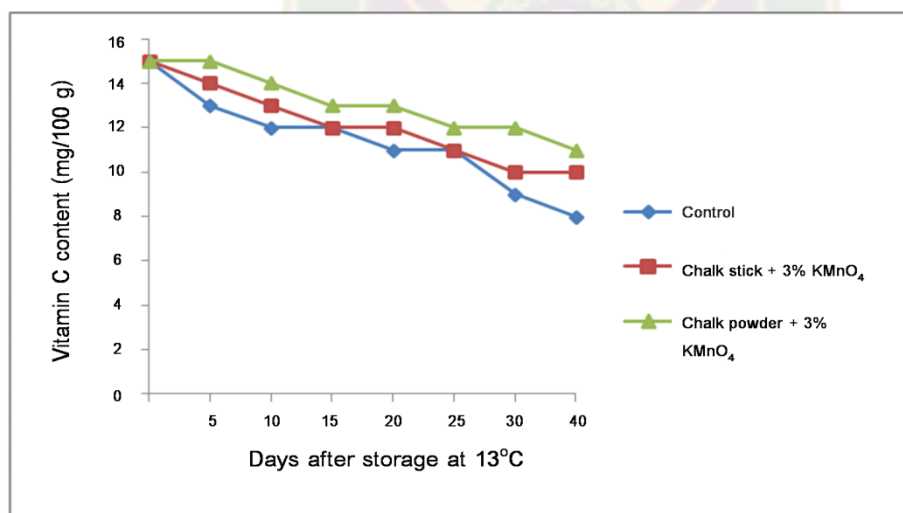


Figure 6 Vitamin C content of lime after storage at 13 °C with or without potassium permanganate

จากผลการทดสอบการประเมินคุณภาพทางการบริโภคผลมะนาว ในวันที่ 40 ของการเก็บรักษา (Table 1) พบว่า ผลมะนาวในชุดที่เก็บรักษาร่วมกับผงซอล์กที่ผ่านการแช่ KMnO_4 ให้ผลการประเมินด้านคุณภาพด้าน สี กลิ่น และรสชาติสูงกว่าผลมะนาวชุดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 1 The consumer acceptance score of lime at the 40 days after storage with or without potassium permanganate at 13 °C

Treatment	Mean score*			
	Color* ¹	Odor* ²	Taste* ³	Overall acceptance* ⁴
Control	2.2 ^b	1.2 ^c	1.6 ^c	4.4 ^c
Chalk stick + 3% KMnO ₄	2.8 ^b	2.4 ^b	2.4 ^b	5.8 ^b
Chalk powder + 3% KMnO ₄	4.0 ^a	3.0 ^a	3.0 ^a	7.0 ^a

Notes : Means with difference letters within the same column represent significant differences at P<0.05

* Mean score from 10 persons whom were the same person of overall experimental periods

*¹ Peel color score (5 = All green to 1 = All yellow)

*² Odor score (3 = Fresh lime odor, 2 = A little abnormal odor, 1 = Too much abnormal odor)

*³ Taste score (3 = Normal taste, 2 = A little abnormal taste, 1 = Too much abnormal taste)

*⁴ Overall acceptance score (9 = Like very much to 1 = Not like very much)

4. การอภิปรายผล

จากการใช้สารดูดซับก๊าซเอทิลีนที่ผลิตจากโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตโดยมีซอล์กแห้งหรือผงซอล์กเป็นตัวพาหรือวัสดุยึดเกาะ พบว่ามีแนวโน้มสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาวได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Emadpour *et al.* (2015)^[6] ที่ทดลองเคลือบอนุภาคซีโอไลต์ชนิดนาโนด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตสามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนัก ลดความอ่อนนุ่ม ลดการเกิดโรค และเพิ่มอายุการเก็บรักษาผลพืชและเนคทารีนได้ อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยนี้พบว่าโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตไม่สามารถยับยั้งปริมาณวิตามินซีและกรดที่ไทเทรตที่ลดลงได้ สันนิษฐานว่าเนื่องจากกรดอินทรีย์ในผลไม้จะถูกใช้เป็นสารตั้งต้น (substrate) ของกระบวนการหายใจในระหว่างการเสื่อมสภาพของผล^[10] และใช้ในการกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆของเซลล์^[5] แต่โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตก็สามารถชะลอการ

ลดลงของทั้งสองค่านี้ได้เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม เช่นเดียวกับปริมาณคลอโรฟิลล์ที่พบว่ามีค่าลดลงในทุกชุดการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารดูดซับเอทิลีนที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ยังไม่สามารถกำจัดก๊าซเอทิลีนออกไปจนหมดจากบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ได้ อย่างไรก็ตามในมะนาวชุดที่เก็บรักษาร่วมกับสารดูดซับเอทิลีนพบว่าการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมีอัตราที่ต่ำกว่าชุดควบคุม โดยเฉพาะสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตจากขอลักในรูปผงที่ผ่านการแช่โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ทั้งนี้สันนิษฐานว่าเนื่องจากขอลักในรูปผงมีพื้นที่ผิวมากขึ้นทำให้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตยึดเกาะและทำปฏิกิริยาได้มากกว่าในรูปแท่งซึ่งมีขนาดหนา ทำให้มีโอกาสที่จะสัมผัสกับบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ที่มีก๊าซเอทิลีนได้มากกว่า จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์ก๊าซเอทิลีนได้มากขึ้น เช่นเดียวกับ Wills และ Warton (2004)^[14] ซึ่งได้ทดสอบประสิทธิภาพของเม็ดอะลูมินา (alumina beads) ที่มีโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นสารดูดซับเอทิลีนพบว่าในช่วงแรกก๊าซเอทิลีนจะถูกออกซิไดซ์อย่างรวดเร็วจากโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่อยู่ผิวหน้าของเม็ดอะลูมินา แต่ภายหลังจากนั้นอัตราการออกซิไดซ์จะลดลงเนื่องจากก๊าซเอทิลีนไม่สามารถแทรกเข้าไปยังด้านในของเม็ดอะลูมินาได้อย่างเพียงพอ และเมื่อทุบเม็ดอะลูมินาให้แตกพบว่าด้านในยังคงมีสีม่วงของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตอยู่ แสดงว่าไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นบริเวณด้านในของเม็ด ส่วน Santosa *et al.* (2010)^[11] ได้ทดสอบการใช้ผงดินเหนียวเพื่อเป็นตัวพาสำหรับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตซึ่งพบเช่นกันว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับเอทิลีนเนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีที่เป็นกลาง ปราศจากสารอินทรีย์ และอยู่ในรูปผงซึ่งเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับก๊าซเอทิลีนได้มากขึ้น

จากงานวิจัย สรุปได้ว่าสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตจากผงขอลักแช่สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมะนาวได้ดีที่สุด โดยสามารถชะลอการลดลงของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ การลดลงของปริมาณวิตามินซี และการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์รวมทั้งมีคะแนนการประเมินคุณภาพทางการบริโภคสูงกว่าชุดการทดลองอื่น อย่างไรก็ตามควรมีชุดควบคุมที่เป็นผงขอลักเปล่าเพิ่มขึ้นอีกชุดหนึ่งเพื่อให้สามารถอภิปรายผลได้ชัดเจนขึ้น รวมทั้งควรมีงานวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับกลไกของผงขอลักที่เกี่ยวข้องกับความจุในการดูดซับเอทิลีน และ การปนเปื้อนที่อาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในอาหาร เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ได้จริงต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] พีรเดช ทองอำไพ. 2529. ฮอร์โมนพืชและสารสังเคราะห์. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 196 หน้า.

[2] Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in *Beta vulgaris*. Plant physiology 24: 1-15.

- [3] Babashahi-Kouhanestani, M., M. Salehi, S. M. Mazloomi and A. Almasi-Hashyani. 2014. Quantitative evaluation of vitamin C in industrial lemon juice by titration method. *Journal of Biology and Today's World*. 3(6): 139-141.
- [4] Chaves, M.A., R.C.F. Bonomo, A.A.L. Silva, L.S. Santos, B.M.A. Carvalho, T.S. Souza, G.M.S. Gomes and R.D. Soares. 2007. Use of potassium permanganate in the sugar apple post-harvest. *Ciencia Tecnologia Alimentaria* 5(5): 346-351.
- [5] Dalton, D.A. 1995. Antioxidant defenses of plants and fungi. pp. 298-342. In: S. Ahmad (Ed.), *Oxidative Stress and Antioxidant Defenses in Biology*. Chapman&Hall, New York.
- [6] Emadpour, M., B.G. hareyazie, Y.R. Kalaj, M. Entesari and N. Bouzari. 2015. Effect of the potassium permanganate coated zeolite nanoparticles on the quality characteristic and shelf life of peach and nectarine spoilage and increase shelf- life and the quality. *Journal of Agricultural Technology* 11(5): 1263-1273.
- [7] Forsyth, F.R., C.A. Eaves and C.L. Lockhard. 1967. Controlling ethylene levels in the atmosphere of small containers of apples. *Canadian Journal of Plant Science* 47: 717-718.
- [8] Jayamaran, K.S. and P.S. Raju. 1992. Development and evaluation of a permanganate-based ethylene scrubber for extending the shelf life of fresh fruits and vegetables. *Journal of Food Science and Technology* 29: 77-83.
- [9] Kavanagh, E.E. and N.L. Wade. 1987. Role of the carrier in the removal of ethylene by permanganate from storage atmospheres. *ASEAN Food Journal* 3: 128-134.
- [10] Nagar, P.K. 1994. Physiological and biochemical studies during fruit ripening in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *Postharvest Biology and Technology* 4: 225-234.
- [11] Santosa, E., W.D. Widodo and Kholidi. 2010. The use of clay as potassium permanganate carrier to delay the ripening of Raja Bulu banana. *Journal of Horticultural Indonesia* 1(2): 89-96.
- [12] Scott, K.J., W.B. McGlasson and E.A. Roberts. 1970. Potassium permanganate as an ethylene absorbent in polyethylene bags to delay ripening of bananas during storage. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 10: 237-240.

- [13] Silva, D.F.P., L.C.C. Salomão, D.L., de Siqueira, P.R., Cecon and A. Rocha. 2009. Potassium permanganate effects in postharvest conservation of the papaya cultivar Sunrise Golden. Pesquisa Agropecuária Brasileira 44(7): 669-675.
- [14] Wills, R.B.H. and M.A. Warton. 2004. Efficacy of potassium permanganate impregnated into alumina beads to reduce atmospheric ethylene. Journal of the American Society for Horticultural Science 129(3): 433-438.