การประยุกต์ใช้สารดูดซับเอทิลีนจากไดอะทอไมต์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง
Application of Ethylene Absorber from Diatomite for Extension of Storage Life of Banana

พรชัย ราชตนพันธุ์[1,2*] **พิชญาภรณ์ มูลพฤกษ์**[1] **และภัทริน วงศ์โกศลจิต**[1]
Pornchai Rachtanapun[1,2*], Pitchayaporn Moonpurk[1] and Pattarin Wonkkosoljit[1]

Abstract

Production of ethylene absorber (potassium permanganate) from diatomite was studied. The mixture of diatomite/potassium permanganate ($KMnO_4$) with 2:3 was investigated by varying potassium permanganate concentration (3%, 5% and 7% w/v). Then the mixture was placed in hot air oven at 102±3°C for 1 hour. The dried mixture was grinded and placed in the hot air oven for 30 minutes. Next, 10 gram of ethylene absorber from diatomite was packed in tea pouch and put in perforated polyethylene bag. Ethylene absorber was used to maintain quality and storage life of banana *cv. Gros Michel* compared with a commercial ethylene absorber stored at 23.3 °C and relative humidity 69 %. Weight loss, color, firmness, total soluble solid and titratable acidity were investigated and compared with sensory evaluation. Potassium permanganate at concentration 5% and 7% can retard ripening of banana but potassium permanganate at concentration 3% could not extend storage life of banana. Banana without potassium permanganate (control treatment) could storage only for 15 days but banana with potassium permanganate concentration at 7% could storage for 18 days and the result was similar to commercial ethylene absorber.

Key Words: Diatomite, $KMnO_4$, Banana *cv. Gros Michel*

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะทำการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองโดยใช้สารดูดซับเอทิลีนที่ทำการผลิตขึ้นเองจากไดอะทอไมต์ โดยทำการผสมในอัตราส่วนของไดอะทอไมต์ ต่อสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เท่ากับ 2:3 ที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตต่างๆ ดังนี้ คือ 3%, 5% และ 7% (w/v) เมื่อผสมให้เข้ากันแล้วนำเข้าอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 102±3°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาบดเป็นผงและอบต่อเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นบรรจุในถุงชาปริมาณ 10 กรัม และนำบรรจุในซอง พอลีเอทิลีนเจาะรู โดยทำการศึกษาสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นเปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า ในการทดลองเก็บกับกล้วยหอมทองที่อุณหภูมิประมาณ 23°C ความชื้นสัมพัทธ์ 69% นำมาทดสอบค่าต่างๆ ต่อไปนี้คือ การสูญเสียน้ำหนักสด การเปลี่ยนแปลงค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก และการยอมรับทางประสาทสัมผัส ซึ่งเมื่อทำการทดสอบแล้วพบว่า กล้วยหอมทองที่ทำการเก็บรักษาร่วมกับสารดูดซับเอทิลีนที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 5% และ 7% สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักสด การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก การลดลงของความแน่นเนื้อ และชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ แต่กล้วยหอมทองที่ทำการเก็บรักษาร่วมกับสารดูดซับเอทิลีนที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3% ไม่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยหอมทองได้ โดยกล้วยหอมทองในชุดควบคุมมีอายุการเก็บรักษาเพียง 15 วัน ส่วนกล้วยหอมทองที่ทำการเก็บรักษาร่วมกับสารดูดซับเอทิลีนที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 7% สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้ 18 วัน เท่ากับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า

คำสำคัญ: ไดอะทอไมต์ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต กล้วยหอมทอง

คำนำ

กล้วยจัดเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยม เนื่องจากรสชาติที่หวาน หอม และมีคุณค่าทางสารอาหาร อีกทั้งจัดเป็นผลไม้ทางเศรษฐกิจ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นในผลไม้ชนิดนี้คือ การสุกในระยะเวลาที่รวดเร็ว โดยสาเหตุของการสุกที่รวดเร็วของกล้วยหอม

[1] ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประเทศไทย
[1] Department of packaging technology, Faculty of Agro Industry, Chiangmai University, Thailand
[2] ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประเทศไทย
[2] Postharvest Technology Innovation Center, Chiangmai University, Thailand
* Corresponding author Email : p.rachta@chiangmai.ac.th

ทอง มีส่วนมาจากก๊าซเอทิลีน ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชที่กระตุ้นผลไม้ให้เกิดการสุก และกล้วยเป็นผลิตผลที่มีความไวในการตอบสนองต่อเอทิลีนสูง (วุฒิรัตน์, 2550) ดังนั้นการลดก๊าซเอทิลีนจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นในการขนส่งกล้วย เพราะทำให้สามารถที่จะชะลอการสุกของกล้วยได้ ซึ่งในปัจจุบันมีการผลิตสารดูดซับเอทิลีนขึ้นเป็นจำนวนมาก แต่มีราคาค่อนข้างสูง งานวิจัยในครั้งนี้จึงมีแนวคิดที่จะใช้วัตถุดิบหลัก คือ ไดอะทอไมต์ เนื่องจากไดอะทอไมต์มีราคาถูกและมีคุณสมบัติเด่น คือ มีความเป็นรูพรุนสูง และมีสมบัติเฉื่อยต่อปฏิกริยาเคมี (ภัทรมน, 2547) นำมาผสมกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต แล้วนำไปทำการทดลองเก็บกับกล้วยหอมทอง เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตสารดูดซับเอทิลีนที่ราคาถูกและใช้ได้จริง

วิธีทดลอง

อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างไดอะทอไมต์กับน้ำกลั่น

ทำการผสมไดอะทอไมต์เข้ากับน้ำกลั่นที่อัตราส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 1 โดยวัดอัตราการไหลโดยใช้ถ้วยปริมาตร 40 cm^3 รูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร

Table 1 Ratio between diatomite and distilled water

Ratio	Diatomite	Distilled water
1	1	2
2	2	3
3	3	4

ประสิทธิภาพของสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

ไดอะทอไมต์ที่ผ่านการบดละเอียดถูกนำมาผสมเข้ากับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (3%, 5% และ 7% w/v) ในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ได้ทำการศึกษาในตอนที่ 1 คือ ไดอะทอไมต์ : น้ำ เท่ากับ 2 : 3 ทำการคนให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยแท่งแก้วเป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนด้วยอุณหภูมิ 102±3 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการกลับตัวอย่างเพื่อป้องกันการไหม้เมื่ออบแล้วเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างบดด้วยโกร่งและทำการร่อนด้วยตะแกรงร่อน และนำไปอบต่อประมาณ 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างไปร่อนด้วยตะแกรงร่อนอีก 6 ครั้ง เพื่อให้สารดูดซับเอทิลีนที่ได้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันและขนาดเท่ากัน จากนั้นทำการบรรจุใส่ถุงชา 10 กรัม ทำนำถุงชาบรรจุในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน ที่มีซิปล็อคขนาด 8.00×11.50 ตารางเซนติเมตร ทำการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 มิลลิเมตร ด้วยเข็มฉีดยาเบอร์ 23 จำนวน 16 รู ต่อแถว รวมทั้งหมด 36 แถว จากนั้นนำไปใส่ในกล่องกระดาษลูกฟูกที่บรรจุกล้วยหอมทอง 1 ถุง ต่อ 1 กล่อง

คัดเลือกกล้วยหอมทองที่ระยะเก็บเกี่ยวเกี่ยวเพื่อการค้าที่มี ขนาด สี รูปร่างน้ำหนักที่สม่ำเสมอกัน จากนั้นแบ่งกล้วยออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดวัดผลแบบทำลายผลิตผล (destructive) และชุดวัดผลแบบไม่ทำลายผลิตผล (non-destructive) สำหรับชุดทำลายจะใช้วัดค่าสีเปลือก การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solid: TSS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity: TA) และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ส่วนชุดวัดผลแบบไม่ทำลายจะใช้วัดเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างไดอะทอไมต์กับน้ำกลั่น

Table 2 Flow rate of mixtures at different ratio

Ratio			Flow rate
Diatomite	:	Distilled water	(cm^3/sec)
0	:	1	14.34
1	:	2	13.16
2	:	3	2.62
3	:	4	0.27

อัตราส่วนระหว่างไดอะทอไมต์และน้ำกลั่นที่ 1 : 2 มีความหนืดน้อยเกินไป ส่งผลให้เมื่อต้องการทำให้สารแห้งโดยการอบจะต้องใช้เวลามากกว่าปกติ และที่อัตราส่วนระหว่างไดอะทอไมต์และน้ำกลั่นที่ 3 : 4 มีความหนืดมากเกินไป จึงอาจส่งผลให้เมื่อนำไปใช้เพื่อที่จะผสมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตให้เข้ากับไดอะทอไมต์ สารละลายที่ได้จะไม่สามารถเข้ากันได้ดี ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างไดอะทอไมต์และน้ำกลั่นที่ 2 : 3 จึงเหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้เพื่อผสมเป็นสารละลายก่อนอบของสารดูดซับเอทิลีน

ประสิทธิภาพของสารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

ทำการเก็บรักษากล้วยหอมทองในสภาวะที่มีอุณหภูมิ 23.3 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 69% โดยใช้สารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3%, 5% และ 7% (w/v) เปรียบเทียบกับชุดควบคุม และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า (Ethyl Gone)

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยหอมทอง ที่ทำการเก็บรักษาโดยใช้สารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นที่ความเข้มข้น 3%, 5% และ 7% ของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เปรียบเทียบกับชุดควบคุม และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า (Ethyl Gone) มีผลไปในทิศทางเดียวกันคือ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนวันที่เก็บรักษาเพิ่มขึ้น (Fig.1) โดยชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุด รองลงมา คือ ชุดที่จัดเก็บโดยใช้สารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3%, 5% และ 7% และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษามีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดดังนี้ คือ 12.908, 11.633, 13.970, 13.122 และ 12.888 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยในชุดควบคุม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกล้วยที่เก็บโดยสารดูดซับเอทิลีนที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 5%, 7% และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า สำหรับในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา พบว่าสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ 5% แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ 7% และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า สารดูดซับเอทิลีนที่ผลิตขึ้นมีผลในการกำจัดก๊าซเอทิลีนของกล้วยหอมทอง เนื่องจากโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตจะเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซเอทิลีน ได้เป็นแมงกานีสไดออกไซด์ที่ไม่สามารถเปลี่ยนกลับคืนรูปเดิมได้ (วุฒิรัตน์, 2550) ทำให้กล้วยหอมทองชะลอการสุก จากการที่ไม่มีฮอร์โมนในกระตุ้นการสุกของผล โดยก๊าซเอทิลีนจะเป็นตัวกระตุ้นให้ผลไม้ประเภท climacteric เมื่อเข้าสู่กระบวนการสุก เกิดการหายใจสูงขึ้น โดยเฉพาะกล้วยหอม พบว่ามีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นถึง 10 เท่า (จริงแท้, 2550) ซึ่งการหายใจของผลที่สูงขึ้นนี้ก็จะทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารเพื่อที่จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักผล แต่การเปลี่ยนแปลงนี้มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียน้ำ (ดนัย, 2540) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผล เนื่องจากความชื้นหรือความดันไอน้ำในบรรยากาศมีอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าความชื้นในผลิตผล โดยถือว่าผลิตผลมีความชื้น 100% ความดันไอน้ำเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัว เมื่อความดันไอน้ำในบรรยากาศมีน้อยกว่าจึงเกิดการแพร่กระจายของน้ำจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของน้ำสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ (จริงแท้, 2538) ซึ่งในการทดลองมีการจัดเก็บกล้วยหอมทองที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 69% จึงเป็นผลให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลได้ นอกจากนั้นเมื่อผลิตผลเกิดการหายใจ เป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้น ทำให้บรรยากาศในบริเวณนั้นสามารถรับน้ำเพิ่มขึ้นได้อีก ในการทดลองนี้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่ทำการเก็บโดยใช้สารดูดซับเอทิลีนในปริมาณต่างๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกล้วยหอมทองที่ไม่ใช้สารดูดซับเอทิลีน ซึ่งต่างจากการศึกษาของบุณรา (2545) และวุฒิรัตน์ (2550) ที่พบว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่ทำการเก็บโดยใช้สารดูดซับเอทิลีนในปริมาณต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกับกล้วยหอมทองที่ไม่ใช้สารดูดซับเอทิลีน

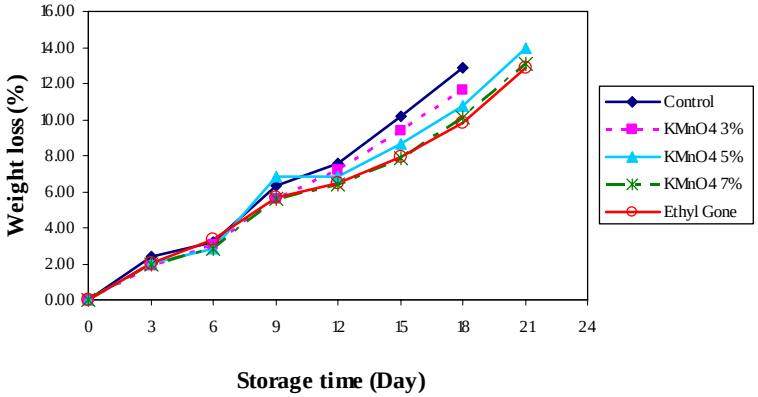

Fig.1 The relationship between weight loss (%) and storage time (Day).

ความแน่นเนื้อ

ความแน่นเนื้อของกล้วยหอมทองในชุดควบคุม และชุดที่ทำการจัดเก็บโดยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3% มีความแน่นเนื้อลดลงในวันที่ 6 คือ มีความแน่นเนื้อเท่ากับ 27.00 และ 21.01 นิวตัน ตามลำดับ กล้วยหอมทองที่จัดเก็บโดยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 5% ความแน่นเนื้อมีค่าลดลงในวันที่ 9 คือ 15.57 นิวตัน และกล้วยหอมทองที่จัดเก็บโดยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 7% และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้ามีแนวโน้มใกล้เคียงกัน คือ มีความแน่นเนื้อลดลงในวันที่ 12 คือ 14.10 และ 14.30 นิวตัน ตามลำดับ (Fig.2) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในแต่ละชุดการทดลองมีความแน่นเนื้อลดลง และมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในทุกชุดการทดลอง กล้วยที่มีการเก็บรักษาโดยไม่ใช้สารดูดซับเอทิลีนร่วมด้วย จะเกิดการสะสมของก๊าซเอทิลีนในปริมาณที่สูงกว่าชุดการทดลองอื่น เป็นผลให้กล้วยในชุดการทดลองนี้มีการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายองค์ประกอบของผนังเซลล์มากกว่าชุดการทดลองอื่น โดยคาร์โบไฮเดรตในผนังเซลล์ของผลไม้ส่วนมากคือเพกติน ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพกตินจากรูปของ protopectin ซึ่งไม่ละลายน้ำกลายเป็นเพกตินที่ละลายน้ำได้ในรูปของ Galacturonic acid ด้วยเอนไซม์ 2 ชนิด คือ pectin methylesterase (pectinesterase) และ polygalacturonase (PG) ทำให้เซลล์ซึ่งเคยยึดเกาะกันแน่นในผลไม้ดิบกลับมาอยู่ในสภาพเกาะกันหลวมๆ ในผลไม้สุก ดังนั้นผลไม้สุกจึงเกิดการอ่อนตัว (ธวัชชัย, 2541) โดยกล้วยหอมที่ทำการศึกษากับสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่มากขึ้นจะช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อได้ ต่างกับการศึกษาของ ธีรนุต และคณะ (2549) ที่พบว่าสารดูดซับเอทิลีนไม่มีผลต่อความแน่นเนื้อของมะม่วงโชคอนันต์ คือ ไม่สามารถคงลักษณะทางคุณภาพทางผลิตผลที่ดีไว้ได้ สุจริต และคณะ (2549) ทำการศึกษาความแน่นเนื้อของกล้วยหอมทองที่บ่มด้วยเอทิฟอน พบว่ามีความแน่นเนื้อลดลง เนื่องจากเอทิฟอนชักนำให้เกิดการสุกและการสร้างเอทิลีนเพิ่มขึ้นตลอดจนกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ได้แก่ polygalacturonase (PG), pectin methylesterase (PME), cellulase (Cx) และ cell wall hydrolase อื่น ๆ เป็นต้น ทำให้เกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ

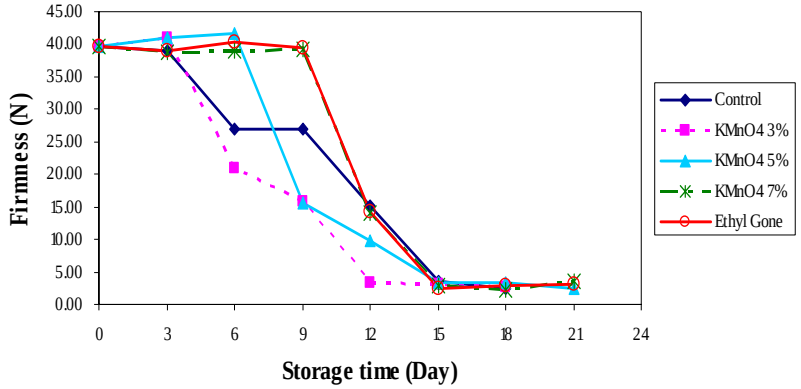

Fig.2 The relationship between firmness (N) and storage time (Day).

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีแป้งสะสมอยู่มาก มักพบว่าผลที่สุกมีแป้งลดลงพร้อมๆ กับมีน้ำตาลเพิ่มขึ้น (จริงแท้, 2550) โดยในกล้วยดิบมีองค์ประกอบที่เป็นแป้งอยู่ถึง 20-25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อเกิดการสุกแป้งจะเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลเกือบหมดและเกิดน้ำตาลขึ้นถึง 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก ทำให้กล้วยมีรสหวานขึ้น (ดนัย, 2540) โดยเอนไซม์หลักในพืชที่มีการย่อยแป้งเป็นน้ำตาล มีอยู่ 3 เอนไซม์ คือ α-amylase, ß-amylase และ starch phosphorylase ซึ่งเอนไซม์ α-amylase ย่อยแป้งได้เดกซ์ตริน oligosaccharide มอลโตส และ กลูโคส α-amylase และ starch phosphorylase ย่อยได้มอลโตส และ glucose-1-phosphate ตามลำดับ (จริงแท้, 2550) ดังนั้น เมื่อกล้วยถูกกำจัดก๊าซเอทิลีนจากการทำปฏิกิริยาของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต จะทำให้กล้วยชะลอการเกิดการสุก ปริมาณแป้งที่เปลี่ยนเป็นน้ำตาลจึงเกิดช้ากว่าในชุดที่ไม่มีการกำจัดก๊าซเอทิลีน ดังจะเห็นได้จากกราฟที่แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกล้วยหอมทอง ว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนวันที่เก็บเพิ่มขึ้น (Fig.3) โดยชุดควบคุมและชุดที่ทำการจัดเก็บโดยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3 % มีค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงขึ้นในวันที่ 6 ส่วนชุดที่ทำการจัดเก็บโดยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกา-เนต 5% มีค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงขึ้นในวันที่ 9 ชุดที่ทำการจัดเก็บโดยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 7 % และชุดที่ทำการจัดเก็บโดยสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า มีค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่

ละลายน้ำได้สูงขึ้นในวันที่ 12 จะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีการเพิ่มขึ้นช้าลงเมื่อใช้สารดูดซับเอทิลีนในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งแต่ละชุดการทดลองมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในทุกชุดการทดลอง การศึกษาของสมชาย และจันทนา (2544) ที่ทำยืดอายุการเก็บรักษาผลกล้วยไข่ด้วยการใช้สัดส่วนของ CO_2:O_2 ร่วมกับสารดูดซับเอทิลีน พบว่า กล้วยไข่ที่เก็บรักษาร่วมกับสารดูดซับเอทิลีน 0% + CO_2:O_2 0.2:5.0 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) มีเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงที่สุด และ การศึกษาของ Salvador, A et al. (2007) พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ละลายน้ำได้ในกล้วยมีค่าเพิ่มขึ้น

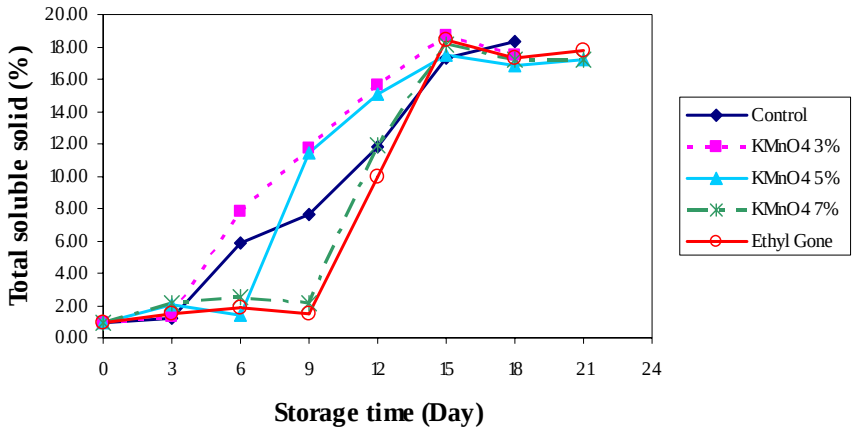

Fig.3 The relationship between total soluble solid and storage time (Day).

การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก

ค่า L (ความสว่างของสี)

ค่า L เป็นค่าที่แสดงความสว่างของสี โดยการเพิ่มขึ้นของค่า L เกิดจากการที่กล้วยหอมทองเกิดการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองจึงส่งผลให้ค่า L ของกล้วยหอมทองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Fig.4) แสดงถึงกล้วยหอมทองที่เข้าสู่ระยะการสุกนั่นเอง โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บผ่านไป 6 วัน ชุดควบคุมและชุดที่ทำการจัดเก็บโดยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3% ค่า L มีค่าสูงขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 51.27 และ 54.84 ตามลำดับ ขณะที่ชุดที่ทำการจัดเก็บโดยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 5 % ค่า L มีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 9 ค่าที่ได้เท่ากับ 58.84 ส่วนชุดที่ทำการจัดเก็บโดยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 7 % และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า พบว่าค่า L มีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 12 และ 15 ค่าที่ได้เท่ากับ 55.88 และ 50.25 ตามลำดับ เมื่อหมดอายุการเก็บรักษาค่า L ของชุดควบคุม ชุดที่ทำการจัดเก็บโดยใช้สารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3%, 5%, 7% และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า มีค่าเท่ากับ 52.81, 54.62, 57.52, 62.15 และ 60.77 ตามลำดับ และเมื่อนำค่าที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ในแต่ละชุดการทดลองมีค่า L แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในทุกชุดการทดลอง

ค่า a (ความเป็นสีเขียวหรือสีแดง)

ค่า a ที่ติดลบจะแสดงความเป็นสีเขียว และ ค่า a ที่ค่าเป็นบวกจะแสดงถึงสีแดง พบว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่า a มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (Fig.5) คือ การที่เปลือกของกล้วยหอมทองมีสีเขียวลดลง เพื่อเข้าสู่กระบวนการสุกนั่นเอง โดยชุดควบคุมและชุดที่ทำการจัดเก็บโดยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3% มีค่า a เพิ่มขึ้นในวันที่ 6 และมีการเพิ่มขึ้นของกราฟในทิศทางเดียวกัน ส่วนชุดที่ทำการจัดเก็บโดยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์-แมงกาเนต 5% มีค่า a เพิ่มขึ้นในวันที่ 9 ขณะที่ชุดที่ทำการจัดเก็บโดยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์-แมงกาเนต 7% และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า ค่า a มีค่าสูงขึ้นในวันที่ 12 ซึ่งแนวโน้มของกราฟทั้งสองใกล้เคียงกันมาก เมื่อหมดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง ค่า a ของชุดควบคุม ชุดที่ทำการจัดเก็บด้วยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3%, 5% และ 7% และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้ามีค่าเท่ากับ 10.56, 9.86, 10.17, 8.63 และ 9.72 ตามลำดับ โดยเมื่อนำค่า a ไปทำการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 15 และวันที่ 21 ค่าที่ได้แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในวันที่ 18 ค่า a ของชุดควบคุมแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดที่ทำการจัดเก็บด้วยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3%, 5% และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดที่ทำการจัดเก็บโดยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 7%

ค่า b (ความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน)

ค่า b แสดงการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกจากสีน้ำเงินไปสู่สีเหลือง ซึ่งเมื่อกล้วยหอมทองเข้าสู่ระยะการสุก ค่า b จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น (Fig.6) ซึ่งสอดคล้องกับค่า L และ a เนื่องจากกล้วยมีการเปลี่ยนแปลงเปลือกจากสีเขียวเป็นสีเหลือง โดยชุดควบคุมและชุดที่ทำการจัดเก็บด้วยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3% มีแนวโน้มของกราฟในทิศทางเดียวกัน คือ มีค่า b สูงขึ้นในวันที่ 6 ส่วนชุดที่ทำการจัดเก็บด้วยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 5% ค่า b มีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 9 ขณะที่ชุดที่ทำการจัดเก็บด้วยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 7 % และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า ค่า b สูงขึ้นในวันที่ 12 และ 15 ตามลำดับ เมื่อหมดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองค่า b ของชุดควบคุม ชุดที่ทำการจัดเก็บสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3%, 5% และ 7% และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า มีค่าเท่ากับ 24.34, 24.70, 26.60, 28.44 และ 28.32 ตามลำดับ เมื่อนำค่าที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ในแต่ละชุดการทดลองมีค่า b แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในทุกชุดการทดลอง

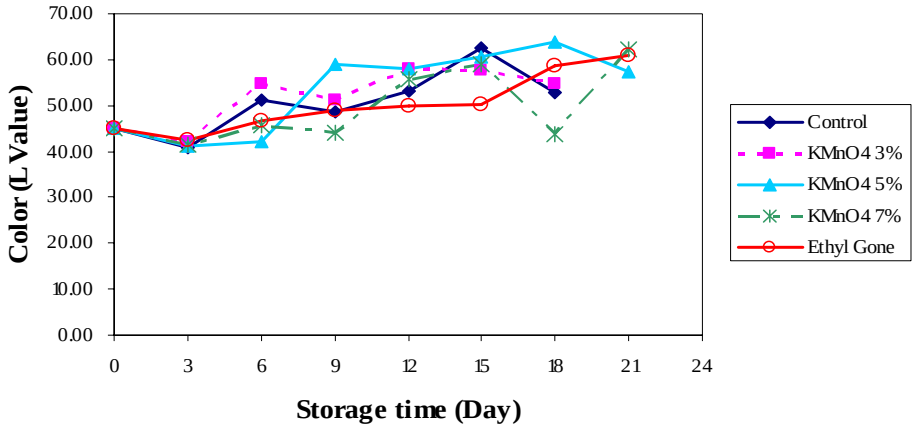

Fig.4 The relationship between L value and storage time (Day).

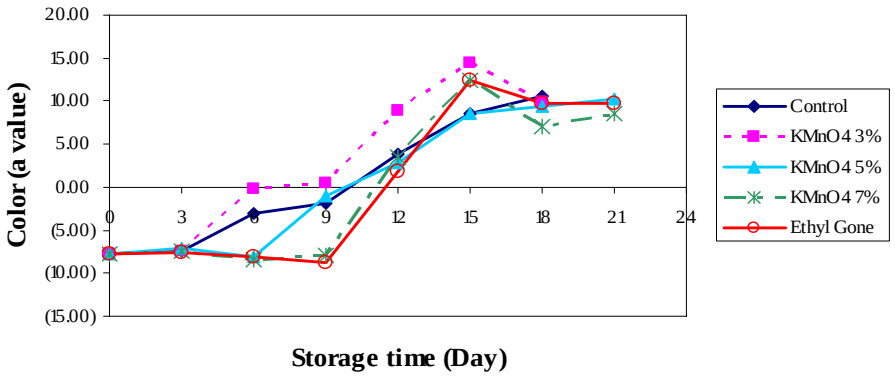

Fig.5 The relationship between a value and storage time (Day).

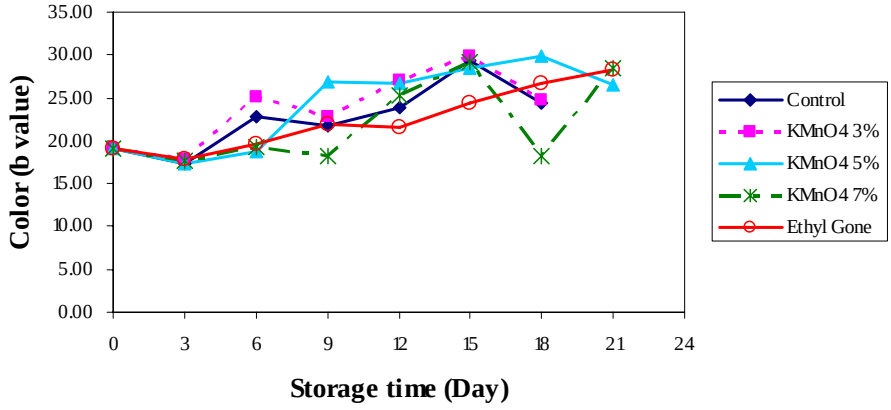

Fig.6 The relationship between b value and storage time (Day).

สารดูดซับเอทิลีนที่เก็บร่วมกับกล้วยหอมทองจะเป็นตัวกำจัดก๊าซเอทิลีนที่เกิดขึ้น ซึ่งก๊าซเอทิลีนเป็นฮอร์โมนที่กระตุ้นให้เกิดการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิเลส ทำให้เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ โดยกล้วยที่เก็บรักษาร่วมกับสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่น้อยกว่าจะมีการสะสมของก๊าซเอทิลีนในปริมาณที่มากกว่า ส่งผลให้กล้วยหอมทองเกิดการเปลี่ยนแปลงสีผิวเร็วกว่า โดยกล้วยมีแคโรทีนอยด์เป็นสารที่ให้สีเหลือง-แดง เมื่อคลอโรฟิลล์เกิดการสลายตัวแคโรทีนอยด์ที่มีอยู่จึงถูกปรากฏให้เห็น (จริงแท้, 2550) ทำให้เราเห็นการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวกลายเป็นเหลืองเมื่อเข้าสู่ระยะของการสุก โดยจะเห็นได้จากค่า a ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คือ การมีสีเขียวของกล้วยดิบลดลง เพื่อเปลี่ยนไปสู่การสุกที่มีแนวโน้มของค่า b เพิ่มขึ้น คือการที่กล้วยเริ่มเปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองมากขึ้นนั่นเอง ดังในการวิจัยของ สุจริต (2549) พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสในเปลือกกล้วยหอมวิลเลียมส์และกล้วยทอง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับอดิศักดิ์ (2549) ที่พบว่า ค่า b* (สีเหลือง) ของสีเปลือกและเนื้อของกล้วยเทพรสมีค่าเพิ่มขึ้น จากการที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ในเปลือกลดลงทำให้เห็นแซนโทฟิลล์และแคโรทีนชัดเจนขึ้น นอกจากนั้น Wachiraya. et al. (2006) พบว่า ค่า a ของกล้วยหอมทอง และกล้วยน้ำว้ามีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

ผลไม้ส่วนใหญ่เมื่อยังอ่อนอยู่มีปริมาณกรดอินทรีย์ค่อนข้างสูง และเมื่อผลไม้เริ่มสุกปริมาณกรดมักลดลง แต่ในกล้วยจะมีปริมาณกรดเพิ่มขึ้นเมื่อผลสุก ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการสังเคราะห์ malic enzyme มากขึ้นในระหว่างการสุก (จริงแท้, 2550) ในการทดลองพบว่า ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของกล้วยหอมทองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนวันที่เก็บเพิ่มขึ้น (Fig.7) โดยชุดที่ทำการจัดเก็บโดยสารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 7% และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดช้ากว่าชุดการทดลองอื่น เนื่องจากได้รับการกระตุ้นจากก๊าซเอทิลีนให้เกิดการสุกที่ช้ากว่า และที่วันสุดท้ายของการเก็บรักษา ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของชุดควบคุม ชุดที่ทำการจัดเก็บโดยใช้สารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3%, 5% และ 7% และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า มีค่าเท่ากับ 0.0185, 0.0185, 0.0176, 0.0259 และ 0.0203 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเมื่อนำค่าที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณกรดที่ไทเทรตในแต่ละชุดการทดลอง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในทุกชุดการทดลอง วุฒิรัตน์ (2550) พบว่ากรดที่ไทเทรตได้ของกล้วยหอมทองมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ธีรนุต และคณะ (2549) ศึกษาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงโชคอนันต์ พบว่า มะม่วงโชคอนันต์มีปริมาณกรดลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา

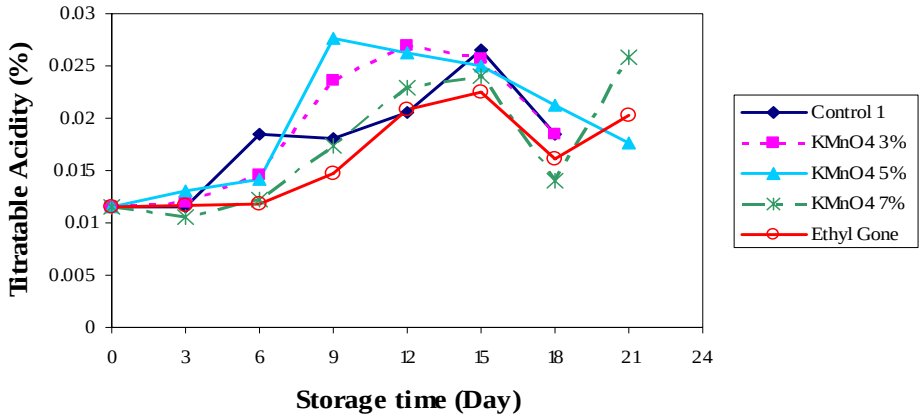

Fig.7 The relationship between titratable acidity (%) and storage time (Day).

การยอมรับโดยรวม

การทดสอบการยอมรับโดยรวมของกล้วยหอมทองใช้วิธี Hedonic Scoring Test ซึ่งหากคะแนนที่ได้มีค่าต่ำกว่า 5 คะแนน จะถือว่าผู้บริโภคไม่ยอมรับ โดยชุดควบคุม และชุดที่ทำการจัดเก็บโดยใช้สารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 3% เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงคะแนนในวันที่ 6 และในวันที่ 9 สำหรับชุดที่ทำการจัดเก็บโดยใช้สารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 5% และมีคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงที่สุดในวันที่ 12 โดยมีคะแนนเท่ากับ 5.8, 7.4 และ 6.8 ตามลำดับ ส่วนชุดที่ทำการจัดเก็บโดยใช้สารดูดซับเอทิลีนที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียม-เปอร์แมงกาเนต 7% และสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงคะแนนในวันที่ 12 และมีคะแนนการยอมรับโดยรวมสูงที่สุดในวันที่ 15 โดยมีคะแนนเท่ากับ 6.83 และ 7.88 ตามลำดับ (Fig.8) จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นและลดลงของคะแนนการยอมรับโดยรวมมีความสอดคล้องกับค่าอื่นๆ คือ ถ้าความแน่นเนื้อมีค่าลดลง แสดงถึงการที่ผลกล้วยมีความนิ่มลง สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เมื่อค่าเพิ่มขึ้นแสดงว่ากล้วยมีความหวานมากขึ้นจากการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล และสำหรับการเปลี่ยนแปลงสีของผลกล้วยจากสีเขียวสู่สีเหลือง นั่นหมายถึงกล้วยที่เข้าสู่ระยะการสุกแล้ว สิ่งต่างๆเหล่านี้ย่อมเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการยอมรับโดยรวมของกล้วยหอมทอง โดยกล้วยหอมทองที่ทำการเก็บรักษาร่วมกับสารดูดซับเอทิลีนที่

มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตปริมาณต่ำกว่าจะมีคะแนนการยอมรับ และคะแนนการไม่ยอมรับเร็วกว่า เนื่องจากมีการสะสมของก๊าซเอทิลีนในปริมาณที่มากกว่าทำให้กล้วยเข้าสู่กระบวนการสุกก่อน

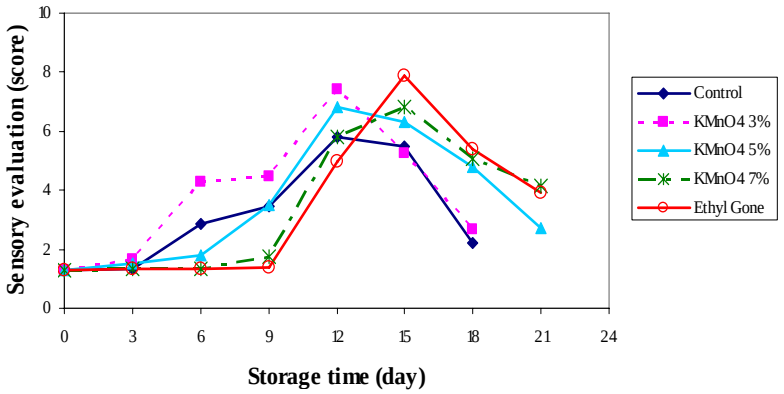

Fig.8 The relationship between sensory evaluation (score) and storage time (Day).

สรุป

อัตราส่วนระหว่างไดอะทอไมต์และน้ำกลั่นที่ 2 : 3 มีความเหมาะสมที่สุดที่ใช้เป็นสารละลายก่อนอบเป็นสารดูดซับเอทิลีน คือ 2:3 (w/v)

การเก็บรักษากล้วยหอมทอง ด้วยสารดูดซับเอทิลีนกับความเข้มข้นของเปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่เหมาะสม สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ การเพิ่มขึ้นของกรดที่สามารถไทเทรตได้ การเปลี่ยนแปลงค่าสี ตลอดจน การทำให้ผู้บริโภคยอมรับเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งสารดูดซับเอทิลีนโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพดีเทียบเท่ากับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า คือ สามารถเก็บกล้วยหอมทองได้ 18 วัน ในขณะที่ชุดควบคุมเก็บได้ 15 วัน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานวิจัยแห่งชาติ โครงการวิจัย IRPUS ที่สนับสนุนงบวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือ สถานที่ในการปฏิบัติงานในการทำโครงงานวิจัย และขอขอบคุณสถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการสนับสนุนงบประมาณในการเสนอผลงานในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2538. สรีระวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตแพงแสน, นครปฐม. 396 หน้า.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2550. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 453 หน้า.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2540. สรีระวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของพืชสวน. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 222 หน้า.

ธวัชชัย ชิณวงศ์. 2541. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลสดทางพืชสวน. ภาควิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสุรินทร์. 624 หน้า.

ธีรนุต และคณะ. (2549). ผลของอุณหภูมิต่ำและการใช้สารดูดซับเอทิลีนต่อคุณภาพหลังเก็บรักษาของผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์. วารสารข่าวศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง. 20(1): 9-13

เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2537. กล้วย. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 290 หน้า.

ภัทรมน เกียรติศักดิ์โสภณ. 2547. การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพไดอะทอไมต์จากแหล่งที่มาธรรมชาติ. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 40 หน้า.

วุฒิรัตน์ พัฒนิบูลย์. 2550. การผลิตสารดูดซับเอทิลีนเพื่อยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวกล้วยหอมทอง. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 168 หน้า.

สุจริต และคณะ. 2549. ระดับอุณหภูมิและเอทิฟอนต่อกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการอ่อนนุ่มของผลกล้วยหอมทองและกล้วยหอมวิลเลียมส์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรฉบับพิเศษ ปีที่ 37 ฉบับที่ 5 (พิเศษ) กันยายน - ตุลาคม 2549.

อดิศักดิ์ จูมวงษ์. 2549. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีระหว่างการสุกของกล้วยเทพรส. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่. 23-25 หน้า.

Wachiraya Imsabai, Saichol Ketsa, Van Doorn G., (2005). Physiological and biochemical changes during banana ripening and finger drop. *postharvest Biology and Technology*. 39, 211-216.