ไขเคลือบผลไม้ย่อยสลายได้ที่ผลิตจากไขมันที่แยกได้จากน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม

Formulating of Fruit Coating Wax by Using Fat from Palm Oil Industrial Wastewater as Raw Materials

จุฑามณี แสงสว่าง[1*] อรอนงค์ ผิวนิล[1,2] เกษม จันทร์แก้ว[1,2] ไพบูลย์ ประพฤติธรรม[1,2] ศรันยา คุณะดิลก[3] และ วัลลภ อารีรบ[4]

Juthamanee Sangsawang[1*], Onanong Phewnil[1,2], Kasem Chunkao[1,2], Paiboon Prabuddham[1,2], Sarunya Khunandilok[3] and Wallop Arirop[4]

Received: 3 July 2018, Revised: 30 October 2018, Accepted: 22 November 2018

บทคัดย่อ

ไขมันที่แยกได้จากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มถูกแยกออกมาโดยการหมุนเหวี่ยงในอัตราส่วนระหว่างน้ำเสียต่อกรดอะซิติก 5% เท่ากับ 3:1 ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ได้ส่วนผสมที่แยกตัวออกเป็น ชั้นบนสุด คือ ชั้นไขมัน ชั้นกลาง คือ ชั้นของเหลว และชั้นล่างสุด คือ ชั้นตะกอน นำไขมันชั้นบนสุดออกมาทำความสะอาดโดยการหมุนเหวี่ยงในอัตราส่วนไขมันต่อน้ำเปล่า เท่ากับ 1:1 ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที 3 ซ้ำ นำส่วนผสมที่แยกชั้นแล้วแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แยกไขมันที่ทำความสะอาดแล้วออกมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไขเคลือบผลไม้ (TH-ENV wax) ความเข้มข้นของเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และสังกะสี (Zn) ลดลงเมื่อหมุนเหวี่ยง แต่ความเข้มข้นของทองแดง (Cu) และอลูมิเนียม (Al) เพิ่มขึ้น เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ในไขมันที่ทำความสะอาดแล้วเมื่อเปรียบเทียบ

---

[1] ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

[1] Department of Environmental Science, Faculty of Environment, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

[2] โครงการวิจัยและพัฒนาแหลมผักเบี้ยในพระราชดำริฯ มูลนิธิชัยพัฒนา เพชรบุรี 76100

[2] The King's Royal Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project, Chaipattana Foundation, Petchaburi 76100, Thailand.

[3] ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

[3] Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

[4] ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

[4] Department of Botany, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): pangjung@yahoo.com Tel: 08 0935 2892

กับในไขมันที่แยกได้ก่อนทำความสะอาด มีความเข้มข้นลดลงอย่างมากโดยเหล็กลดลง 65.34% แมงกานีสลดลง 67.99% ทองแดงลดลง 69.73% และสังกะสีลดลง 25.64% ส่วนอลูมิเนียมไม่ถือว่าเป็นโลหะหนักที่มีพิษ นำไขมันที่ผ่านการล้างทำความสะอาดมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไขเคลือบผลไม้ TH-ENV wax ที่มีส่วนผสม ได้แก่ ไขมันที่แยกได้จากน้ำเสีย 30% สารสกัดใบสาบเสือ 5% แป้งท้าวยายม่อมละลายน้ำในอัตราส่วน 3:1 10% ไคโตซาน 5% น้ำ 50% และเติม Triton X-100 จำนวน 10 หยด ต่อส่วนผสม 200 มิลลิลิตร เมื่อทดสอบประสิทธิภาพของ TH-ENV wax ต่อการยับยั้งการสุกงอมของตัวอย่างกล้วย โดยศึกษาค่าเฉลี่ย CO_2 และค่าเฉลี่ย C_2H_4 ที่ตัวอย่างกล้วยปลดปล่อยออกมาใน 1 ชั่วโมงทั้งกล้วยที่มีระยะการจัดเก็บทั้ง 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน ผลจากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการปลดปล่อย CO_2 และ C_2H_4 ของ TH-ENV wax ไม่แตกต่างจาก Commercial wax อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 เมื่อจัดเก็บไว้ 5 วัน มีการเสื่อมสภาพ มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผิวเปลือกและการเพิ่มขึ้นของความนิ่มของเนื้อผลไม้มากขึ้นในกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ส่วนกล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax ยังไม่เริ่มเสื่อมสภาพ ส่วนกล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax เริ่มเสื่อมสภาพในวันที่ 3

คำสำคัญ: ปาล์ม, น้ำเสีย, ไขมัน, ไขเคลือบผลไม้

ABSTRACT

Grease in palm oil industry's wastewater was collected using grease trap. Fat was separated from grease in watsewater by mixing acetic acid 5% (3:1), 3,000 rpm, 15 minutes centrifugation. Three layers were formed: fat, liquid and sludge. Fat was collected and cleaned by centrifugation with pure water at 3,000 rpm speed, 15 minutes, 3 times. Metalic contaminants in wastewater, crude fat and cleaned fat were tested. The reults showed that Fe, Mn and Zn were decreased after centrifugation, while Cu and Al were increased. After cleaning processes Fe, Mn, Cu and Zn were greatly decreased. Al in cleaned fat was considered as nontoxic metal. Cleaned fat was used as raw materials of fruit coating wax (TH-ENV wax). Product of this study is TH-ENV wax, a bilayer composite wax. Ingredients were fat, Siam weed extracts, Tacca's starch in water (3:1), chitosan and water (30, 5, 10, 5, 50 % v/v respectively). Triton X-100 was emulsifier. Wax efficiencies were tested on banana. Gas chromotography was investigated to study on CO_2 and C_2H_4 released from banana fruit per hour at day 1, day 3 and day 5. The results showed that no significantly difference in releasing of CO_2 and C_2H_4 from TH-ENV wax coated, commercial wax coated and unwaxed banana ($\alpha = 0.01$). At day 5 of storage deteroriation, change in peel color, change in peel texture, an increase in pulp softness were found in the TH-ENV coated bananas while no deterioration, change in peel color, peel texture, and pulp firmness were observed in commercial wax coated bananas. Unwaxed bananas (control) began deteriorating at day 3 of storage.

Key words: palm, wastewater, fat, coating wax, TH-ENV wax

บทนำ

ไขเคลือบผลไม้มีความสำคัญต่อการยืดอายุการจัดเก็บผลไม้ไว้ให้ได้นานขึ้นสมบัติในการขวางกั้นการแพร่ของก๊าซของสารเคลือบผิวผลไม้ ทั้งการยับยั้งการแพร่ของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ เทิลีน และสารระเหยมีส่วนจำเป็นในการชะลอการหายใจซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างภายในกับสิ่งแวดล้อม การเคลือบผลไม้เป็นการควบคุมหรือปรับปรุงสภาวะแวดล้อมภายในของผักผลไม้ระหว่างการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามการใช้ edible coating จะทำให้เกิดกลิ่นแอลกอฮอล์ได้ ซึ่งเป็นผลมาจากการหายใจแบบไร้อออกซิเจน และการมีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไปและขาดแคลนออกซิเจน การเลือกวัสดุเคลือบผิวผลไม้ที่มีความเหมาะสมในการแลกเปลี่ยนก๊าซเป็นสิ่งสำคัญต่อการเก็บรักษาผลไม้ นอกจากนี้การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นยังมีผลต่อความสดของผลไม้อันเนื่องมาจากการแลกเปลี่ยนก๊าซและการหายใจ (Smock, 1940; Ben-Yehoshua, 1969) บทบาทหลักของ edible coating คือการชะลออัตราการหายใจในช่วงการเก็บรักษาผลไม้ ยืดอายุการจัดเก็บ รักษาความแน่นของเนื้อผลไม้และยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Vu *et al*., 2011) ปัจจุบันมีสูตรไขเคลือบผลไม้หลากหลายรูปแบบ เช่น เรซิ่นแว๊กซ์ ลิพิดอิมัลชั่นแว็กซ์ พาราฟินแว็กซ์ หรือแว็กที่ไม่อันตรายต่อผู้บริโภค (edible wax) ได้แก่ กลุ่ม hydrophobic base เช่น lipid base กลุ่ม hydrocolloid หรือ hydrophillic เช่น polysaccharide base หรือ protein base หรือกลุ่มผสมระหว่างสองกลุ่มแรก หรือ composite base เช่น lipid/polysaccharide composite wax เป็นต้น (Hall, 1981; Warriner *et al*., 2009; Han and Gennodios, 2014) แหล่งของไขมันที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต edible wax มีหลากหลาย เช่น ไขจากคานูบา นอกจากแหล่งไขมันจากสิ่งมีชีวิตโดยตรงแล้ว การวิจัยครั้งนี้ยังมีการนำไขมันจากของเสียภาคอุตสาหกรรมมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไขเคลือบผลไม้ ที่เป็น edible wax ประเภท composite base (lipid/polysaccharide) ใช้ชื่อว่า “TH-ENV wax” เนื่องจากปาล์มน้ำมันครองส่วนแบ่ง 5% ของพื้นที่ปลูกพืชน้ำมันของโลก และครองส่วนแบ่งปริมาณการผลิตน้ำมันถึง 36% ของปริมาณการผลิตน้ำมันพืชของโลก (Petchseechoung, 2017) น้ำมันปาล์มถูกใช้เป็นน้ำมันปรุงอาหารและเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกอย่างกว้างขวาง ทำให้อุปสงค์ของน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นมากในตลาดโลก อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มพยายามที่จะตอบสนองต่ออุปสงค์ของน้ำมันปาล์มในตลาดโลก จึงเร่งเพิ่มปริมาณการผลิต ซึ่งเป็นเหตุให้ของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเพิ่มปริมาณขึ้นด้วย ในทุกๆ ขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์มเกิดของเสียหลายชนิดในปริมาณมาก น้ำเสียเป็นของเสียหลักของอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม กระบวนการต่างๆ ในการผลิตน้ำมันปาล์มก่อให้เกิดน้ำเสียปริมาณมาก ตั้งแต่ขั้นตอนการล้างวัตถุดิบไปจนถึงการล้างทำความสะอาดเครื่องจักรต่าง ๆ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มเป็นส่วนผสมของน้ำที่ใช้ในการควบแน่น น้ำที่แยกออกมาจากตะกอนและน้ำหล่อเย็นในระบบ hydrocyclone ในอัตราส่วน 9 : 15 : 1 ตามลำดับ การผลิตน้ำมันปาล์มดิบปริมาณ 1 ตันก่อให้เกิดน้ำเสียปริมาณ 2.6-3.3 ลูกบาศก์เมตร (Pleanjai *et al*., 2007; Van-Zutphen and Wijibrans, 2011; Ahmad *et al*., 2003) น้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มมีลักษณะขุ่น สีน้ำตาล มีสารแขวนลอยด์และสารคอลลอยด์ละลายปนอยู่มาก เป็นน้ำเสียที่มีองค์ประกอบซับซ้อน มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น ใยปาล์ม เศษผงฝุ่น โลหะ โลหะหนัก รวมทั้งไขมัน (oil and grease) เป็นต้น ไขมันที่มีอยู่ปริมาณมากในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มเป็นปัญหาอย่างมากในการขัดขวาง

ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยจะลอยขึ้นมาบนผิวน้ำแล้วเป็นฟิล์มปิดกั้นระหว่างน้ำและอากาศทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียขาดประสิทธิภาพ ในส่วนของ grease จะเป็นโมเลกุลที่มีโครงสร้างคล้ายฟองน้ำของน้ำมันพืชล้อมรอบแกนซึ่งเป็นโลหะ grease ในน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเป็นสารคอลลอยด์กึ่งเหลวกึ่งแข็ง (semi-solid colloid) ที่กระจายอยู่ในของเหลว ชนิดของ grease จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างขององค์ประกอบ โมเลกุลของ grease มีองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ ไขมัน หรือ base oil ที่มีกรดไขมัน (fatty acid) หลากหลายชนิด ซึ่ง base oil จำแนกได้เป็น 2 แบบ คือ mineral base oil ซึ่งเป็นน้ำมันจากแร่ธาตุ และ vegetable base oil ซึ่งเป็นน้ำมันจากพืช ส่วนที่สอง เป็นแกนกลางของโมเลกุล มี 3 ประเภท คือ metallic soap, organic thickener-clay (silica skeleton) และ non-soap thickener เช่น แกนโพลียูเรีย บางครั้งอาจเกิดเป็นแกนผสมของ soap-salt ก็ได้ ส่วนสุดท้าย คือ สารอื่นๆ ที่ปะปนอยู่ในโมเลกุล grease (Adhvaryu *et al*., 2005) ไขมันที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในส่วน base oil ของโมเลกุล grease จากน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการนำมาแปรสภาพใหม่เพื่อใช้ประโยชน์ (recycle) สอดคล้องกับหลักการ zero waste หรือการเปลี่ยนของเสียให้กลายมาเป็นทรัพยากร ซึ่งไม่เพียงแต่จะช่วยแก้ปัญหาของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม แต่ยังสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสิ่งที่เรียกว่าของเสียได้ สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการนำไขมันที่แยกได้จาก grease ในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไขเคลือบผลไม้ (TH-ENV wax) และศึกษาประสิทธิภาพไขเคลือบผลไม้ต่อกล้วยน้ำว้าหลังการเก็บเกี่ยว

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มผสมกับกรดอะซิติก 5% ในอัตราส่วน 3:1 ถูกนำมาหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ล้างทำความสะอาดไขมันอีก 3 ครั้ง โดยผสมไขมันที่แยกได้กับน้ำในอัตราส่วน 1:1 หมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที นำไปแช่ในอุณหภูมิ 4 °C แยกไขมันที่อยู่ส่วนบนสุดของสารละลายออกมาเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไขเคลือบผลไม้

2. การตรวจการปนเปื้อน

นำน้ำเสีย ไขมันที่แยกได้ และไขมันที่ทำความสะอาดแล้วตรวจวัดค่าการปนเปื้อนของโลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และอลูมิเนียม (Al) โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS (flame technique AAS) การเตรียมตัวอย่างใช้วิธี wet digestion method ใช้ HNO_3: $HClO_4$ (2:1) เป็น digestive agent

3. การพัฒนาสูตรไขเคลือบผลไม้ TH-ENV wax

ไขเคลือบผลไม้ที่พัฒนาขึ้นมา ใช้ชื่อว่า TH-ENV wax เป็น bilayer composites fruit coating wax ประเภท lipid/polysaccharides มีส่วนผสม ได้แก่ ไขมันที่แยกได้จากน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มแป้งท้าวยายม่อม ไคโตซาน สารสกัดใบสาบเสือ น้ำ และ triton X-100 การนำ TH-ENV wax ไปใช้เป็น coating wax โดยทำความสะอาดผิวของผลไม้ทิ้งไว้ให้แห้ง ใช้แปรงจุ่มในสารละลาย coating wax ที่เตรียมไว้ ทาผิวของผลไม้ให้ทั่ว หลังจากเคลือบแล้วปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง และทำการเคลือบซ้ำ 2 รอบ

4. การทดสอบประสิทธิภาพของไขเคลือบผลไม้

ในการทดสอบประสิทธิภาพของไขเคลือบผลไม้ ทดสอบในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าที่มีอายุเท่าๆ กัน

โดยเปรียบเทียบกล้วยซึ่งเคลือบด้วย TH-ENV wax กับกล้วยซึ่งเคลือบด้วยไขเคลือบผลไม้ในท้องตลาด (commercial wax) และกล้วยซึ่งไม่ได้เคลือบผิว (unwaxed) พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ในการทดสอบประสิทธิภาพของไขเคลือบผลไม้ในการวิจัยนี้ ได้แก่ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ที่ผลไม้ปลดปล่อยออกมาใน 1 ชั่วโมง การทดสอบการเสื่อมสภาพจากการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ผิวเปลือกและการเพิ่มขึ้นของความนิ่มของเนื้อผล

1) การศึกษาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และเอทิลีน (C_2H_4) ที่กล้วยปล่อยออกมาด้วยเทคนิค GC (Gas Chromography) โดยแบ่งกล้วยตัวอย่างออกเป็นสามส่วน ได้แก่ กล้วยซึ่งเคลือบด้วย TH-ENV wax (TR1_1 ถึง TR1_10) กล้วยซึ่งเคลือบด้วย commercial wax (TR2_1 ถึง TR2_10) และกล้วยซึ่งไม่ได้เคลือบผิวเปลือก (CR_1 ถึง CR_10) จัดเก็บในอุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน จากนั้นนำมาบรรจุในกล่องสุญญากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการดูดอากาศภายในกล่องสุญญากาศด้วยเข็มฉีดยาขาด 10 ml ฉีดอากาศที่ดูดได้ใส่ในขวดตัวอย่างซึ่งอยู่ภายใต้น้ำเกลืออิ่มตัวที่มีความเข้มข้นของเกลือ 13 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร วัดค่าปริมาณ CO_2 ด้วยเทคนิค Gas Chromotography เปรียบเทียบในแต่ละ Treatment ของแต่ละช่วงเวลา ใช้แผนการทดลองแบบ factorial experiment แบบ 2 × 3ที่มี 2 ตัวแปร คือ วิธีการจัดเก็บ (เคลือบ coating wax/ไม่เคลือบ coating wax) และระยะเวลาในการจัดเก็บ (1 วัน 3 วัน 5 วัน)

2) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสี (color) และลักษณะผิว (texture) ของเปลือกและความนิ่มของเนื้อผลไม้ นำตัวอย่างกล้วยมาทำการทดลองโดยแบ่งตัวอย่างออกเป็นสามส่วน ได้แก่ กล้วยที่เคลือบด้วย coating wax ที่ผลิตจากไขมันจากบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำมันปาล์ม หรือ TH-ENV wax (TR1) กล้วยที่เคลือบด้วย coating wax ที่มีขายในท้องตลาด หรือ commercial wax (TR2) และกล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax หรือ control (CR) มาสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีและลักษณะผิวของเปลือกกล้วย บันทึกการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา ใช้แผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ที่มี 2 ตัวแปร คือ วิธีการจัดเก็บ (เคลือบ coating wax/ไม่เคลือบ coating wax) และระยะเวลาการจัดเก็บ (1 วัน 3 วัน 5 วัน)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

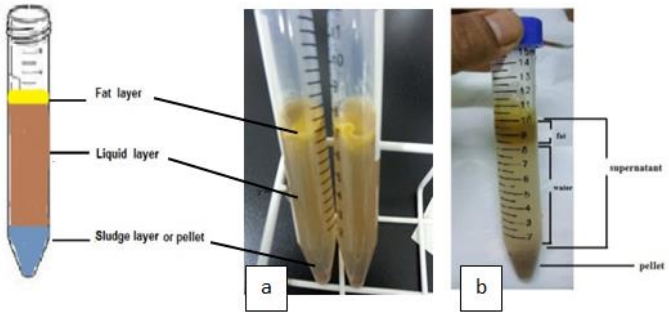
วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ CO_2 และปริมาณ ethylene (C_2H_4) ที่ผลไม้ปล่อยออกมาโดยใช้ค่าสถิติ Independent T-test

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การเตรียมวัตถุดิบ

เมื่อทำการแยกไขมันออกจากในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มโดยการหมุนเหวี่ยง ใช้ตัวทำละลายเป็นกรดอะซิติก 5% ในอัตราส่วนระหว่างน้ำเสียต่อกรดอะซิติก 5% เท่ากับ 3:1 หมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ภายหลังการหมุนเหวี่ยงส่วนผสมจะแยกตัวออกเป็น 3 ชั้น ชั้นบนสุด คือ ชั้นไขมัน (fat layer) ชั้นกลาง คือ ชั้นของเหลว (liquid layer) และชั้นล่างสุด คือ ชั้นตะกอน (sludge หรือ pellet) (ภาพที่ 1a) แยกเอาไขมันชั้นบนสุดออกมาทำความสะอาดโดยการหมุนเหวี่ยงด้วยน้ำเปล่า ในอัตราส่วนไขมันต่อน้ำเปล่า เท่ากับ 1:1 ที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที จำนวน 3 ซ้ำ ไขมันที่ได้จะมีสีเหลืองอมน้ำตาล ตะกอนที่ตกลงรวมตัวกันข้างล่างจะมีสีน้ำตาลดำ นำส่วนผสมที่แยกชั้นแล้วแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไขมันจะลอยขึ้นรวมตัวอยู่ข้างบนสุดด้วยคุณสมบัติที่ไม่มีขั้ว

(non-polar) และไม่ละลายน้ำ (ภาพที่ 1b) แยกไขมันที่ทำความสะอาดแล้วออกมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไขเคลือบผลไม้ (TH-ENV wax) ในชีวมวล (biomass) ของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม มีไขมันเป็นองค์ประกอบถึง 39.9% (Nur *et al*, 2017) การแยกไขมันออกจากน้ำเสียด้วยวิธีการหมุนเหวี่ยง (centrifugation) ด้วยตัวทำละลายที่ไม่มีความเป็นพิษ เป็นวิธีการทางกายภาพที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและไม่มีการตกค้างของตัวทำละลายในไขมันที่จะนำไปใช้ประโยชน์ การหมุนเหวี่ยงใช้แรง centrifugal force หรือ g-force เพื่อแยกสารแขวนลอยออกจากตัวกลาง (Rickwood and Graham, 2001) ไขมันในน้ำเสียยังสามารถล้างทำความสะอาดได้โดยการหมุนเหวี่ยงด้วยน้ำ ไขมันจะลอยขึ้นบนผิวหน้าเป็นครีมสีเหลือง ควรใช้ความเร็วรอบสูงและตัวทำละลายอินทรีย์ (Naviglio *et al*., 2014; Chow and Ho, 2002)



ภาพที่ 1 การแยกและทำความสะอาดไขมันจากน้ำเสีย;
a: การแยกตัวเป็น 3 ชั้น ของน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มหลังการหมุนเหวี่ยง;
b: การแยกตัวเป็น 3 ชั้น ของไขมันที่ผ่านการหมุนเหวี่ยงด้วยน้ำเปล่าและแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C

2. การปนเปื้อนโลหะและโลหะหนัก

ผลการตรวจสอบปริมาณการปนเปื้อนโลหะและโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม ไขมันที่แยกได้จาก grease ในน้ำเสียและไขมันที่ทำความสะอาดแล้วด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ผลการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นของเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และ สังกะสี (Zn) ลดลงเมื่อหมุนเหวี่ยง แต่ความเข้มข้นของทองแดง (Cu) และอลูมิเนียม (Al) เพิ่มขึ้น เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) และ สังกะสี (Zn) ในไขมันที่ทำความสะอาดแล้วเมื่อเปรียบเทียบกับในไขมันที่แยกได้ก่อนทำความสะอาด มีความเข้มข้นลดลงอย่างมาก (ตารางที่ 1 ตารางที่ 2 และภาพที่ 2) ความเข้มข้นของโลหะและโลหะหนักที่ปนเปื้อนในไขมันที่ทำความสะอาดแล้วมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานความปลอดภัยในการบริโภค (the dietary reference intakes: DRIs) ที่กำหนดไว้โดย National Academy of Sciences (2014) ส่วนอลูมิเนียมจัดเป็นโลหะปนเปื้อนที่ไม่เป็นพิษซึ่งค่า PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intake) หรือค่ามาตรฐานความปลอดภัยของการได้รับอลูมิเนียมทางการกินต่อสัปดาห์ มีค่าไม่เกิน 7.0 มิลลิลิตรต่อ 1 กิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อสัปดาห์ ความเป็นพิษของอลูมิเนียมขึ้นอยู่กับปริมาณ ระยะเวลา และวิธีการได้รับ การได้รับอลูมิเนียมเพียงเล็กน้อยเข้าสู่ร่างกายโดยทางเดินอาหารจะถูกขับออกทั้งหมดทางอุจจาระและปัสสาวะอย่างรวดเร็ว (FAO/WHO, 1989)

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของการปนเปื้อนโลหะและโลหะหนักในน้ำเสีย ไขมันที่แยกได้ และไขมันที่ทำความสะอาดแล้ว (เทคนิคAAS)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้น (mg/l)				
				%การเปลี่ยนแปลง	
	น้ำเสีย	ไขมันที่แยกได้	ไขมันที่ทำความสะอาดแล้ว	น้ำเสีย - ไขมันที่แยกได้	ไขมันที่แยกได้ - ไขมันที่ทำความสะอาดแล้ว
เหล็ก (Fe)	25.33	22.42	7.77	-11.49	-65.34
แมงกานีส (Mn)	12.21	4.28	1.37	-64.95	-67.99
ทองแดง (Cu)	0.62	0.76	0.23	+36.42	-69.73
สังกะสี (Zn)	2.11	0.78	0.58	-63.03	-25.64
อลูมิเนียม (Al)	0.70	1.87	n.d.*	+267.00	n.d.*

หมายเหตุ: *Al ในไขมันที่ทำความสะอาดแล้วไม่มีการวัดเพราะไม่มีความเป็นพิษ (Stahl *et al*., 2011)

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของการปนเปื้อนโลหะและโลหะหนักในไขมันที่ทำความสะอาดแล้วเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต KU-ENV wax

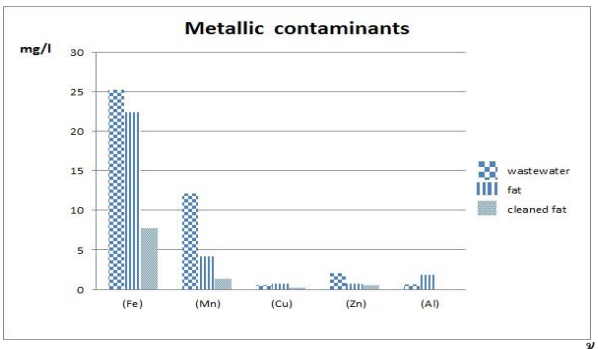
พารามิเตอร์	ไขมันที่ทำความสะอาดแล้ว(mg/l)	Dietaryreference intakes (DRIs)(mg/day)[1)]	ปริมาณขั้นต่ำที่เกิดพิษ(ml/day)[4)]	ความเป็นพิ[2)]
เหล็ก (Fe)	7.77	0.007-0.008*	0.90	toxic
แมงกานีส (Mn)	1.37	0.012-0.019*	8.76	toxic
ทองแดง (Cu)	0.23	0.340-0.700*	1,479.29	toxic
สังกะสี (Zn)	0.58	0.003-0.008*	5.17	toxic
อลูมิเนียม (Al)	n.d.[3)]	-	-	non-toxic

หมายเหตุ: [1)] National Academy of Sciences (2014)

[2)] Stahl *et al*. (2011)

[3)] ในไขมันที่ทำความสะอาดแล้วไม่วิเคราะห์อลูมิเนียม เพราะไม่ใช่โลหะที่มีพิษ

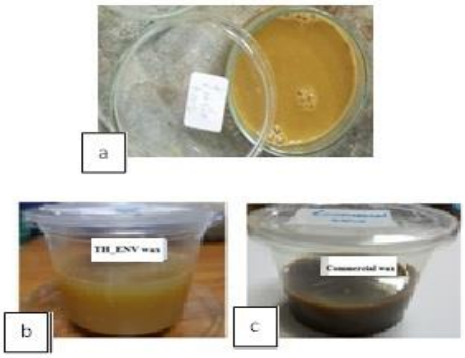
[4)] คำนวณจากความเข้มข้นของโลหะในไขมันที่ทำความสะอาดแล้วเทียบกับค่า DRIs



ภาพที่ 2 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของการปนเปื้อนโลหะและโลหะหนักในน้ำเสีย ไขมันที่แยกได้ และไขมันที่ทำความสะอาดแล้ว

3. การพัฒนาสูตรไขเคลือบผลไม้ (TH-ENV wax)

นำไขมันที่ทำความสะอาดแล้ว (ภาพที่ 3a) มาใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตไขเคลือบผลไม้ ซึ่งใช้ชื่อว่า TH-ENV wax ซึ่งเป็น edible wax ประเภท bilayer composites fruit coating wax (lipid/polysaccharides) ซึ่งมีส่วนผสมดังนี้ ไขมันที่แยกได้จาก grease ในน้ำเสีย 30% สารสกัดใบสาบเสือ 5% แป้งท้าวยายม่อมละลายน้ำในอัตราส่วน 3:1 10% ไคโตซาน 5% น้ำ 50% และเติม Triton X-100 จำนวน 10 หยด ต่อส่วนผสม 200 มิลลิลิตร แป้งท้าวยายม่อมและไคโตซานเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ทำหน้าที่เป็นสารก่อความหนาตัว แป้ง มีคุณสมบัติในการปิดกั้นการแลกเปลี่ยนก๊าซในระดับปานกลาง ลดอัตราการหายใจของเซลล์ แต่จะเพิ่มความหนา ความแข็ง การยึดเกาะ และความหนืด (Morillon *et al*., 2002; Robertson, 2009; Gill and Gill, 2005) ไคโตซานมีประสิทธิภาพดีมากในการยับยั้งการแลกเปลี่ยน O_2 และ CO_2 ต้านจุลินทรีย์ เพิ่มความข้น ความเรียบ ความเงางาม และการยึดเกาะ (Peniston and Johnson, 1980; Pol *et al*., 2002) สารสกัดใบสาบเสือมีสารสำคัญหลายชนิดที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ (Venkata *et al*., 2012) Triton X-100 เป็น emulsifier เพราะในโมเลกุลมีทั้งส่วนที่เป็นขั้วชอบน้ำ (hydrophilic part) และส่วนที่ไม่มีขั้วที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic part) ทั้งยังเป็นสารที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (biodegradable) และไม่มีความเป็นพิษ (Abu-Ghunmi *et al*., 2014)



ภาพที่ 3 ผลิตภัณฑ์ TH-ENV wax เปรียบเทียบกับ Commercial wax; a: ไขมันที่แยกและทำความสะอาดเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต TH-ENV wax, b : TH-ENV wax เข้มข้นและ c : commercial wax

4. การทดสอบประสิทธิภาพของไขเคลือบผลไม้

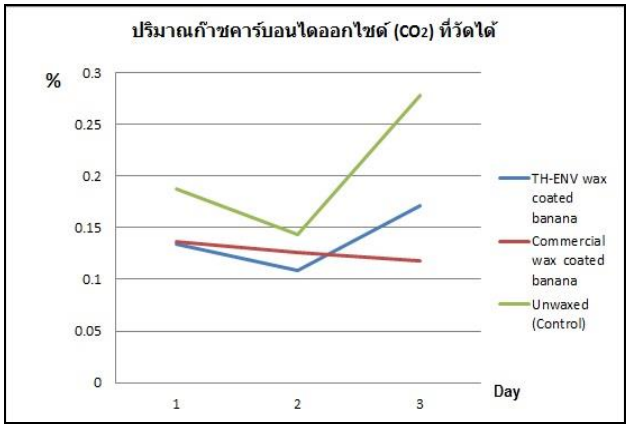
1) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ที่กล้วยปลดปล่อยออกมา

ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และปริมาณก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ที่ปลดปล่อยออกมาใน 1 ชั่วโมง ด้วยเทคนิค GC (Gas Chromography) จากกล้วยซึ่งเคลือบด้วยไขเคลือบผลไม้ TH-ENV wax เปรียบเทียบกับกล้วยซึ่งเคลือบด้วยไขเคลือบผลไม้ในท้องตลาด (commercial wax) และกล้วยซึ่งไม่ได้เคลือบผิวเปลือก (unwaxed) ผลการทดลอง พบว่า ในระยะการจัดเก็บ 1 และ 3 วัน กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกมาต่ำกว่ากล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และต่ำกว่ากล้วยที่ไม่ได้เคลือบ wax (Control) แต่ในระยะการจัดเก็บ 5 วัน กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาสูงกว่ากล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax แต่ยังต่ำกว่า

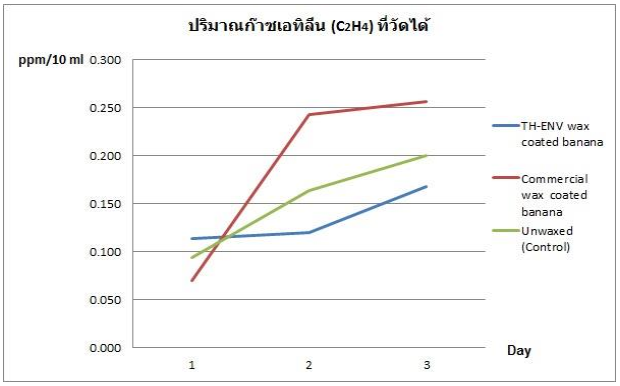
กล้วยที่ไม่ได้เคลือบ wax (Control) (ตารางที่ 3 และภาพที่ 4) ส่วนปริมาณก๊าซเอทิลีนที่กล้วยปลดปล่อยออกมานั้น พบว่า ในระยะการจัดเก็บ 1 วัน กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการปลดปล่อยก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ออกมาสูงกว่ากล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และสูงกว่ากล้วยที่ไม่ได้เคลือบ wax (Control) แต่ในระยะการจัดเก็บ 3 และ 5 วัน กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการปลดปล่อยก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ออกมาต่ำกว่ากล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และต่ำกว่ากล้วยที่ไม่ได้เคลือบ wax (Control) (ตารางที่ 3 และ ภาพที่ 5)

ตารางที่ 3 ปริมาณ CO_2 และ C_2H_4 เฉลี่ยที่กล้วยตัวอย่างปลดปล่อยออกมาในเวลา 1 ชั่วโมง

Sample	Day1				Day3				Day5			
	CO_2		C_2H_4		CO_2		C_2H_4		CO_2		C_2H_4	
	%	S.D.	ppm/ 10 ml	S.D.	%	S.D.	ppm/ 10 ml	S.D.	%	S.D.	ppm/ 10 ml	S.D.
TH-ENV waxcoated banana	0.134	0.078	0.113	0.113	0.109	0.270	0.120	0.028	0.171	0.089	0.168	0.154
Commercial waxcoated banana	0.136	0.038	0.070	0.011	0.126	0.057	0.243	0.160	0.118	0.043	0.256	0.234
Unwaxed (Control)	0.188	0.130	0.094	0.021	0.144	0.071	0.163	0.118	0.278	0.225	0.200	0.162



ภาพที่ 4 ปริมาณ CO_2ตรวจวัดได้ในระยะเวลา 1 ชั่วโมงจากตัวอย่างกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax (TR1) เปรียบเทียบกับตัวอย่างกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax (TR2) และไม่เคลือบ wax (Control)



ภาพที่ 5 ปริมาณ C_2H_4 ที่ตรวจวัดได้ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากตัวอย่างกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax (TR1) เปรียบเทียบกับตัวอย่างกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax (TR2) และไม่เคลือบ wax (Control)

เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และปริมาณก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ที่ตัวอย่างกล้วยปลดปล่อยออกมาใน 1 ชั่วโมง ด้วยค่าสถิติ Independent T-test พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในระยะเวลาจัดเก็บ 1 วัน ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ปลดปล่อยออกมาไม่แตกต่างจากกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และไม่แตกต่างจากกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (Sig. = 0.916 และ 0.306 ตามลำดับ) ในระยะเวลาจัดเก็บ 3 วัน ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ปลดปล่อยออกมาไม่แตกต่างจากกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และไม่แตกต่างจากกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (Sig. = 0.490 และ 0.237 ตามลำดับ) และในระยะเวลาจัดเก็บ 5 วัน ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ปลดปล่อยออกมาไม่แตกต่างจากกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และไม่แตกต่างจากกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (Sig. = 0.135และ 0.088 ตามลำดับ) แม้ว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จากการปลดปล่อยของกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax จะมีค่าต่ำสุด และที่วัดได้จากการปลดปล่อยของกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) จะมีค่าสูงสุดก็ตามแต่ก็เป็นค่าที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) ทั้งนี้เพราะปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้มีค่าน้อยมาก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจนส่วนหนึ่งไม่สามารถแพร่เข้าออกได้เมื่อถูกเคลือบด้วยผิวเปลือก เป็นเพราะสารเคลือบขัดขวางการยอมให้ก๊าซแพร่ผ่าน หรืออุดตันรูเปิดต่างๆ บนเปลือกผลไม้ ของสารเคลือบมีผลต่อการแพร่ของก๊าซ แต่ความหนาของสารเคลือบไม่ได้มีผลต่อคุณสมบัติในการยับยั้งการแพร่ของก๊าซเหล่านี้ ในขณะที่การแพร่ของไอน้ำจะขึ้นอยู่กับความหนาของสารเคลือบมากกว่าชนิดของสารเคลือบ (Mannheim and Soffer, 1996; Hagenmaier and Baker, 1993) มีรายงานการวิจัยที่ศึกษาพบว่า ผลไม้ซึ่งไม่ได้เคลือบผิวเปลือก (unwaxed) และผลไม้ซึ่งเคลือบเปลือกด้วยสารเคลือบผิว (coated fruit) ต่างก็มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง เมื่อระยะการจัดเก็บผลไม้ (storage period) เพิ่มขึ้น (Davila-Avina *et al*., 2014) อย่างไรก็ตามก็ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาพบว่า สารเคลือบผลไม้ที่มีส่วนผสมระหว่างลิพิดและโพลีแซคคาไรด์ สามารถใช้เพื่อเป็นตัวกั้นขวางการแพร่ผ่านของก๊าซและความชื้นได้ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ

โพลีแซคคาไรด์ เช่น ไคโตซาน จะมีผลให้การหายใจ (repiration) ลดลงไปพร้อมๆ กับการสูญเสียน้ำหนัก (weight loss) ความแน่นตัว (firmness) และสีของเปลือกผลไม้ (Perez-Gago *et al*., 2002; Hernandez-Munoz *et al*., 2008)

ส่วนค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ในระยะเวลาจัดเก็บ 1 วัน ปริมาณก๊าซเอทิลีนที่กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ปลดปล่อยออกมาไม่แตกต่างจากกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และไม่แตกต่างจากกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (Sig. = 0.259 และ 0.627 ตามลำดับ) ในระยะเวลาจัดเก็บ 3 วัน ปริมาณก๊าซเอทิลีนที่กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ปลดปล่อยออกมาไม่แตกต่างจากกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และไม่แตกต่างจากกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (Sig. = 0.057 และ 0.300 ตามลำดับ) และในระยะเวลาจัดเก็บ 5 วันปริมาณก๊าซเอทิลีนที่กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ปลดปล่อยออกมาไม่แตกต่างจากกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และไม่แตกต่างจากกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (Sig. = 0.068 และ 0.383ตามลำดับ) แม้ว่าค่าปริมาณก๊าซเอทิลีนที่วัดได้จากกล้วยซึ่งเคลือบเปลือกด้วย TH-ENV wax จะมีค่าต่ำที่สุด และปริมาณก๊าซก๊าซเอทิลีนที่วัดได้จากกล้วยซึ่งไม่เคลือบผิวเปลือก (unwaxed) จะมีค่าสูงสุดก็ตามแต่ก็เป็นค่าที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5) โดยกระบวนการสุกแก่ของผลไม้เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีและเมตาบอลิซึมที่เกิดขึ้นภายในผลไม้ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เพิ่มอัตราการหายใจ เพิ่มการสังเคราะห์เอทิลีน เปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ที่ทำให้เนื้อผลไม้นิ่มขึ้น การสูญเสียที่หลักๆ ของผักผลไม้ คือ คุณภาพและปริมาณของความสดในช่วงเวลาหลังการเก็บเกี่ยวไปจนถึงการบริโภค เมื่อผลไม้ถูกเก็บมา ปัจจุบันนี้สารเคลือบผิวผลไม้เป็นทางเลือกใหม่ที่จะเอาชนะปัญหาของการรักษาคุณภาพของผลไม้ เพราะจะช่วยชะลออัตราการเกิดเมตาบอลิซึมที่ทำให้เกิดการสังเคราะห์เอทิลีน เพื่อช่วยชะลอความสุกแก่ของผลไม้ การควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษาผลไม้ การเคลือบผิวเปลือกของผลไม้ สามารถยับยั้งอัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีน ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ได้ (Yonemoto *at al*., 2002; Herianus *et al*., 2003; Verma, 2010)

การที่ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ระหว่างกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax กล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 แม้ว่าผลการวัดค่าปริมาณ CO_2 และ C_2H_4 ในเชิงปริมาณจะเห็นความแตกต่างกันก็ตาม (ตารางที่ 3 ภาพที่ 4 และ ภาพที่ 5) ทั้งนี้เพราะปริมาณก๊าซที่กล้วยปลดปล่อยออกมามีน้อยเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติจึงไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mishra *et al*. (2009) ที่กล่าวไว้ว่า สมบัติการยอมให้ก๊าซผ่านของ edible coating จะยอมให้ก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำผ่านเข้าออกได้น้อยแม้ว่าโดยหลักการแล้วการเคลือบผลไม้จะมีผลในการชะลอการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่เป็นผลจากการสุกแก่ หรือความเสียหายทางสรีรวิทยาของผลไม้ ซึ่งเป็นผลมาจากการปิดกั้นการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ทำให้อัตราการหายใจลดลง (Valero *et al*., 2013; Fagundes, 2015) โดยส่วนใหญ่การปิดกั้นการแลกเปลี่ยนก๊าซด้วยการเคลือบผิวจะมีผลอย่างมากต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของผลไม้ อย่างไรก็ตามสมบัติในการปิดกั้นการ

แลกเปลี่ยนก๊าซของสารเคลือบผลไม้ไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของสารเคลือบแล้ว ยังขึ้นอยู่กับสภาวะของการปลูกและการจัดเก็บ (Valencia-Chamorro *et al*., 2008) ในที่นี้กล้วยที่ทำการทดลองได้ถูกจัดเก็บในอุณหภูมิห้องก็ย่อมจะไม่ถูกยับยั้งการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาโดยอิทธิพลของอุณหภูมิอยู่แล้ว แต่การที่ไม่เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตินั้นอาจเป็นผลมาจากปริมาณก๊าซที่เก็บเกี่ยวได้จากกล้วยแต่ละผลมีไม่มากพอทั้งๆ ที่การวัดเชิงปริมาณจะเห็นความแตกต่างกันอยู่บ้าง จะพบว่ากล้วยที่เคลือบผิวด้วย TH-ENV wax มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาในปริมาณใกล้เคียงกับกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax แต่ปริมาณต่ำกว่ากล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) อย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4 ส่วนการปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนนั้นจะเห็นได้ว่า กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการปลดปล่อยเอทิลีนออกมาในปริมาณต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) อย่างไรก็ตามกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax กลับที่การปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนออกมาสูงที่สุด ดังภาพที่ 5 ทั้งนี้อาจเป็นการปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนจากส่วนผสมของตัว Commercial wax เอง ซึ่งต่างจาก TH-ENV wax ที่มีส่วนผสมจากธรรมชาติเป็นหลัก

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ปลดปล่อยออกมาใน 1 ชั่วโมงจากกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax กล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และกล้วยที่ไม่ได้เคลือบ wax (Control) ด้วยเทคนิคสถิติ Independent T-test

Sample	N	Mean	S.D.	df	T -value	Sig.
Day1 : TH-ENV wax coated × Commercial wax coated						
TH-ENV wax coated	10	0.134	0.078	19	0.109	0.916
Commercial wax coated	10	0.136	0.038			
Day1 : TH-ENV wax coated × Unwaxed (Control)						
TH-ENV wax coated	10	0.134	0.078	19	1.086	0.306
Unwaxed (Control)	10	0.188	0.130			
Day3 : TH-ENV wax coated × Commercial wax coated						
TH-ENV wax coated	10	0.109	0.270	19	0.720	0.490
Commercial wax coated	10	0.126	0.057			
Day3 : TH-ENV wax coated × Unwaxed (Control)						
TH-ENV wax coated	10	0.109	0.270	19	1.267	0.237
Unwaxed(Control)	10	0.144	0.071			
Day5 : TH-ENV wax coated × Commercial wax coated						
TH-ENV wax coated	10	0.171	0.089	19	1.643	0.135
Commercial wax coated	10	0.118	0.043			

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Sample	N	Mean	S.D.	df	T -value	Sig.
Day5 : TH-ENV wax coated × Unwaxed (Control)						
TH-ENV wax coated	10	0.171	0.089	19	1.912	0.088
Unwaxed (Control)	10	0.278	0.225			

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ที่ปลดปล่อยออกมาใน 1 ชั่วโมงจากกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax กล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และกล้วยที่ไม่ได้เคลือบ wax (Control) ด้วยเทคนิคสถิติ Independent T-test

Sample	N	Mean	S.D.	df	T -value	Sig.
Day1 : TH-ENV wax coated × Commercial wax coated						
TH-ENV wax coated	10	0.113	0.113	19	1.205	0.259
Commercial wax coated	10	0.070	0.011			
Day1 : TH-ENV wax coated × Unwaxed (Control)						
TH-ENV wax coated	10	0.113	0.113	19	0.503	0.627
Unwaxed (Control)	10	0.094	0.021			
Day3 : TH-ENV wax coated × Commercial wax coated						
TH-ENV wax coated	10	0.120	0.028	19	2.185	0.057
Commercial wax coated	10	0.243	0.160			
Day3 : TH-ENV wax coated × Unwaxed (Control)						
TH-ENV wax coated	10	0.120	0.028	19	1.099	0.300
Unwaxed (Control)	10	0.163	0.118			
Day5 : TH-ENV wax coated × Commercial wax coated						
TH-ENV wax coated	10	0.168	0.154	19	2.075	0.068
Commercial wax coated	10	0.256	0.234			
Day5 : TH-ENV wax coated × Unwaxed (Control)						
TH-ENV wax coated	10	0.168	0.154	19	0.916	0.383
Unwaxed (Control)	10	0.200	0.162			

2) การเปลี่ยนแปลงของสี (color) และลักษณะผิว (texture) ของเปลือกและความนิ่ม (softening) ของเนื้อผลไม้

จากผลการทดลองในตัวอย่างกล้วยที่เคลือบด้วย coating wax ที่ผลิตจากไขมันจากบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำมันปาล์ม หรือ TH-ENV wax กล้วยที่

เคลือบด้วย coating wax ที่มีขายในท้องตลาด หรือ commercial wax และกล้วยที่ไม่ได้เคลือบ wax (control) โดยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีและลักษณะผิวของเปลือกกล้วย ในแต่ละช่วงเวลา ในระยะเวลาการจัดเก็บ 1 วัน และ 5 วัน โดยการจัดระดับมีเกณฑ์ คือ ระดับ 1 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงมาก ระดับ 2 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงปานกลางและระดับ 3 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงน้อย ผลการสังเกต พบว่าเมื่อจัดเก็บตัวอย่างกล้วยไว้ 1 วัน ที่อุณหภูมิห้อง กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกปานกลาง มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกปานกลาง มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นปานกลาง กล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกน้อย มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกน้อย ปานกลาง มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นน้อย ส่วนกล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกมาก มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกน้อย มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นปานกลาง เมื่อจัดเก็บตัวอย่างกล้วยไว้ 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกน้อย มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกน้อย มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นปานกลาง กล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกปานกลาง มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกน้อยปานกลาง มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นน้อย ส่วนกล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกมาก มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกมาก มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นมาก (ตารางที่ 7) ในระยะการจัดเก็บ 1 วัน ที่อุณหภูมิห้อง กล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax มีสีเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเข้มทั้งผล กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax สีของเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอ่อนทั้งผล ส่วนกล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax สีของเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอ่อนบางส่วน แต่ยังมีส่วนที่เป็นสีเขียวปรากฏอยู่มากกว่า 50% ของพื้นที่ผิวเปลือกทั้ง 3 แบบมีลักษณะผิวเปลือกเรียบ เต่งตึง หลังจากจัดเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องต่อเป็นระยะเวลา 5 วัน กล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax จะมีสีเปลือกเปลี่ยนจากสีเหลืองเข้มไปเป็นสีน้ำตาลเข้มบางส่วน มีรอยขนาดใหญ่สีน้ำตาลเข้มยับย่นเป็นกลุ่มเซลล์ของเปลือกกล้วยที่เสื่อมสภาพประมาณ 40% ของพื้นที่ผิวเปลือกกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax สีเปลือกเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนไปเป็นสีเหลืองเข้มค่อนข้างดำบางส่วนและสีน้ำตาลอ่อนบางส่วน มีรอยจุดสีน้ำตาลเล็กขึ้นประปรายบริเวณปลายผล ลักษณะผิวเปลือกไม่มีความเงา ผิวสัมผัสค่อนข้างแห้งส่วนกล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax สีเปลือกกล้วยเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนไปเป็นสีเหลืองเข้มทั้งผล มีรอยสีน้ำตาลอ่อนจางๆ อยู่ประปรายทั่วผล แต่ลักษณะผิวยังคงค่อนข้างเรียบ ยังคงมีความเงาของผิวเปลือกในระยะการจัดเก็บ 1 วัน ที่อุณหภูมิห้อง กล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating waxมีสีเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเข้มทั้งผลกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax สีของเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอ่อนทั้งผล ส่วนกล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax สีของเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอ่อนบางส่วน แต่ยังมีส่วนที่เป็นสีเขียวปรากฏอยู่มากกว่า 50% ของพื้นที่ผิวเปลือกทั้ง 3 แบบ มีลักษณะผิวเปลือกเรียบ เต่งตึง หลังจากจัดเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องต่อเป็นระยะเวลา 5 วัน กล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax จะมีสีเปลือกเปลี่ยนจากสีเหลืองเข้มไปเป็นสีน้ำตาลเข้มบางส่วน มีรอยขนาดใหญ่สีน้ำตาลเข้มยับย่นเป็นกลุ่มเซลล์ของเปลือกกล้วยที่เสื่อมสภาพประมาณ 40% ของพื้นที่ผิวเปลือกกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax สีเปลือกเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนไปเป็นสีเหลืองเข้มค่อนข้างดำบางส่วน

และสีน้ำตาลอ่อนบางส่วน มีรอยจุดสีน้ำตาลเล็กขึ้นประปรายบริเวณปลายผล ลักษณะผิวเปลือกไม่มีความเงา ผิวสัมผัสค่อนข้างแห้ง ส่วนกล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax สีเปลือกกล้วยเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนไปเป็นสีเหลืองเข้มทั้งผล มีรอยสีน้ำตาลอ่อนจางๆ อยู่ประปรายทั่วผล แต่ลักษณะผิวยังคงค่อนข้างเรียบ ยังคงมีความเงาของผิวเปลือก ในด้านความนิ่มของเนื้อผลกล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax มีเนื้อผลนิ่มมากที่สุด รองลงมา คือ กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ส่วนกล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax จะมีความนิ่มของเนื้อผลน้อยที่สุด (ภาพที่ 6) ทั้งนี้เพราะการสุกของผลไม้ทำให้เกิดการเปลี่ยนสี มีการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล มีผลทำให้เนื้อผลไม้นิ่ม เนื่องจากเอ็นไซม์โพลีแซคคาไรด์-ดีเกรดิง (polysaccharide-degrading enzyme) ถูกกระตุ้นให้สลายเซลลูโลสที่ผนังเซลล์ของเนื้อผลไม้ทำให้เนื้อนิ่มลง ทั้งยังมีผลต่อการสร้างสารอาหาร (nutrition) และเส้นใย (fiber) ที่มีคุณค่าทางอาหารในผลไม้ เช่น กล้วย แอปเปิ้ล สาลี่ ผลไม้เมล็ดแข็ง แตง ฟักแฟง มะเขือเทศ เป็นต้น (Rytioja *et al*., 2014; Barry and Giovannoni, 2007) การเคลือบผิวผลไม้ ไม่เพียงแต่การลดการแพร่ของไอน้ำ ก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ สารประกอบอะโรมาติกและไขมัน แต่ยังช่วยในด้านการต้านอนุมูลอิสระ เป็นการถนอมรักษาสารประกอบอะโรมาติก สี เป็นต้น (Pranoto *et al*., 2005) ในระหว่างการจัดเก็บหรือการขนส่ง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ เคมี และกายภาพได้ เช่น การสุกแก่ การสูญเสียหรือการดูดซับน้ำ ที่จะทำให้เกิดความเสื่อมสภาพของผลไม้ การเคลือบผิวจะช่วยรักษาสมบัติตามธรรมชาติของผลไม้ ปรับปรุงโครงสร้าง ผิวนอกและความคงสภาพ ผลของการใช้ edible coating เคลือบผิวผลไม้ต่อการสูญเสียน้ำเนื่องจากแรงดันออสโมติก การเคลือบผิวช่วยลดการสูญเสียมวลน้ำปริมาณมาก ลดการสูญเสียสภาพสี สารอาหาร และการเสื่อมภาพของกลิ่น ลดการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน การถูกทำลายโดยจุลินทรีย์ (Camirand *et al*., 1992)

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบสีเปลือก ลักษณะผิวเปลือกและความนิ่มของเนื้อของตัวอย่างกล้วยจำแนกตามชนิดของไขเคลือบผิวเปลือก

coating agents	**ระดับการเปลี่ยนแปลง**		
	สีเปลือก	**ลักษณะผิวเปลือก**	**ความนิ่มของเนื้อผล**
Day1			
TH-ENV wax	2	2	2
commercial wax	3	2	3
control	1	1	2
Day5			
TH-ENV wax	3	3	2
commercial wax	2	2	3
control	1	1	1

P-value = 0.01

ภาพที่ 6 ตัวอย่างกล้วยหลังเคลือบด้วย TH-ENV wax (หมายเลข 1) เคลือบด้วย commercial wax (หมายเลข 2) และไม่เคลือบ wax (หมายเลข 3) เมื่อจัดเก็บในอุณหภูมิห้องในระยะเวลาต่างๆ (a: ตัวอย่างกล้วยที่เริ่มเคลือบด้วย wax,b : ตัวอย่างกล้วยที่จัดเก็บไว้ในระยะ 1 วันและ c : ตัวอย่างกล้วยที่จัดเก็บไว้ในระยะ 5 วัน)

สรุป

การแยกไขมันออกจากในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มโดยการหมุนเหวี่ยง ที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำเสียต่อกรดอะซิติก 5% เท่ากับ 3:1 ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ได้ส่วนผสมที่แยกตัวออกเป็น ชั้นบนสุด คือ ชั้นไขมันชั้นกลาง คือ ชั้นของเหลวและชั้นล่างสุด คือ ชั้นตะกอน แยกเอาไขมันชั้นบนสุดออกมาทำความสะอาดโดยการหมุนเหวี่ยงในอัตราส่วนไขมันต่อน้ำเปล่า เท่ากับ 1:1 ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที 3 ซ้ำ นำส่วนผสมที่แยกชั้นแล้วแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไขมันจะลอยขึ้นรวมตัวอยู่ข้างบนสุดด้วยคุณสมบัติที่ไม่มีขั้ว (non-polar) และไม่ละลายน้ำ แยกไขมันที่ทำความสะอาดแล้วออกมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไขเคลือบผลไม้ (TH-ENV wax)

ผลการตรวจสอบปริมาณการปนเปื้อนโลหะและโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม ไขมันที่แยกได้จาก grease ในน้ำเสีย และไขมันที่ทำความสะอาดแล้ว ด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ผลการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นของเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และ สังกะสี (Zn) ลดลงเมื่อหมุนเหวี่ยง แต่ความเข้มข้นของทองแดง (Cu) และอลูมิเนียม (Al) เพิ่มขึ้น เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) และ สังกะสี (Zn) ในไขมันที่ทำความสะอาดแล้วเมื่อเปรียบเทียบกับในไขมันที่แยกได้ก่อนทำความสะอาด มีความเข้มข้นลดลงอย่างมาก

ไขมันที่แยกได้จากน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม ด้วยวิธีการหมุนเหวี่ยงจะผ่านการล้างทำความสะอาด และนำมาใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตไขเคลือบผลไม้ TH-ENV wax โดยมีส่วนผสมดังนี้ ไขมันที่แยกได้จาก grease ในน้ำเสีย 30% สารสกัดใบสาบเสือ 5% แป้งท้าวยายม่อม ละลายน้ำในอัตราส่วน 3:1 10% ไคโตซาน 5% น้ำ 50% และเติม Triton X-100 จำนวน 10 หยด ต่อส่วนผสม 200 มิลลิลิตร

เมื่อทดสอบประสิทธิภาพของ TH-ENV wax ต่อการยับยั้งการสุกงอมของตัวอย่างกล้วยพบว่า ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของทั้งค่าเฉลี่ย CO_2 และค่าเฉลี่ย C_2H_4 ที่ตัวอย่างกล้วยปลดปล่อยออกมาใน 1 ชั่วโมงในระยะการจัดเก็บทั้ง 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน ตัวอย่างกล้วยซึ่งเคลือบด้วย TH-ENV wax มีค่าเฉลี่ยของ CO_2 และค่าเฉลี่ยของ C_2H_4 ไม่แตกต่างกันกับตัวอย่างกล้วยซึ่งเคลือบด้วย commercial wax

และไม่แตกต่างกันกับตัวอย่างกล้วยซึ่งไม่เคลือบ wax (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ในด้านของการเปลี่ยนแปลงของสี (color) และลักษณะผิว (texture) ของเปลือกและความนิ่ม (softening) ของเนื้อผลไม้ผลการทดสอบ พบว่าเมื่อจัดเก็บตัวอย่างกล้วยไว้ 1 วัน ที่อุณหภูมิห้อง กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกปานกลาง มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกปานกลาง มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นปานกลาง กล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกน้อย มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกน้อยปานกลาง มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นน้อย ส่วนกล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกมาก มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกน้อย มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นปานกลาง และเมื่อจัดเก็บตัวอย่างกล้วยไว้ 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกปานกลาง มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกปานกลาง มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นปานกลาง กล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกปานกลาง มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกน้อย มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นน้อย ส่วนกล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกมาก มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกมาก มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นมากกล้วยตัวอย่างที่นำมาทำการทดลองเป็นกล้วยเครือเดียวกันที่ตัดเก็บจากต้นมาแล้ว 2 วัน เมื่อจัดเก็บไว้ 5 วันหลังจากกการเคลือบผิวเปลือกมีการเสื่อมสภาพ มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผิวเปลือกและการเพิ่มขึ้นของความนิ่มของเนื้อผลมากขึ้นในกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ส่วนกล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax ยังไม่เริ่มเสื่อมสภาพส่วนกล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax เริ่มเสื่อมสภาพในวันที่ 3 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax สามารถมีอายุการจัดเก็บได้ 7 วัน กล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax สามารถมีอายุการจัดเก็บได้มากกว่า 7 วัน และกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) สามารถมีอายุการจัดเก็บได้ 5 วัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนทุนสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณโครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย ในพระราชดำริฯ มูลนิธิชัยพัฒนา ที่ได้เอื้ออำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ขอขอบคุณบริษัท สมอทอง น้ำมันปาล์ม จำกัด ที่สนับสนุนตัวอย่างน้ำเสียสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และหน่วยงานอื่นๆ ในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่สนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ในการทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Abu-Ghunmi, L., Badawi, M. and Fayyad, M. 2014. Fate of Triton X-100 applications on water and soil environments: A Review. **Journal of Surfactants and Detergents** 17(5): 833-838.

Adhvaryu, A., Sung, C. and Erhan, S.Z. 2005. Fatty acids and antioxidant effects ongrease microstructures. **Industrial crops and products** 21: 285-291.

Ahmad, A., Ismail, S. and Bhatia, S. 2003. Absorption of residual oil from palm oil mill effluent using rubber powder. **Brazilian Journal of Chemical Engineering** 22(3): 371-379.

Barry, C.S. and Giovannoni, J.J. 2007. Ethylene and fruit ripening. **Journal of Plant Growth Regulation** 26: 143-159.

Ben-Yehoshua, S. 1969. Gas exchange, transportation, and the commercial deterioration in storage of orange fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 94: 524-8.

Camirand, W.M., Krochta, J.M., Pavlath, A.E., Wong, D. and Cole, M.E. 1992. Properties of some edible carbohydrate polymer coatings for potential use in osmotic dehydration. **Carbohydrate Polymer** 17: 39-49.

Chow, M.C. and Ho, C.C. 2002. Chemical composition of oil droplet from palm oil mill sludge. **Journal of Oil Palm Research** 14(1): 25-34.

Davila-Avina, J.E., Villa-Rodriguez, J.A., Villegas-Ochoa, M.A., Tortoledo-Ortiz, O., Olivas, G.I., Ayala-Zavala, J.F. and Gonzalez-Aguilar, G.A. 2014. Effect of edible coatings on bioactive compounds and antioxidant capacity of tomatoes at different maturity stages. **Journal of Food Science and Technology** 51(10): 2706-2712.

Fagundes, C., Palou, L., Monteiro, A.R. and Perez-Gago, M.B. 2015. Hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings formulated with antifungal food additives to reduce alternaria black spot and maintain postharvest quality of cold-stored cherry tomatoes. **Scientia Horticulturae** 193: 249-257.

FAO/WHO. 1989. **WHO Food Additives Series: 24, Toxicological Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants.** Cambridge University Press, Cambridge.

Gill, A.O. and Gill, C.O. 2005. Preservative packaging for meat, poultry and fin fish, pp. 204-226. *In* Han, J.H., ed. **Innovation in food packaging.** Plano, Texas.

Hagenmaier, R.D. and Baker, R.A. 1993. Reduction in gas exchange of citrus fruit by waxcoatings. **Journal Agriculture Food Chemistry** 41(2): 283-287.

Hall, D.J. 1981. Innovations in Citrus waxing-an overview. **Proceedings of The Florida State Horticultural Society** 94: 258-263.

Han, J.H. and Gennodios, A. 2014. Edible films and coating: A Review, pp. 213-241. *In* Han, J.H., ed. **Innovation in Food Packaging.** Elsevier science and technology books, Amsterdam.

Herianus, J.D., Singh, L.Z. and Tan, S.C. 2003. Aroma volatiles production during fruit ripening of 'Kensington Pride' mango. **Postharvest Biology and Technology** 27(3): 323-336.

Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Valle, V.D., Velez, D. and Gavara, R. 2008. Effect of chitosancoating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (Fragaria xananassa) quality during refrigerated storage. **Food Chemistry** 110: 428-435.

Mannheim, C.H. and Soffer, T. 1996. Permeability of different wax coatings and their effect on Citrus fruit quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 44(3): 919-923.

Mishra, B., Khatkar, B.S., Garg, M.K. and Wilson, L.A. 2009. Permeability of edible coatings. **Journal of Food Sciences and Technology** 47(1): 109-113.

Morillon, V., Debeaufort, F., Blond, G., Capelle, M. and Voilley, A. 2002. Factors affecting the moisturepermeability of lipid based edible films. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 42(1): 67-89.

Naviglio, D., Ferrara, L. and Gallo, M. 2014. Extraction and chracterization of free nonpolar lipid fraction of chocolate using a rapid analytical procedure. **European Scientific Journal** 2: 208-215.

National Academy of Sciences. 2014. **Dietary Reference Intakes (DRIs).** National Academies Press, Washington (DC).

Nur, M.M.A., Setyoningrum, T.M. and Budiaman, G.S. 2017. Potency of Botryococcusbraunii cultivated on palm oil mill effluent waste water as a source of biofuel. **Environmental Engineering Research** 22(4): 417-425.

Perez-Gago, M.B., Rojas, C. and DelRio, M. 2002. Effect of lipid type and amount of edible hydroxypropylmethylcellulose-lipid composite coatings used to protect postharvest quality of Mandarins cv. Fortune. **Journal of Food Science** 67(8): 2903-2910.

Pleanjai, S., Gheewala, S.H. and Garivait, S. 2007. Environmental evaluation of biodiesel Production from palm oil in a life cycle perspective. **Asian Journal of Energy Environment** 8(1-2): 15-32.

Peniston, Q.P. and Johnson, E. 1980. **Process for the manufacture of chitosan.** Available Source: https://patentimages.storage.googleapis.com/86/7b/e1/62512586670b36/US4195175.pdf, May 20, 2018.

Petchseechoung, W. 2017. **Palm Oil Industry: Thailand Industry Outlook2017-2019.** Available Source: https://www.krungsri.com/bank/getmedia/ac87c171-db74-442b-ae295b69572896ca/IO_Oil_Palm_2017_EN.aspx, May 20, 2018.

Pol, H., Dowson, P., Acton, P.N. and Ogale, A. 2002. Soy protein isolate/corn zein laminated films: transport and mechanical properties. **Journal of Food Science** 67(1): 212-217.

Pranoto, Y., Salokhe, V.M. and Rakshit, S.K. 2005. Physical and antibacterial properties of alginate-based edible film incorporated with garlic oil. **Food Research International** 38: 267-272.

Rickwood, D. and Graham, J.M. 2001. **Biological Centrifugation.** Bios scientific Pub Ltd., Oxford.

Robertson, G.L. 2009. **Food packaging: principle and practices (2nd ed).** CRCPress, New York.

Rytioja, J., Hilden, K., Yuzon, J., Hatakka, A., Vries, R.P.D. and Makela, M.R. 2014. Plant-polysaccharide-degrading enzymes

from basidiomycetes. **Microbiology and Molecular Biology Review** 78(4): 614-649.

Smock, R.M. 1940. Some additional effects of waxing apples. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 37: 448-52.

Stahl, T., Taschan, H. and Brun, H. 2011. Aluminium content of selected foods and food products. **Environmental Sciences Europe** 23(37): 1-11.

Valencia-Chamorro, S.A., Palou, L., Del-Rıo, M.A. and Perez-Gago, M.B. 2008. Inhibition of Penicilliumdigitatum and Penicilliumitalicumby hydroxypropyl methylcellulose-lipid edible composite films containing food additives with antifungal properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 56(23): 11270-11278.

Valero, D., Diaz-Mula, H.M., Zapata, P.J., Guillen, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S. and Serrano, M. 2013. Effects of alginate edible coating on preserving fruit quality in four plumcultivars during postharvest storage. **Postharvest Biology and Technology** 77: 1-6.

Van-Zutphen, J.M. and Wijbrans, R.A. 2011. LCA GHG emissions in production and Combustion of Malaysian palm oil biodiesel. **Journal of Oil Palm & The Environment** 2: 86-92.

Venkata, R.B., Samuel, L.A., Saradhi, M.P., Rao, B.N., Krishna, A.N.V., Sudhakar, M. and Radhakrishnan, T.M. 2012. Antibacterial, antioxidant activity and GC-MS analysis of Eupatorium odoratum. **Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research** 5(2): 99-106.

Verma, A. 2010. Effect of edible coating to extend the shelf-life of guava fruits. Masters thesis, College of Agriculture Jabalpur, India.

Vu, K.D., Hollingsworth, R.G., Leroux, E., Salmieri, S. and Lacroix, M. 2011. Development of edible bioactive coating based on modified chitosan for increasing the shelf life of strawberries. **Food Research International** 44: 198-203.

Warriner, K., Huber, A., Namvas, A., Fan, W. and Dinfield, K. 2009. Recent advance in microbial safety of fresh fruits and vegetables. **Advance in Food and Nutrition Resouce** 57: 155-208.

Yonemoto, Y., Higuchi, H. and Kitano, Y. 2002. Effects of storage temperature and wax coating on ethylene production, respiration and shelf-life in cherimoya fruit. **Engei Gakkai zasshi** 71(5): 643-650.