ประสิทธิภาพของไขเคลือบเปลือกผลไม้ที่ผลิตจากไขมันในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม (TH-ENV wax) ต่อการจัดเก็บกล้วยน้ำว้าหลังการเก็บเกี่ยว

Efficiency of Fruit Coating Wax from Palm Oil Industry's Wastewater Fat (TH-ENV wax) on Banana Fruits Preservation

จุฑามณี แสงสว่าง[1/] อรอนงค์ ผิวนิล[1,2/] เกษม จันทร์แก้ว[1,2/] ไพบูลย์ ประพฤติธรรม[1,2/] ศรันยา คุณะดิลก[3/]

Juthamanee Sangsawang[1/] Onanong Phewnil[1,2/] Kasem Chunkao[1,2/] Paiboon Prabuddham[1,2/] Sarunya Khunandilok[3/]

ABSTRACT

The objectives of this study were to: (1) observe microstructure of grease in palm oil industry's wastewater, (2) create the processes of separating and cleaning fat from grease by non-toxic solvent, (3) compare metallic contaminants in cleaned fat, crude fat and wastewater, (4) formulating the fruit coating wax (TH-ENV wax) from cleaned fat and (5) test the efficiency of TH-ENV wax on weight loss and sweetness increasing in banana. Twenty liters of palm oil industry's wastewater was collected from grease trapping. Microstructure observation showed that base oil surrounded metallic skeleton in grease molecule, molecular size was 0.8x1.1 m2. Crude fat was separated from grease of wastewater by mixing to 5% acetic acid then centrifuged at 3,000 rpm for 15 minutes.. The resulted suspension can be visually identified into 3 layers, fat layer on top, liquid layer in the middle and sludge layer at bottom. Fat was collected, cleaned and used as raw material for TH-ENV wax production. Metallic contaminants in the fat decreased after the separating and cleaning processes. TH-ENV wax is a bi-layered composite wax (fat/polysaccharides) composed of fat, Siam weed extracts, Tacca's starch in water (3:1), chitosan and water at 30, 5, 10, 5, 50 % v/v respectively. Triton X-100 was added as emulsifier when testing the TH-ENV wax on banana. Results showed that TH-ENV wax coated bananas' weight loss was signicantly less than unwaxed bananas on day 1 of storage and its sweetness increasing was significantly less at day 5 of storage.

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

[1/] ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[2/] โครงการวิจัยและพัฒนาแหลมผักเบี้ยในพระราชดำริฯ มูลนิธิชัยพัฒนา เพชรบุรี 76100

[3/] ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[1/] Department of Environmental Science, Faculty of Environment, Kasetsart University, Bangkok,

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

[3/] Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchuk, Bangkok, 10900

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะโมเลกุลของ grease ที่เกิดขึ้นในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม เพื่อพัฒนาเป็นสูตรไขเคลือบเปลือกผลไม้ (TH-ENV wax) โดยใช้ไขมันที่ทำความสะอาดแล้วเป็นวัตถุดิบ และทดสอบประสิทธิภาพของ TH-ENV wax ในการรักษาคุณภาพของกล้วยน้ำว้าหลังการเก็บเกี่ยว โดยนำตัวอย่างน้ำเสียจากถังดักไขมันของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม ปริมาณ 20 ล. แล้วนำตัวอย่าง grease ในน้ำเสียมาศึกษาลักษณะโมเลกุล พบว่า ส่วนที่เป็นไขมัน (base oil) จะอยู่ล้อมรอบแกนกลางที่เป็นโลหะ ขนาดโมเลกุลเท่ากับ 0.8x1.1 ตารางไมโครเมตร ทำการแยกไขมันออกจาก grease โดยนำน้ำเสียมาผสมกับกรดอะซิติก 5% ในอัตราส่วน น้ำเสีย: กรดอะซิติก เท่ากับ 3:1 แล้วนำมาหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที ส่วนผสมที่ถูกหมุนเหวี่ยงจะแยกตัวออกเป็น 3 ชั้น คือ ชั้นไขมัน (fat layer) ชั้นของเหลว (liquid layer) และชั้นตะกอน (sludge layer) จากนั้นเก็บส่วนไขมันชั้นบนสุดไปล้างทำความสะอาดโดยผสมกับน้ำเปล่าในอัตราส่วน ไขมัน : น้ำ เท่ากับ 1:1 และทำการหมุนเหวี่ยง 3 ครั้ง ใช้ความเร็ว 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที ได้ไขมันคิดเป็น 4.3 มล./น้ำเสีย 1 ล. ผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะด้วยเทคนิค AAS พบว่าปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อน มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานความปลอดภัย จึงนำไขมันที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดแล้ว มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต TH-ENV wax ซึ่งเป็นไขเคลือบประเภท bilayer composites (lipid/polysaccharide) ประกอบด้วยไขมัน 30% สารสกัดใบสาบเสือ 5% แป้งท้าวยายม่อม (3 ส่วนผสมน้ำ 1 ส่วน) 10% ไคโตซาน 50% น้ำ 50% โดยปริมาตร และเติม Triton X-100 จำนวน 10 หยดต่อปริมาตร TH-ENV wax 200 มล. จากนั้นนำ TH-ENV wax ที่พัฒนาได้มาทดสอบประสิทธิภาพในการเก็บรักษากล้วยน้ำว้าหลังการเก็บเกี่ยว โดยนำ TH-ENV wax มาเจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วน 1:1 เคลือบผิวเปลือกกล้วยด้วยวิธีการจุ่ม 2 ครั้ง และจัดเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง พบว่า กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการเคลือบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 เมื่อจัดเก็บไว้ 1 วัน และมีการเพิ่มขึ้นของค่าความหวานน้อยกว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการเคลือบอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อจัดเก็บไว้ 5 วัน กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax เริ่มเสื่อมสภาพโดยการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ลักษณะผิวเปลือก และความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 5 วัน ขณะที่กล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย TH-ENV wax เริ่มเสื่อมสภาพในวันที่ 3

คำสำคัญ: ปาล์ม น้ำเสีย ไขมัน ไขเคลือบเปลือกผลไม้ กล้วย

บทนำ

อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมีความสำคัญในระบบเศรษฐกิจ ระดับพื้นที่ปลูกพืชน้ำมันของโลก 5% เป็นพื้นที่ปลูกปาล์ม และมีปริมาณการผลิต 36% ของปริมาณการผลิตน้ำมันพืชของโลก (Petchseechoung, 2017) น้ำมันปาล์มถูกใช้เป็นน้ำมันปรุงอาหารและเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกอย่างกว้างขวาง ทำให้อุปสงค์ของน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นมาก เพื่อตอบสนองต่ออุปสงค์ที่เพิ่มขึ้นจึงเร่งเพิ่มปริมาณการผลิต ซึ่งเป็นเหตุให้ของเสียเพิ่มปริมาณขึ้นด้วย น้ำเสียเป็นของเสียหลักจากกระบวนการต่าง ๆ ในการผลิตน้ำมันปาล์ม

การผลิตน้ำมันปาล์มดิบปริมาณ 1 ตัน ก่อให้เกิดน้ำเสียปริมาณ 2.6-3.3 ลบ.ม. (Pleanjai *et al.*, 2004) น้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มมีลักษณะขุ่น สีน้ำตาล มีสารแขวนลอยด์และสารคอลลอยด์ละลายปนอยู่มาก มีองค์ประกอบซับซ้อน ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น ใยปาล์ม เศษผงฝุ่น โลหะ โลหะหนัก น้ำมัน และ grease เป็นต้น ไขมันที่มีอยู่ปริมาณมากในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มเป็นปัญหาอย่างมาก โดยจะลอยขึ้นมาบนผิวน้ำแล้วเกิดเป็นฟิล์มปิดกั้นระหว่างน้ำและอากาศ ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียขาดประสิทธิภาพ

grease ในน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม โมเลกุลมีโครงสร้างคล้ายฟองน้ำของน้ำมันพืชล้อมรอบแกนซึ่งเป็นโลหะ grease เป็นสารคอลลอยด์กึ่งเหลวกึ่งแข็ง (semi-silid colloid) ที่กระจายอยู่ในของเหลว ชนิดของ grease จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างขององค์ประกอบ โมเลกุลของ grease มีองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ ไขมัน หรือ base oil ที่มีกรดไขมัน (fatty acid) หลากหลายชนิด แกนกลางของโมเลกุล มี 3 ประเภท คือ metallic soap, organic thickener-clay (silica skeleton) และ non-soap thickener บางครั้งอาจเกิดเป็นแกนผสมของ soap-salt ก็ได้ และสารอื่น ๆ ที่ปะปนอยู่ในโมเลกุล grease (Adhvaryu *et al.* , 2005)

ไขมัน (fat) ที่เป็นส่วนประกอบของโมเลกุล grease ที่แยกได้จากน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการนำมาแปรสภาพใหม่เพื่อใช้ประโยชน์ (recycle) ตามหลักการ zero waste หรือการเปลี่ยนของเสียให้เป็นทรัพยากร ไม่เพียงแต่จะช่วยแก้ปัญหาของระบบบำบัดน้ำเสีย แต่ยังสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับของเสียได้ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำไขมันในน้ำเสียของโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มมาใช้ประโยชน์ยังมีไม่มากนัก พูนสุข (2550) ศึกษาวิจัยการนำไขมันจากบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีกรดไขมันอิสระเป็นองค์ประกอบสูงมาผสมกับน้ำมันปาล์มดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซล และ Chow *et al.* (2015) ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการแยกกลีเซอรีนจากน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มด้วยวิธี anaerobic co-digest ก่อนนำน้ำเสียไปผลิตไบโอดีเซล ในงานวิจัยนี้เป็นการนำไขมันที่แยกได้จาก grease ในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มมาใช้เป็นวัตถุดิบ ในการผลิตไขเคลือบเปลือกผลไม้ (TH-ENV wax) และศึกษาประสิทธิภาพไขเคลือบเปลือกผลไม้ต่อกล้วยน้ำว้าหลังการเก็บเกี่ยว

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัตถุดิบ

เก็บตัวอย่าง grease จากน้ำเสียในถังดักไขมันของโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มใน จ.สุราษฎร์ธานี โดยทางโรงงานเป็นผู้ดำเนินการเก็บน้ำเสีย เนื่องจากน้ำเสียในถังดักไขมันมีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 100 °ซ. ทำให้มีความเป็นเนื้อเดียวกัน และมีการเคลื่อนที่ไหลเข้าไหลออกตลอดเวลา จึงไม่มีการตกตะกอน

2. การศึกษาลักษณะโมเลกุลของ grease ด้วยเทคนิค Transmission Electron Microscopy (TEM)

เตรียมตัวอย่างไขมันที่ตักออกมาจากน้ำเสียประมาณ 1 ก. นำมาผสมกับตัวทำละลาย คือ hexane เล็กน้อย นำส่วนผสมที่ได้ปริมาณเล็กน้อยเติมลงบน copper microgrid ที่เคลือบด้วย carbon film จุ่มใน hexane เป็นเวลา 15 นาที อบที่อุณหภูมิ 30-40°ซ. เป็นเวลา 10 นาที

เพื่อระเหยตัวทำละลายออกและศึกษาตัวอย่างด้วยกล้อง Transmission Electron Microscope (TEM) รุ่น HT7700 Hitachi TEM at 120 kV

3. การแยกไขมันออกจาก grease ในน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มและการทำความสะอาดไขมัน

การแยกไขมันออกจาก grease ใช้เทคนิคการหมุนเหวี่ยง (centrifugation) เปรียบเทียบตัวทำละลายกรดอะซิตริก 5% กับน้ำเปล่า อัตราส่วนน้ำเสียต่อตัวทำละลาย เท่ากับ 1:1, 2:1 และ 3:1 ความเร็ว 500, 1,000, 1,500, 2,000, 2,500 และ 3,000 รอบ/วินาที เป็นเวลา 15 นาที ทำการทดลอง 5 ซ้ำ ให้คะแนนการแยกชั้นเป็น 0-5 คะแนน หาค่าเฉลี่ย แล้วนำค่าเฉลี่ยมาจัดระดับการแยกชั้นของ fat layer ด้วยแบบมาตรประมาณค่า (rating scale) ดัดแปลงมาจาก Fenwick and Parsons (2000) ดังนี้ “แยกชั้นดีมาก” (คะแนน 4.1-5.0) “แยกชั้นดี” (คะแนน 3.1-4.0) “แยกชั้นปานกลาง” (คะแนน 2.1-3.0) “แยกชั้นน้อย” (คะแนน 1.1-2.0) และ “แยกชั้นไม่ชัดเจน” (คะแนน 0.0-1.0) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนการแยกชั้น เลือกเงื่อนไขการหมุนเหวี่ยงที่มีคะแนนการแยกชั้นสูงที่สุด จากนั้นนำไขมันมาทำความสะอาดด้วยการหมุนเหวี่ยง จำนวน 3 ครั้ง โดยใช้อัตราส่วนไขมันต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 ด้วยวิธีการเดียวกันกับกระบวนการแยกไขมัน

4. การศึกษาการปนเปื้อนโลหะและโลหะหนักด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

เตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ด้วยวิธี wet digestion method ด้วยเครื่อง Gerhardt-Kjeldatherm เติม HNO_3: $HClO_4$(2:1) เป็น digestive agent ปริมาตร 10 มล. ลงในตัวอย่างน้ำเสีย ไขมันที่แยกได้ และไขมันที่ทำความสะอาดแล้วปริมาตรตัวอย่างละ 100 มล. ที่ผสมกับ HNO_3 เข้มข้น 5 มล. ไว้แล้ว ให้ความร้อนอย่างช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิ 180°ซ. สารละลายจะระเหยจนเหลือปริมาณเล็กน้อย เติม HNO_3 และ $HClO_4$ ให้ความร้อนจนเกิดควันข0อง $HClO_4$ ปริมาณมาก ทิ้งให้เย็นตัวและเจือจางด้วยน้ำ 50 มล. ต้มต่อไปเพื่อไล่สิ่งเจือปน จากนั้นนำตัวอย่างมาวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะ (Fe, Mn, Cu, Zn และ Al) ด้วยเทคนิค flame AAS (ดัดแปลงมาจาก APHA, 1999)

5. การพัฒนาสูตรไขเคลือบเปลือกผลไม้ TH-ENV wax

TH-ENV wax เป็น bilayer composites fruit coating wax ประเภท lipid/polysaccharides โดยใช้ ไขมันที่แยกได้จากน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม 30% และส่วนผสมอื่น ๆ ดังนี้ สารสกัดใบสาบเสือ 5% แป้งท้าวยายม่อม (แป้ง 3 ส่วนผสมน้ำ 1 ส่วน) 10% ไคโตซาน 50% น้ำ 50% โดยปริมาตร โดยเติมน้ำ 200 มล. ในบีกเกอร์ แล้วอุ่นด้วย water bath ที่อุณหภูมิ 40-60 °ซ. เติมน้ำผสมแป้งท้าวยายม่อม และไคโตซานลงในน้ำอุ่น คนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เติม Triron X-100 ลงไป 10 หยด คนให้ทั่วถึง เติมไขมันที่ทำความสะอาดแล้ว และสารสกัดจากใบสาบเสือ คนจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้น นำมาตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง เมื่อส่วนผสมเย็นตัวลงสามารถนำไปใช้เคลือบผิวผลไม้ได้โดยต้องเจือจางด้วยน้ำ ในอัตราส่วน 1:1 ก่อนใช้

6. การทดสอบประสิทธิภาพของ TH-ENV wax

นำกล้วยน้ำว้าแก่จัดจากเครือเดียวกัน

เก็บเกี่ยวจากต้นมาแล้ว 2 วัน โดยคัดเลือกกล้วยที่มีขนาดใกล้เคียงกันมาทำการทดลอง การเคลือบผิวเปลือกกล้วยด้วย coating wax ใช้วิธีการจุ่มกล้วยลงในสารเคลือบ แล้วผึ่งให้แห้ง จุ่มซ้ำ 2 ครั้ง TH-ENV wax ที่ใช้ในการทดลองนี้ผ่านการเจือจางด้วยน้ำเปล่าในอัตราส่วน 1:1 สำหรับ commercial wax ใช้ที่ระดับความเข้มข้นตามคำแนะนำของบริษัท จากนั้นจัดเรียงกล้วยตัวอย่างไว้ในตะกร้าพลาสติกเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง การวัดค่าการสูญเสียน้ำหนักใช้กล้วยคนละชุดกับการวัดค่าความหวาน เพราะการวัดค่าความหวานจะมีการทำให้กล้วยเกิดความเสียหาย

6.1 ศึกษาผลของ TH-ENV wax ต่อการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษา

แบ่งตัวอย่างกล้วยน้ำว้าเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 10 ผล กลุ่มที่ 1 เคลือบผิวเปลือกด้วย TH-ENV wax กลุ่มที่ 2 เคลือบด้วยน้ำยาเคลือบเปลือกผลไม้ในท้องตลาด (commercial wax) และกลุ่มที่ 3 ไม่ได้เคลือบผิวเปลือก (unwaxed) เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน ชั่งน้ำหนักหลังการจัดเก็บวันที่ 1 3 และ 5 โดยชั่งน้ำหนักซ้ำตัวอย่างเดิม

6.2 ศึกษาผลของ TH-ENV wax ต่อค่าความหวานของกล้วย

ตัวอย่างกล้วยน้ำว้า 3 กลุ่ม ๆ ละ 30 ผล กลุ่มที่ 1 เคลือบด้วย TH-ENV wax กลุ่มที่ 2 เคลือบด้วยน้ำยาเคลือบเปลือกผลไม้ที่ขายในท้องตลาด และกลุ่มที่ 3 ไม่เคลือบผิวเปลือก เก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง ทำการวัดค่าความหวานหลังการจัดเก็บวันที่ 1 3 และ 5 โดยวิธีการผ่าแล้วขูดเนื้อกล้วยบริเวณกึ่งกลางความยาวผล นำมาบีบเอาเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำไปวัดค่าความหวานด้วยเครื่อง refractometer (model ATAGO Master-M)

6.3 การศึกษาความพึงพอใจต่อกลิ่นของไขเคลือบเปลือกผลไม้

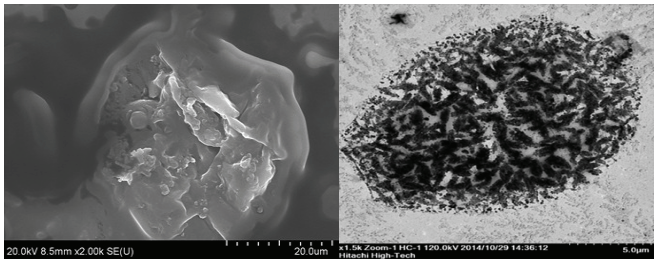
สุ่มตัวอย่างประชากรจำนวน 31 คน ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามเกี่ยวกับความพึงพอใจในกลิ่นของ TH-ENV wax เปรียบเทียบกับน้ำยาเคลือบเปลือกผลไม้ที่ขายในท้องตลาด โดยใช้แบบสำรวจความพึงพอใจที่มีการจัดระดับแบบ Likert scale ที่มีตัวเลือก 5 ระดับ ได้แก่ 1 (น้อยที่สุด) 2 (น้อย) 3 (ปานกลาง) 4 (มาก) และ 5 (มากที่สุด) ตามวิธีการของ ศิริวรรณ (2541)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ลักษณะโมเลกุลของ grease

โมเลกุล grease มีไขมันล้อมรอบแกนอนินทรีย์อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม กระจายทั่วไปในน้ำเสีย แต่ละกลุ่มมีขนาด รูปร่างและจำนวนโมเลกุลไม่เท่ากัน (Figure 1) โมเลกุลของ grease ประกอบด้วยแกนโลหะ (skeleton หรือ thickener) ส่วนที่เป็น base oil ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของหยดน้ำมัน และส่วนที่เป็นอนุภาคอื่น ๆ (Figure 2) เมื่อศึกษา grease ภายใต้กล้อง TEM จำนวน 30 โมเลกุล พบว่า ขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.8x1.1 ตารางไมโครเมตร ซึ่ง Couronne *et al.* (2003) กล่าวว่า โมเลกุล grease จำพวก lubricant greases มีเส้นผ่านศูนย์กลางโมเลกุลเท่ากับ 50-500 นาโนเมตร ซึ่ง grease จากน้ำเสียที่ทำการศึกษาในครั้งนี้มีขนาดใหญ่กว่า lubricant grease เพราะกระบวนการที่ไขมันหรือน้ำมันในน้ำเสียจับตัวกับแกนกลางโลหะนั้นเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ตามแรงการไหลของกระแสน้ำเสีย จึงไม่มีความละเอียดเท่ากับ lubricant grease ที่ผลิตขึ้นจากกระบวนการผลิตที่ประณีตกว่า Adhvaryu *et al.* (2005) กล่าวว่า grease เป็นสารกึ่งคอลลอยด์หรือคอลลอยด์ชนิดแข็ง

ที่มีองค์ประกอบเป็น base oil (น้ำมันแร่ น้ำมันสังเคราะห์ หรือน้ำมันพืช) ปริมาณ 60-95% มีแกนกลางเป็น metal soap ปริมาณ 5-25% และสารอื่น ๆ อีก 0-10% สมบัติทางกายภาพและเคมีของ grease ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของโมเลกุลเหล่านี้



(A) (B)

Figure 1 (A) Texture of grease from palm oil industrial wastewater (B) Some pattern of grease molecule in wastewater (FE-SEM, magnification of 2,000 and TEM, magnification of 1,500 respectively)

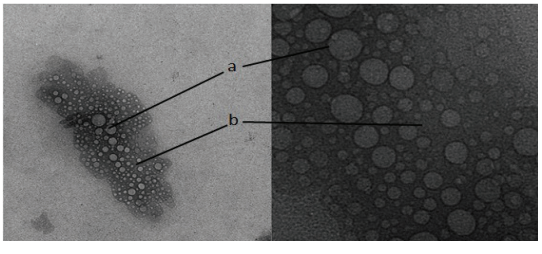
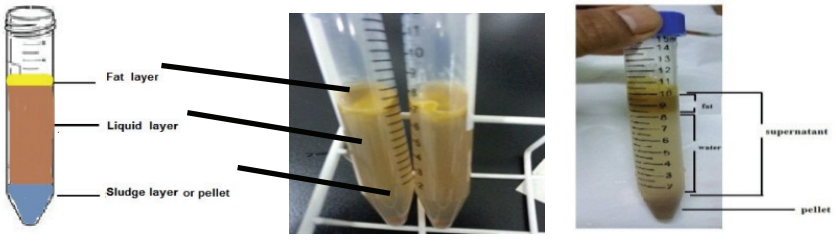


Figure 2 Oil droplets surrounded an inorganic skeleton in grease molecules: “a” as oil droplets and “b” as skeleton of grease molecules (TEM at the magnification of 30,000 and 120,000 times respectively)

2. การแยกและทำความสะอาดไขมันจากน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม

การแยกไขมันออกจาก grease ในน้ำเสียใช้การหมุนเหวี่ยงโดยมีอัตราส่วนระหว่างน้ำเสียต่อกรดอะซิติก 5% เท่ากับ 3:1 ความเร็ว 3,000 รอบ/วินาที เป็นเวลา 15 นาที ซึ่งมีค่าเฉลี่ยคะแนนการแยกชั้นสูงสุด (Table 1) เกิดการแยกตัวเป็นชั้นไขมัน (fat layer) ชั้นของเหลว (liquid layer) และชั้นตะกอน (sludge layer) (Figure 3A) รวบรวมไขมันมาทำความสะอาดโดยการหมุนเหวี่ยงในอัตราส่วนไขมันต่อน้ำเปล่า เท่ากับ 1:1 ความเร็ว 3,000 รอบ/วินาที เป็นเวลา 15 นาที จำนวน 3 ซ้ำ เกิดการแยกเป็น 3 ชั้น เช่นกัน เมื่อแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4°ซ. ไขมันสีเหลืองอ่อนจะลอยขึ้นรวมตัวอยู่ข้างบนสุดด้วยคุณสมบัติที่ไม่มีขั้วและไม่ละลายน้ำ (Figure 3B) ผลผลิตสุทธิของไขมันที่ทำความสะอาดแล้วเท่ากับ 4.26 มล./น้ำเสีย 1 ล. นำไขมันที่ทำความสะอาดแล้วออก

มาเป็นวัตถุดิบในการผลิต TH-ENV wax ซึ่ง Naviglio *et al.* (2014) กล่าวว่าไขมันในน้ำเสียสามารถล้างทำความสะอาดด้วยน้ำได้โดยการหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบสูงและตัวทำละลายอินทรีย์



(A) (B)

Figure 3 (A) The 3 layers resulted from palm oil industry's wastewater centrifugation (B) The 3 layers centrifuged fat with pure water after cooling at 4°C

Table 1 Comparison of average score of separating fat layer in each centrifuge condition

Rpm/ratio[1)]	Water	5% Acetic acid	Rpm/ratio[1)]	Water	5% Acetic acid	Rpm/ratio[1)]	Water	5% Acetic acid
500/ 1:1	0.0	0.0	1,500/ 1:1	0.39	1.17	2,500/ 1:1	0.52	1.60
500/ 2:1	2.0	0.0	1,500/ 2:1	0.35	0.45	2,500/ 2:1	0.49	0.93
500/ 3:1	0.0	0.0	1,500/ 3:1	0.44	0.90	2,500/ 3:1	0.55	1.13
1,000/ 1:1	0.0	0.0	2,000/ 1:1	0.37	1.53	3,000/ 1:1	0.53	1.97
1,000/ 2:1	0.0	0.0	2,000/ 2:1	0.47	0.86	3,000/ 2:1	0.58	2.13
1,000/ 3:1	0.0	0.0	2,000/ 3:1	0.40	0.83	3,000/ 3:1	0.54	2.14

Remark : N = 5

[1)] Ratio of wastewater : diluting agent

3. การปนเปื้อนโลหะ และโลหะหนัก

ไขมันที่แยกออกมาจากน้ำเสีย มีค่าการปนเปื้อนของเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และสังกะสี (Zn) ลดลงกว่าในน้ำเสียร้อยละ 11.5, 64.9 และ 63.0 ตามลำดับ แต่ทองแดง (Cu) และอะลูมิเนียม (Al) เพิ่มขึ้นกว่าในน้ำเสียร้อยละ 36.4 และ 267.0 ไขมันที่ทำความสะอาดแล้วมีค่าการปนเปื้อนของเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ลดลงจากในไขมันก่อนการทำความสะอาดร้อยละ 65.34, 67.99, 69.73 และ 25.64 ตามลำดับ ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในไขมันที่ทำความสะอาดแล้วมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานความปลอดภัยในการบริโภค (the Dietary Reference Intakes: DRIs) ที่กำหนดไว้โดย National Academy of Sciences (2001) (Table 2) ซึ่งปริมาณของ TH-ENV wax ที่ใช้ในการเคลือบเปลือกกล้วยด้วยวิธีการจุ่มชุบเป็นเพียงชั้นฟิล์มบาง ๆ และจะมีการปลอกเปลือกกล้วยทิ้งก่อนการบริโภค ส่วนอะลูมิเนียมจัดเป็นโลหะที่ไม่เป็นพิษ ค่ามาตรฐานความปลอดภัยของการได้รับอะลูมิเนียมทางการกินต่อสัปดาห์ มีค่าไม่เกิน 7.0 มล./1 กก. น้ำหนักตัวต่อสัปดาห์ (Stahl *et al.*, 2011) ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมขึ้นอยู่กับปริมาณ ระยะเวลา และวิธีการได้รับ การได้รับอะลูมิเนียมเพียงเล็กน้อยเข้าสู่ร่างกายโดยทางเดินอาหารจะถูกขับออกทั้งหมดทางอุจจาระและปัสสาวะอย่างรวดเร็ว (FAO/WHO, 1989)

Table 2 Metalic contaminants in cleaned fat compared to standards of MOPH and DRIs of National Academy of Sciences

Parameter	Concentration		Standard		Maximum TH-ENV wax intake (ml/day)	Toxicity[3]
	cleaned fat (mg/l)	TH-ENV wax (mg/l)	MOPH [1] (mg/kg.food)	(DRIs) [2] (mg/day)		
iron (Fe)	7.77	2.33	n.d.	7.00-27.00	3.00	
manganese (Mn)	1.37	0.41	n.d.	1.20-2.60	2.93	√
copper (Cu)	0.23	0.07	20	0.34-1.30	4.86	√
zink (Zn)	0.58	0.17	100	3.00-12.00	17.64	√
aluminium (Al)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	X

Remark: [1] Ministry of Public Health (1986)
[2] DRIs = Dietary Reference Intakes (National Academy of Sciences, 2001)
[3] Stahl *et al.* (2011)

4. การพัฒนาสูตรไขเคลือบเปลือกผลไม้ TH-ENV wax

ไขเคลือบเปลือกผลTH-ENV wax ที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาลเข้ม ละลายน้ำได้ดี เป็นไขเคลือบเปลือกผลไม้ แบบ composites ประเภท bilayer composites (lipid/polysaccharides) ที่ผสมกันระหว่างลิพิด คือ ไขมันที่แยกได้จาก grease ในน้ำเสียโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มกับสารกลุ่มโพลีแซคคาไรด์เป็นหลัก แผนภาพต่อไปนี้แสดงขั้นตอนการผลิต TH-ENV wax และการนำไปใช้ (Figure 5)

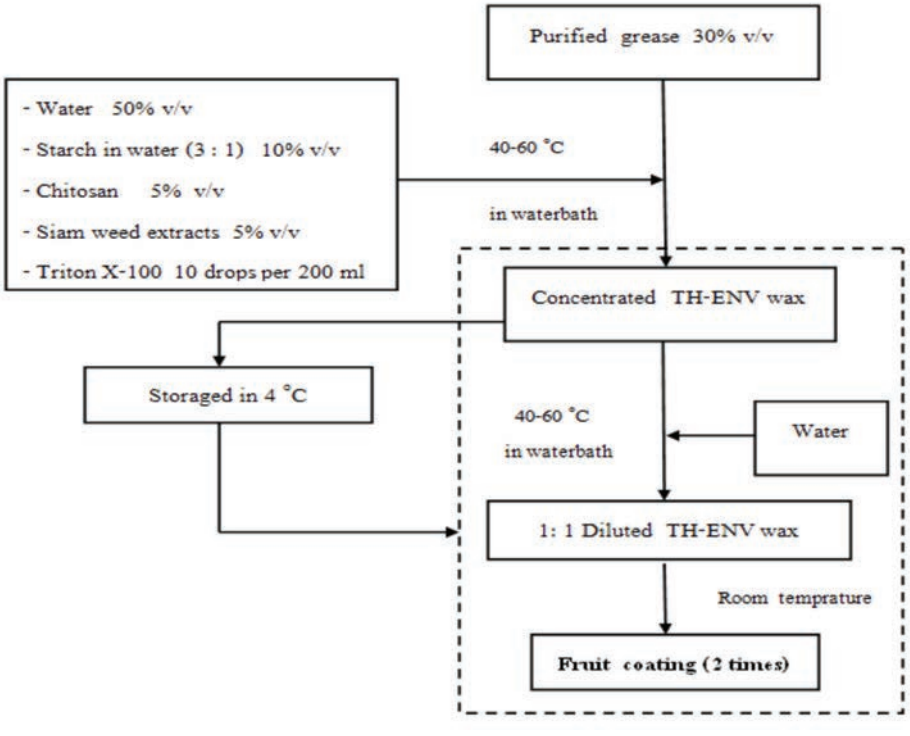


Figure 5 The flowchart of TH-ENV wax production

5. การทดสอบประสิทธิภาพของ TH-ENV wax ในการเก็บรักษากล้วยน้ำว้าหลังการเก็บเกี่ยว

5.1 ผลของ TH-ENV wax ต่อการสูญเสียน้ำหนัก (weight loss)

กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax ทั้งในวันที่ 1 3 และ 5 หลังการเคลือบ wax และกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกล้วยที่ไม่เคลือบผิวเปลือกในวันที่ 3 และ 5 หลังการเคลือบ wax แต่มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ากล้วยที่ไม่เคลือบผิวเปลือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ในวันที่ 1 หลังการเคลือบ (Table 3) การจัดเก็บหลังการเก็บเกี่ยว การสูญเสียน้ำหนักจะเกิดขึ้นกับผลไม้ที่ไม่เคลือบผิวเปลือกได้มากกว่า เพราะไขเคลือบจะช่วยป้องกันการแลกเปลี่ยนก๊าซและการสูญเสียน้ำซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการสูญเสียน้ำหนัก ผลไม้ประกอบด้วยน้ำ 80-90% ของน้ำหนักผล การเคลือบผิวเปลือกช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำได้ถึง 100% (Fonseca *et al*., 2000; Mohamed *et al.* 2013)

Table 3 Comparison of weight loss in TH-ENV wax coated, commercial wax coated and unwax banana by Independent T-Test

Day	Treatments	Mean	S.D.	T-value	Sig.
1	TH-ENV wax	2.03	0.86	2.126	0.048
	Commercial wax	3.42	1.87		
	TH-ENV wax	2.03	0.86	6.105	0.000*
	Control	7.31	2.59		
3	TH-ENV wax	6.51	2.90	0.691	0.498
	Commercial wax	5.79	1.59		
	TH-ENV wax	6.51	2.90	0.225	0.824
	Control	6.82	3.13		
5	TH-ENV wax	3.86	2.05	0.371	0.715
	Commercial wax	3.56	1.52		
	TH-ENV wax	3.86	2.05	1.172	0.257
	Control	4.88	1.83		

5.2 ผลของ TH-ENV wax ต่อค่าความหวาน (sweetness)

กล้วยที่เคลือบด้วย TH- ENV wax มีการเพิ่มขึ้นของค่าความหวานไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 กับกล้วยที่เคลือบด้วยน้ำยาเคลือบเปลือกผลไม้ทางการค้า ทั้งในวันที่ 1 3 และ 5 หลังการเคลือบ wax และกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการเพิ่มขึ้นของค่าความหวานไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกล้วยที่ไม่เคลือบผิวเปลือกในวันที่ 1 และ 3 หลังการเคลือบ wax แต่การเพิ่มขึ้นของค่าความหวานจะแตกต่าง ในวันที่ 5 หลังการเคลือบ wax (Table 4) Rajkuma and Mitali (2009) กล่าวว่า การเคลือบผิวเปลือกผลไม้เป็นการสร้างสภาวะเลือกผ่าน (semipermeable) ยับยั้งการลำเลียงสาร การหายใจ การเกิด oxidation และการสุกแก่ รวมทั้งการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล

Table 4 Comparison of increase in sweetness of TH-ENV wax coated, commercial wax coated and unwaxed banana by Independent T-Test

Day	Treatments	Mean	S.D.	T-value	Sig.
1	TH-ENV wax	13.15	6.92	0.567	0.578
	Commercial wax	14.91	6.95		
	TH-ENV wax	13.15	6.92	1.686	0.109
	Control	19.89	10.57		
3	TH-ENV wax	57.76	27.04	0.238	0.815
	Commercial wax	55.22	20.23		
	TH-ENV wax	57.76	27.04	0.013	0.975
	Control	57.45	15.87		
5	TH-ENV wax	26.56	7.63	0.412	0.685
	Commercial wax	28.66	14.20		
	TH-ENV wax	26.56	7.63	7.176	0.000*
	Control	57.89	11.53		

5.3 ความพึงพอใจต่อกลิ่นของ TH-ENV wax

ผลการเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อกลิ่นของ TH-ENV wax และ commercial wax พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อกลิ่นของ TH-ENV wax ในระดับสูง ระดับกลาง และระดับต่ำ คิดเป็นร้อยละ 71.0 16.1 และ 12.9 ขณะที่ผู้ทดสอบมีความพึงพอใจต่อกลิ่นของ commercial wax คิดเป็นร้อยละ 6.5 74.2 และ 19.4 ตามลำดับ (Table 5) เมื่อพิจารณาความพึงพอใจโดยแยกกลิ่นเป็นแบบกลิ่นโดยรวม กลิ่นสารเคมี และกลิ่นความเป็นธรรมชาติ พบว่า ในด้านความชอบต่อกลิ่นส่วนใหญ่ มีความชอบต่อกลิ่นของ TH-ENV wax ในระดับมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 12.9, 12.9, 41.9, 25.8 และ 6.5 ตามลำดับ ขณะที่ความชอบต่อกลิ่นของ commercial wax ในระดับน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 80.6 (Table 6) ส่วนใหญ่คิดว่ามีกลิ่นของสารเคมีใน TH-ENV wax ในระดับน้อย ร้อยละ 45.2 ขณะที่คิดว่ามีกลิ่นของสารเคมีใน commercial wax ในระดับมากร้อยละ 29.0 และพบว่าผู้ทดสอบส่วนใหญ่พึงพอใจกลิ่นความเป็นธรรมชาติใน TH-ENV wax ในระดับมากถึงร้อยละ 67.7 ขณะที่ไม่มีความพึงพอใจกลิ่นความเป็นธรรมชาติใน commercial wax ในระดับมากเลย (0%) ในปัจจุบันประชาชนให้ความสนใจต่อผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นอย่างมาก วัตถุดิบของไขเคลือบเปลือกผลไม้ที่กินได้ (edible coating) เป็นสูตรที่ปลอดภัยต่อสุขภาพผู้บริโภค

Table 5 Satisfaction of people on TH-ENV wax and commercial wax odour

Satisfaction	TH-ENV wax		Commercial wax	
	Number	%	Number	%
High level	22	71.0	2	6.5
Medium level	5	16.1	23	74.2
Low level	4	12.9	6	19.4

n = 31

Table 6 Satisfaction of people on TH-ENV wax and commercial wax odour in each issues

n = 31

Type	Satisfaction level*									
	TH-ENV wax					Commercial wax				
	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
Satisfactory odour	4 12.9%	4 12.9%	13 41.9%	8 25.8%	2 6.5%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	6 19.4%	25 80.6%
Chemically odour	1 3.2%	1 3.2%	9 29.0%	14 45.2%	6 19.4%	4 12.9%	9 29.0%	5 16.1%	6 19.4%	6 22.6%
Naturally odour	2 6.5%	21 67.7%	4 12.9%	1 3.2%	3 9.7%	0 0.0%	0 0.0%	5 16.1%	18 58.1%	8 25.8%

n = 31

Satisfaction level : 5 = Highest , 4 = High, 3 = Medium, 2 = low, 1 = Lowest

สรุปผลการทดลอง

ไขมันที่แยกได้จากน้ำเสียของโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มโดยวิธีการหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที ใช้กรดอะซิติก 5% ในอัตราส่วน 3:1 เพื่อให้เกิดการแยกไขมันออกจากน้ำเสีย สารที่ใช้ในการล้างทำความสะอาดไขมันที่เหมาะสมที่สุด คือ น้ำเปล่า โดยใช้กระบวนการหมุนเหวี่ยงแบบเดียวกับการแยก นำไขมันที่ทำความสะอาดแล้วมาผลิตเป็นไขเคลือบเปลือกผลไม้ (TH-ENV wax) ซึ่งเป็น edible coating wax และ TH-ENV wax มีประสิทธิภาพในการเก็บรักษากล้วยน้ำว้าได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับ commercial wax พบว่ากล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการเคลือบ เมื่อจัดเก็บไว้ 1 วัน และกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการเพิ่มขึ้นของค่าความหวานน้อยกว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการเคลือบ เมื่อจัดเก็บไว้ 5 วัน ในการจัดเก็บกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV จะเสื่อมภาพช้ากว่ากล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax ในด้านความพึงพอใจต่อกลิ่นโดยรวมของ TH-ENV wax ในระดับปานกลาง

คิดเป็นร้อยละ 41.9 มีความพึงพอใจต่อกลิ่นสารเคมีอยู่ในระดับน้อย ร้อยละ 45.2 และมีความพึงพอใจต่อกลิ่นที่เป็นธรรมชาติในระดับมากคิดเป็นร้อยละ 67.7 ขณะที่ความพึงพอใจต่อกลิ่นของน้ำยาเคลือบเปลือกผลไม้ในท้องตลาดโดยเฉพาะความเป็นธรรมชาติมีน้อยกว่า TH-ENV wax

เอกสารอ้างอิง

พูนสุข ประเสริฐสรรพ์. 2550. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบผสมและน้ำมันกรดจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่มีกรดไขมันอิสระสูงของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา. (บทคัดย่อ).

ศิริวรรณ เสรีรัตน์. 2541. พฤติกรรมผู้บริโภค. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

Adhvaryu, A., C. Sung and S.Z. Erhan. 2005. Fatty acids and antioxidant effects on grease microstructures. *Ind. Crops Prod.* 21: 285-291.

APHA. 1999. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, Water Environment Federation, Washington DC. 541 p.

Chow, W.L., Y.J.,Chan, M.F. Chong, and P.E. Poh, 2015. Co-digest studies of saleable glycerin with palm oil milling effluent and poultry manure. *JESTEC*. 10(Special 8): 17-26.

Couronne I., D. Mazuyer, P. Vergne, N. Trong-Dinh and D. Gorodin. 2003. Effects of grease composition and structure on lm thickness in rolling contact. *TribolT*.46(1): 31-36.

FAO/WHO. 1989. WHO Food Additives Series: 24, Toxicological Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. Cambridge University Press, Cambridge. 85 p.

Fenwick, T. and J. Parsons. 2000. *The art of evaluation: A handbook for educators and trainers*. Toronto, Ontario, Thompson Educational Publishing, Inc. 244 p.

Fonseca, S.C., F.A.R. Oliveira, I.B.M. Lino, J.K. Brecht and K.V. Chau. 2000. Modelling O2 and CO2 exchange for development of perforation-mediated modied atmosphere packaging. *J. Food Eng.* 43(1): 9-15.

Ministry of Public Health. 1986. Food Act B.E. 2522. Food and Drug Administration, Ministry of Public Health of Thailand, Nonthaburi. 1,395 p.

Mohamed, A. Y., H. E. Aboul-Anean and A. M. Hassan. 2013. Utilization of edible coating in the shelf life of minimally processed prickly pear. *J. Appl. Sci. Res.* 9(2): 1202-1208.

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

National Academy of Sciences. 2001. Dietary Reference Intakes (DRIs). National Academies Press, Washington (DC).8 p.

Petchseechoung, W. 2017. Palm Oil Industry. Thailand Industry Outlook 2017-2019. 1: 1-8.

Pleanjai, S., S.H. Gheewala and S. Garivait. 2004. Environmental evaluation of biodiesel Production from palm oil in a life cycle perspective. *AJEE*. 8(1-2): 15-32.

Rajkuma, P. and D. Mitali. 2009. Effect of different storage methods on nutritional quality of waterapple fruit (*syzygium javanical*). Bulg *J. Agric* Sci. 15(1): 41-46.

Stahl, T., H. Taschan and H. Brunn. 2011. Aluminium content of selected foods and food products. *Environ Sci Eur*. 23(37): 1-11.