รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

ความสัมพันธ์ของคุณภาพและปริมาณวัตถุดิบต่อคุณภาพและปริมาณของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม

Relation of Quality and Quantity of Raw Material to Quality and Quantity of Products in Palm Oil Extraction Industry

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร. ไพรัตน์ โสภโณดร
ดร.ถาวร จันทโชติ
อาจารย์นิรชรา บุญญานุวัตร
นางสาวฉัตรดาว คงเอียด

ทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา
ปีงบประมาณ 2552

บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาเรื่องความสัมพันธ์ของคุณภาพและปริมาณวัตถุดิบต่อคุณภาพและปริมาณของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม เพื่อให้สามารถจัดซื้อจัดหาวัตถุดิบที่เหมาะสม และลดความขัดแย้งระหว่างฝ่ายจัดซื้อวัตถุดิบกับฝ่ายผลิต เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพผลปาล์มดิบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสุกและปริมาณตามระดับชั้นของผลปาล์มสดต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้ พร้อมทั้งศึกษาแนวปฏิบัติในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มสด การศึกษาครั้งนี้กำหนดระดับความสุกของผลปาล์มสดเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ดิบ (A) ก่อนสุก (B) สุก (C) และเน่า (D) ออกแบบชุดการทดลองแบบผสม 4 กลุ่มคือ ระดับความสุกชนิดเดียว ระดับความสุกร่วม 2 ระดับ ระดับความสุกร่วม 3 ระดับ และระดับความสุกร่วม 4 ระดับ ผลการศึกษาพบว่า ผลปาล์มน้ำมันทุกระดับความสุกมีน้ำหนักทะลายเปล่าอยู่ในช่วงร้อยละ 15-22 และผลปาล์มน้ำมันที่มีระดับความสุกพอดีมีน้ำหนักทะลายเปล่าน้อยที่สุด เมื่อผ่านการนึ่งมีน้ำหนักผลปาล์มนึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 76-84 ของน้ำหนักทะลายปาล์มสด และมีเนื้อปาล์มนึ่งจากผลปาล์มที่มีความสุกทั้ง 4 ระดับเท่ากับ ร้อยละ 50.06, 56.22, 62.71และ 47.64 ของน้ำหนักทะลายปาล์มสด ตามลำดับ เมื่อทำการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน พบว่าเมื่อระดับความสุกของปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบเพิ่มขึ้น แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ปาล์มระดับเน่าซึ่งมีค่าระหว่างร้อยละ 38.96-39.93 โดยน้ำหนักแห้งของทะลายปาล์ม การใช้สัดส่วนของผลปาล์มที่มีระดับความสุกแตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อใช้ผลปาล์มระดับสุก (C) ผสมกับระดับ ดิบ (A) ก่อนสุก (B) และเน่า (D) จะให้ปริมาณน้ำมันมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 59.56, 50.28 53.82 และ 48.01 โดยน้ำหนักแห้งสำหรับตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง และเท่ากับร้อยละ 61.90, 49.71, 53.57 และ 52.20 โดยน้ำหนักแห้งสำหรับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ ส่วนการใช้ผลปาล์มผสมจากสามระดับความสุก พบว่า ชุดการทดลองที่ผสมระหว่างปาล์มดิบ (A) ก่อนสุก (B) และสุก (C) ให้ปริมาณน้ำมันสูงสุดมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 52.99 โดยน้ำหนักแห้งสำหรับตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง และเท่ากับ ร้อยละ 54.77 โดยน้ำหนักแห้งสำหรับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้ง การศึกษาผลของการอบแห้งเนื้อปาล์มนึ่งก่อนการสกัดน้ำมัน พบว่าปริมาณผลผลิตน้ำมันปาล์มลดลง อาจเนื่องจากการสูญเสียระหว่างการให้ความร้อน ส่วนผลของระดับความสุกของผลปาล์มต่อปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ พบว่า กรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้จากทุกชุดการทดลอง มีค่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ คือน้อยกว่าร้อยละ 5 เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของระดับความสุกและปริมาณของผลปาล์มสดต่อปริมาณของน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่าปัจจัยที่ศึกษาคือระดับความสุกและปริมาณของผลปาล์มแสดงผลต่อผลผลิตในรูปของสมการ Yield= 11.66A+13.38B+15.20C+12.87D (เมื่อ A-D แทนน้ำหนักของเนื้อปาล์มที่มีความสุกระดับ A-D) หลังจากการทดลองเพื่อยืนยันผลการประเมินโดยโปรแกรมสำเร็จรูปจำนวน 10 แบบ พบว่าปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับที่ได้จากการประเมิน และเมื่อคำนวณต้นทุนวัตถุดิบทะลายปาล์มสดภายใต้ราคาทะลายปาล์มในปี พ.ศ. 2554 จากเงื่อนไขที่คัดเลือกทั้ง 10 แบบพบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 4,558 – 4,821 บาทต่อตัน

ABSTRACT

Research and development on the relation of oil palm ripeness i.e. un-ripe (A), under-ripe (B), ripe (C) and over-ripe (D) and quantities of oil palm on crude oil yield were studied to overcome the problem in procurement of raw material for crude palm oil extraction. The experiments were designed to use one, two, three and four combinations of oil palm ripeness. It was found that fresh fruit bunch of all ripeness consist of empty bunch in the range of 15-22 % w/w and the ripe stage (C) had the lowest empty bunch weight. After steaming, the steamed fruits revealed about 76-84 % w/w of fresh fruit bunch. The steamed mesocarp of un-ripe (A), under-ripe (B), ripe (C) and over-ripe (D) were 50.06, 56.22, 62.71 and 47.64 % w/w of fresh fruit bunch, respectively. After crude oil extraction using hexane, it showed that the amount of extracted oil increased when ripeness increased, but decreased when the over-ripe stage was used showing only 38.96-39.93 % dry basis of FFB. Combinations of different ripeness with different ratio resulted in significantly difference oil yield ($p<0.05$). Using only the ripe stage (C) and mixed with un-ripe (A), under- ripe (B) and over-ripe (D) resulted in oil yield of 59.56, 50.28, 54.15 and 47.97 % dry basis of dried samples and 61.90, 49.71, 53.57 และ 52.20 97 % dry basis of undried samples, respectively. In the case of three different ripenesses, the mixture of un-ripe, under-ripe and ripe gave the highest extracted oil of 52.99 % dry basis of dried samples and of 54.77 % dry basis of undried samples. It was also found that drying of steamed mesocarp before oil extraction resulted in reducing the extracted oil yield due to the effect of heat. Effect of oil palm ripeness on the free fatty acid content in the extracted crude palm oil from different ripeness combinations showed that all treatments had free fatty acid under the standard level (<5%). The mathematical relation of ripeness and quantities on crude oil yield was analyzed using Design Expert software showing the optimum equation Yield= 11.66A+13.38B+15.20C+12.87D (when A-D represent weight of different palm ripeness from A-D). After running the confirmed experiment for 10 combinations, it was found that the extracted crude oil yields were related to the value from the software. The cost of the 10 recommended combinations based on the price in 2011 was 4,558 to 4,821 Baht/ton of fresh fruit bunch.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและพัฒนาเรื่อง "ความสัมพันธ์ของคุณภาพและปริมาณวัตถุดิบต่อคุณภาพและปริมาณของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม" เป็นโครงการวิจัยและพัฒนาภาครัฐร่วมกับเอกชนในเชิงพาณิชย์ ที่ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2552 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย แม้ว่าจะมีปัญหาและอุปสรรคในการอนุมัติโครงการอยู่บ้าง ทำให้การดำเนินการวิจัยมีความล่าช้า แต่ก็สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีด้วยความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจากหลายฝ่ายด้วยกัน ได้แก่ สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และผู้ประกอบการโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

ขอขอบพระคุณ คุณสิทธิพงศ์ หงส์ศิลาทอง ผู้จัดการทั่วไป บริษัท นามหงส์น้ำมันปาล์ม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เข้าร่วมโครงการ สนับสนุนวัตถุดิบและสถานที่ในการศึกษาวิจัย ขอขอบคุณนักศึกษาบัณฑิตศึกษาสาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร และบุคลากร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คณะผู้วิจัย

กุมภาพันธ์ 2556

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่	
1. บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ตรวจเอกสาร	2
2. วิธีการวิจัย	
1. การศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม	14
2. การศึกษาผลของระดับความสุกและปริมาณของผลปาล์มสดต่อปริมาณผลผลิตและกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบ	15
3. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของระดับความสุกและปริมาณของผลปาล์มสดต่อปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้	16
4. การคำนวณต้นทุนทะลายปาล์มดิบ	16
3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	
1. ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา	17
2. ผลของระดับความสุกของผลปาล์มสดต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบ	20
3. ผลของระดับความสุกของผลปาล์มสดต่อปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบ	30
4. ความสัมพันธ์ของระดับความสุกปละปริมาณของผลปาล์มสดต่อปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ	33
5. การคำนวณต้นทุนวัตถุดิบทะลายปาล์ม	36
4. สรุปผลการวิจัย	39
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก	
ก. รายละเอียดขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	44
ข. การคำนวณปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ	49

ค. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสมดุลมวลเนื้อปาล์มนึ่งจากทะลายปาล์มสด 70
ง. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำมันปาล์มดิบ วัตถุดิบจากสวนที่ 1 71
จ. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำมันปาล์มดิบ วัตถุดิบจากสวนที่ 2 75
ฉ. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำมันปาล์มดิบ วัตถุดิบรวมสวน 79
ช. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณกรดไขมันอิสระ 83
ซ. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำมันปาล์มดิบชุดการทดลองที่ใช้ยืนยันผล 84
ฌ. รายละเอียดการใช้โปรแกรม Design Expert 85

สารบัญตาราง

Table		Page
1.	Characteristic of three different oil palm types	4
2.	Classification of oil palm ripeness used in this study	14
3.	Combination of different ripeness of oil palm for crude palm oil extraction	16
4.	Yield of crude oil palm of the case study factory during October 2009–April 2010....	18
5.	Mass balance of steamed oil palm from fresh fruit bunch	20
6.	Crude palm oil yield from different combination of fruit ripeness (Orchard 1).....	22
7.	Crude palm oil yield from different combination of fruit ripeness (Orchard 2).....	26
8.	Free fatty acid of crude palm oil extracted from different ripeness.....	32
9.	Output from ANOVA analysis* showing equation for yield of crude palm oil	34
10.	The numerical solution for maximum crude palm oil.....	35
11.	Yield of crude oil from the selected ripeness combination.....	36
12.	Cost of raw material for crude palm oil extraction.....	37
A1.	Crude palm oil yield from dried mesocarp of different ripeness fruit from orchard 1.	50
A2.	Crude palm oil yield from undried mesocarp of different ripeness fruit from orchard 1.	53
A3.	Crude palm oil yield from dried mesocarp of different ripeness fruit from orchard 2.	56
A4.	Crude palm oil yield from undried mesocarp of different ripeness fruit from orchard 2.	59
A5.	Crude palm oil yield from dried mesocarp of different ripeness fruit from combined orchards.....	62
A6.	Crude palm oil yield from dried mesocarp of different ripeness fruit from combined orchards.....	67

A7. ANOVA of mass balance of steamed mesocarp from fresh fruit bunch..... 70

A8. ANOVA of crude palm oil yield extracted from dried mesocarp of different ripeness from orchard 1..... 71

A9. ANOVA of crude palm oil yield extracted from undried mesocarp of different ripeness from orchard 1..... 73

A10. ANOVA of crude palm oil yield extracted from dried mesocarp of different ripeness from orchard 2..... 75

A11. ANOVA of crude palm oil yield extracted from undried mesocarp of different ripeness from orchard 2..... 77

A12. ANOVA of crude palm oil yield extracted from dried mesocarp of different ripeness from combined orchards..... 79

A13. ANOVA of crude palm oil yield extracted from undried mesocarp of different ripeness from combined orchards 81

A14. ANOVA of free fatty acid of crude palm oil extracted from dried mesocarp of different ripeness from combined orchards 83

A15. ANOVA of crude palm oil yield extracted from the selected ripeness combination..... 84

สารบัญภาพ

Figure		Page
1.	Component of oil palm fruit	3
2.	Cross section appearance of three different oil palm type.....	4
3.	The color difference of oil palm bunch.....	5
4.	System of oil palm extraction of Thailand	5
5.	Flow diagram of palm oil extraction	19
6.	Crude palm oil yields extracted from dried mesocarp (a) and undried mesocap (b) from combined orchards	29
7.	Data of crude palm oil yield extracted from different ripeness combination	33

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปาล์มน้ำ มันเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศและของโลก ให้ผลผลิตหลักคือน้ำมันต่อไร่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันอื่น มีรายงานพบว่าพื้นที่ปลูกในภาคใต้ของประเทศไทยที่มากที่สุดคือ จังหวัดกระบี่ มีพื้นที่ให้ผลปาล์มน้ำมัน 3.64 ล้านไร่ ผลผลิต 9.03 ล้านตัน ผลผลิตน้ำมันปาล์มสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งสินค้าอุปโภคและบริโภค ทั้งจากกระบวนการแปรรูปโดยตรงและนำไปเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เนยเทียม น้ำมันปรุงอาหาร มาการีน ครีมเทียม เนยขาว นมข้นหวาน สบู่ เครื่องสำอาง เป็นต้น ทั้งยังสามารถนำไปใช้ผลิตเป็นน้ำมันชื้อเพลิงในรูปแบบ ไบโอดีเซล เพื่อทดแทนเป็นพลังงานทางเลือกอีกด้วย อีกทั้งปาล์มน้ำมันยังเป็นพืชที่มีศักยภาพในการแข่งขันสูงกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ ทั้งด้านการผลิต และการตลาด โดยมีแนวโน้มความต้องการใช้น้ำมันปาล์มเพื่อบริโภคภายในประเทศเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 18.71 ต่อปี (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2554)

อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันของไทยมีผู้เกี่ยวข้องเชื่อมโยงกัน 3 ฝ่าย คือ เกษตรกรชาวสวนปาล์ม (ผลิตวัตถุดิบทะลายปาล์มน้ำมัน) โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (อุตสาหกรรมกลางน้ำ) และโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (อุตสาหกรรมปลายน้ำ) ซึ่งเป็นแหล่งใหญ่ของการแปรรูปน้ำมันปาล์มเพื่อการบริโภคและอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ แต่สถานการณ์การผลิตปาล์มน้ำมันของประเทศไทยยังไม่สามารถแข่งขันกับประเทศผู้ผลิตที่สำคัญอื่น เช่น มาเลเซีย และอินโดนีเซีย เนื่องจากต้นทุนการผลิตของไทยสูงกว่า ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ต่ำกว่า และปริมาณผลปาล์มสดของประเทศไทยแต่ละฤดูกาลไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผู้ประกอบการไม่สามารถวางแผนการผลิตได้อาจเนื่องมาจากคุณภาพวัตถุดิบที่แตกต่างกัน นอกจากนี้เกษตรกรยังขาดความรู้เรื่องการจัดการสวนปาล์ม และการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์ม ทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพต่ำ เมื่อนำส่งไปยังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยสูงขึ้น ปัจจุบันราคาผลปาล์มทะลายน้ำมันมีแนวโน้มสูงขึ้นซึ่งในปี 2554 ทะลายผลปาล์มสดในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนพฤษภาคม มีราคาเฉลี่ย 7.03 บาทต่อกิโลกรัม (สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร, 2554) แต่ผู้ประกอบการอาจต้องซื้อวัตถุดิบในราคาที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ระดับชั้นคุณภาพ ช่วงฤดูกาล ความผันผวนของความต้องการ เป็นต้น ทำให้บางเวลาไม่สามารถจัดหาวัตถุดิบที่มีคุณภาพตามต้องการในราคาที่เหมาะสมได้ นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันของไทยมีน้อยกว่าประเทศมาเลเซีย โดยมีปริมาณการสกัดน้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วงร้อยละ 14-16 โดยน้ำหนักของผลปาล์มน้ำมันดิบ ในขณะที่ประเทศมาเลเซียสามารถสกัดน้ำมันปาล์มดิบได้ร้อยละ 17-19 (พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, 2549) ซึ่งอาจเนื่องมาจากคุณภาพวัตถุดิบที่แตกต่างกัน

ปัญหาอีกประการหนึ่งที่มักพบในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ คือการเกิดข้อโต้แย้งกันระหว่างพนักงานฝ่ายจัดซื้อ กับฝ่ายผลิต ที่มักได้รับทะลายปาล์มสดที่มีระดับชั้นคุณภาพที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่แน่นอน หรือบางครั้งอาจทำให้เสียค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้นจึงมีความต้องการองค์ความรู้หรือข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ของความสัมพันธ์ของคุณภาพและปริมาณของวัตถุดิบผลปาล์มสดที่มีระดับความสุกแตกต่างกัน ต่อคุณภาพและปริมาณของน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อเป็นแนวทางแก่เกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมันได้นำความรู้ไปใช้ปฏิบัติในการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มสด และโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบสามารถนำไปวางแผนการจัดการและจัดหาวัตถุดิบที่เหมาะสม มีประสิทธิภาพ และใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มผลผลิตเชิงพาณิชย์ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของระดับความสุกของผลปาล์มต่อปริมาณและผลผลิตและกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบ
2. เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของระดับความสุกของผลปาล์มกับปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ
3. เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบทะลายปาล์มสด อันจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสุกของผลปาล์มสดต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้ในรูปของสมการความสัมพันธ์
2. แนวทางการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา และการผสมวัตถุดิบทะลายปาล์มสดที่แตกต่างกันที่ส่งผลต่อคุณภาพและปริมาณผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบ
3. แนวปฏิบัติและการจัดการในการจัดซื้อวัตถุดิบที่เหมาะสมตามระดับคุณภาพของผลปาล์มสดก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต

การตรวจเอกสาร

ปาล์มน้ำมัน

ป าล์มน้ำมันที่พบทั่วไปมีมากมายหลายชนิด แต่ที่ปลูกเป็นการค้าเป็นปาล์มน้ำมันที่มีถิ่นกำเนิดจากแอฟริกา ต่อมามีการขยายตัวมาถึงประเทศอินโดนีเซีย และมาเลเซีย และเริ่มเข้าสู่ประเทศไทยโดยการนำมาปลูกเป็นปาล์มประดับครั้งแรกโดยพระยาประดิพัทธ์ภูบาล ปาล์มน้ำมันเป็นพืชผสมข้าม ใบเลี้ยงเดี่ยว จัดอยู่ในวงศ์ปาล์ม (family: Palmae หรือ Arecaceae) และในสกุล (genus) Elaeis มีชื่อทางวิทยาศาสตร์เรียกว่า *Elaeis guineensis Jacq.* สามารถให้ผลผลิตทะลายปาล์มสดได้ตลอดปี หลังจากมีอายุได้ 2 ปีครึ่ง โดยเฉลี่ยแต่ละต้นควรให้ทะลายได้อย่างน้อยหนึ่งทะลายต่อเดือน และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตทะลายปาล์มได้นานกว่า 25 ปี มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์สรุปได้ดังนี้ (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ, 2548; พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, 2549)

ราก ปาล์มน้ำมันมีระบบรากแบบรากฝอย ประกอบด้วยรากชุดต่างๆ ประมาณ 4 ชุด รากชุดแรกอยู่ในระดับแนวนอนยาว 3-4 เมตรจากต้น และในแนวดิ่งยาว 1-2 เมตรจากผิวดิน ส่วนรากชุดที่สอง สาม และสี่ จะเกิดเรียงตามลำดับ โดยทั่วไปรากจะเกิดมากและสามารถดูดซับน้ำ และธาตุอาหารที่ปาล์มน้ำมันใช้ประโยชน์ที่ระดับความลึกประมาณ 30-50 เซนติเมตรจากผิวดิน

ลำต้น เป็นลำต้นเดี่ยวตั้งตรง ไม่มีกิ่งแขนง ประกอบด้วยข้อและปล้องถี่มาก แต่ละข้อมีทางใบเกิดเวียนรอบลำต้น ปาล์มที่มีอายุน้อยกว่า 3 ปีจะสังเกตเห็นทางใบติดอยู่กับลำต้นมากกว่า 40 ทางใบ แต่เมื่อเริ่มมีการตัดแต่งทางใบ จะสังเกตเห็นทางใบที่เป็นรอยตัดแต่งติดอยู่รอบๆ ลำต้น ต้นปาล์มที่มีอายุมากกว่า 20 ปี อาจมีความสูงถึง 15-18 เมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น 45-60 เซนติเมตร

ใบหรือทางใบ ประกอบด้วย แกนทางใบ ก้านใบ และใบย่อย ทางใบจะเกิดลักษณะเป็นเกลียวรอบลำต้นโดยลักษณะการเวียนของทางใบปาล์มน้ำมันมี 2 แบบ คือ การเกิดทางใบแบบเวียนซ้าย และการเกิดทางใบแบบเวียนขวา การประมาณอายุของปาล์มน้ำมันหลังจากปลูกสามารถสังเกตได้จากรอยแผลที่ฐานใบติดกับลำต้นหลังการตัดแต่ง โดยประมาณว่าชั้นทางใบจำนวน 3-4 ชั้น ใช้เวลาประมาณ 1 ปี

ช่อดอก ช่อดอกปาล์มน้ำมันเกิดจากตาดอกที่บริเวณซอกทางใบที่ติดกับต้น ตาดอกอาจพัฒนาเป็นช่อดอกตัวเมียหรือช่อดอกตัวผู้ ดังนั้นปาล์มน้ำมันจึงมีทั้งช่อดอกตัวเมียและช่อดอกตัวผู้อยู่บนต้นเดียวกัน แต่เกิดในตำแหน่งของทางใบที่ต่างกัน การพัฒนาของช่อดอกตั้งแต่ระยะตาดอกที่อยู่ในซอกทางใบจนถึงระยะเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มได้ ใช้ระยะเวลาประมาณ 3 ปี

ผลและเมล็ด หลังจากที่ช่อดอกตัวเมียได้รับการผสมเรียบร้อยแล้ว ประมาณ 5.5 – 8 เดือน ผลปาล์มในทะลายจึงจะสุกพร้อมเก็บเกี่ยวได้ เรียกว่าทะลายปาล์มน้ำมัน ปาล์มน้ำมันทั้งทะลายประกอบด้วยผลปาล์มและในผลปาล์มน้ำมันมีชั้นของเมล็ดอีกทีหนึ่ง โดยเมื่อผลปาล์มสุกสีของผลปาล์มจะค่อยๆเปลี่ยนจากสีดำเป็นสีส้มแดง ผลปาล์มเป็นพวกที่มีเมล็ดในแข็ง (drupe) ประกอบด้วยชั้นผิวเปลือก (exocarp) เปลือกชั้นกลางหรือเนื้อปาล์ม(mesocarp) และเปลือกชั้นในหรือกะลา (shell หรือ endosperm) ชั้นเปลือกนอกจะมีสีแตกต่างกัน ดังแสดงใน Figure 3 ซึ่งเป็นผลมาจากสารพวกแอนโทไซยานินและสารพวกแคโรทีน ที่สามารถถ่ายทอดได้ทางพันธุกรรม

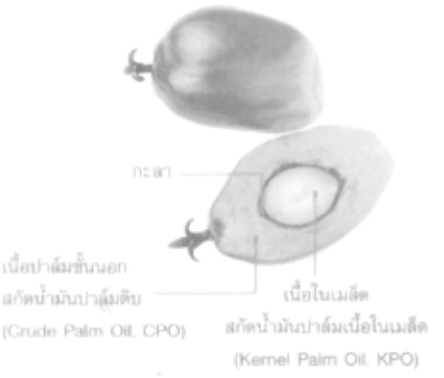


Figure 1 Component of oil palm fruit

ที่มา : ดัดแปลงจาก ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ (2546)

พันธุ์ปาล์มน้ำมันที่ใช้ปลูกเป็นทางการค้า คือ *Elaeis guineensis Jacq.* โดยพันธุ์ของปาล์มน้ำมันชนิดนี้สามารถจำแนกออกได้ 3 แบบ (type) โดยอาศัยความแตกต่างของลักษณะความหนาของกะลา (shell) ดังแสดงใน Figure 2 และ Table 1

1.1 ดูรา (Dura) มีกะลาหนาปานกลาง 2-8 มิลลิเมตร ไม่มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลา ให้น้ำมันต่อทะลายประมาณร้อยละ 18-19.5 ปัจจุบันใช้เป็นแม่พันธุ์สำหรับผลิตลูกผสม เทเนอรา

1.2 พิสิเฟอรา (Pisifera) มีผลขนาดเล็กและให้ผลผลิตต่ำ แต่มีลักษณะกะลาบาง ปัจจุบันใช้เป็นพ่อพันธุ์สำหรับผลิตพันธุ์ปาล์มน้ำมันลูกผสม

1.3 เทเนอรา (Tenera) เป็นพันธุ์ผสมระหว่าง พันธุ์แม่ดูรากับพันธุ์พ่อพิสิเฟอราเป็นพันธุ์ที่มีเปลือกสำหรับสกัดน้ำมันมาก เนื้อหนามีกะลาบาง ให้เปอร์เซ็นต์น้ำมันมาก และมีน้ำมันทั้งทะลายประมาณร้อยละ 22-25

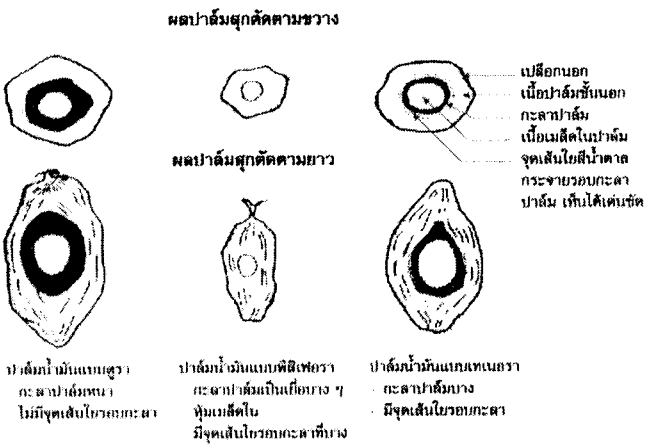


Figure 2 Cross section appearance of three different oil palm types

ที่มา: ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ (2546)

Table 1 Characteristic of three different oil palm types

Type	Thickness of shell(mm)	Fiber ring surrounding nut	mesocarp(%)
Dura	2-8	Not found	30-70
Tenera	0.5-4	Have	60-95
Pisifera	Shell less	Have	>90

ที่มา: ดัดแปลงจาก ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ (2546)

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีความแปรปรวนของลักษณะรูปร่างได้เสมอ อาจเป็นเพราะสภาพแวดล้อมที่ปลูกหรือลักษณะแตกต่างทางพันธุกรรมของปาล์มน้ำมัน โดยแบ่งตามสีของเปลือกชั้นนอกออกเป็น 2 สี (Figure 3) (Corley *et al.*, 1976)

1. Virescens type มีเปลือกนอกสีเขียว เมื่อสุกจะเป็นสีส้มแดง และจุกมีสีเขียว

2. Nigrescens type มีสีน้ำตาลดำในขณะยังอ่อนอยู่ และเมื่อสุกจะเป็นสีแดง แต่จุกจะมีสีน้ำตาลดำเหมือนเดิม

Figure 3 The color difference of oil palm bunch

ที่มา : ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี (2554)

การใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมัน

ระบบอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มของไทยจะเริ่มจากผู้ผลิตปาล์มน้ำมัน ซึ่งได้แก่ เกษตรกรที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมัน จากนั้นนำผลผลิตปาล์มน้ำมันไปขายให้กับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งทำหน้าที่สกัดน้ำมันปาล์มดิบเพื่อขายน้ำมันปาล์มดิบให้กับโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มเพื่อการบริโภค และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นต่อไป โดยมีสัดส่วนดังแสดงใน Figure 4

ระบบอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันของไทย

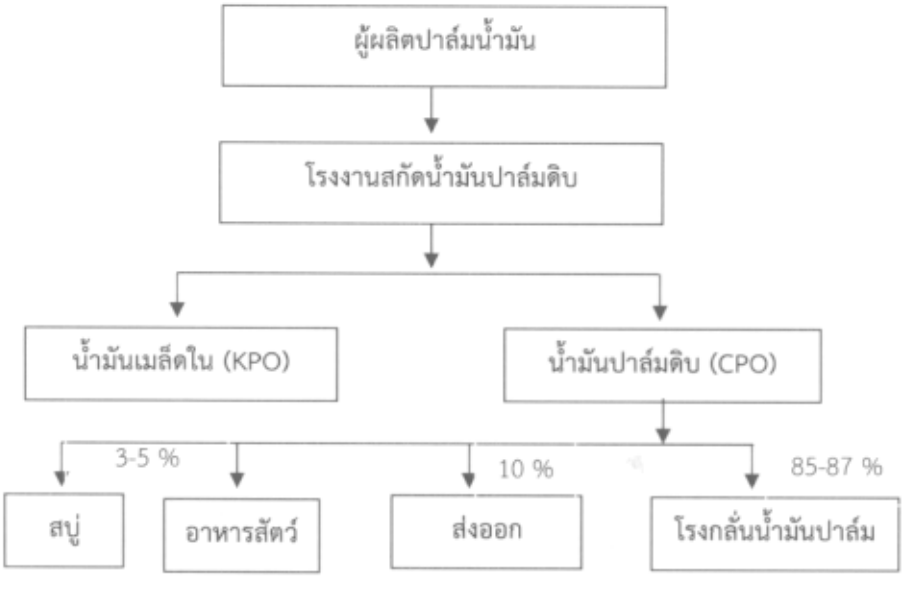


Figure 4 System of oil palm extraction of Thailand

ที่มา : ดัดแปลงจาก ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ (2546)

ในระบบอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มสามารถผลิตน้ำมันได้ทั้งจากเนื้อปาล์ม (mesocarp) ได้ผลิตภัณฑ์เรียกว่าน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil, CPO) และจากเมล็ดใน (kernel) ได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่าน้ำมันเมล็ดใน (Kernel Palm Oil, KPO) ส่วนใหญ่ของน้ำมันปาล์มดิบร้อยละ 85-87 ส่งเข้าโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มส่งออกร้อยละ 10 ที่เหลือร้อยละ 3-5 จะนำไปทำเป็นอาหารสัตว์และสบู่ นอกจากนี้ยังมีผลพลอยได้หรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากปาล์มน้ำมันซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย (พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, 2549) ดังต่อไปนี้

1. ทะลายปาล์มน้ำมัน เป็นส่วนเหลือจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งมีองค์ประกอบของธาตุอาหารและกากใยจำนวนมาก จึงสามารถนำกลับไปใช้ในสวนปาล์มน้ำมันเพื่อคลุมโคนต้น ซึ่งจะเป็นการหมุนเวียนธาตุอาหารให้กับต้นปาล์มน้ำมัน และเป็นการรักษาความชื้นแก่หน้าดิน อีกทั้งเป็นการควบคุมวัชพืชรอบโคนต้นปาล์มน้ำมันอีกด้วย

2. กากใยจากส่วนเปลือก เป็นส่วนของเปลือก (mesocarp) ที่เหลือจากขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้กับพืชทั่วไป สามาถนำไปใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ และใช้เป็นเชื้อเพลิงของในหม้อไอน้ำ (Boiler) ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

3. กะลาปาล์มน้ำมัน เป็นส่วนของกะลา (Shell) ที่เหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งได้จากการกะเทาะเปลือกของเมล็ดปาล์มน้ำมัน โดยที่ส่วนของกะลาสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ (Boiler) นอกจากนี้ ยังใช้กะลายังนำไปใช้ทำ ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมน้ำตาลเพื่อการฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น อุตสาหกรรมอาหารใช้เพื่อดูดกลิ่นและฟอกสีผลิตภัณฑ์อาหาร อุตสาหกรรมบุหรี่ โดยใช้เป็นก้นกรองบุหรี่ เป็นต้น

4. ทางใบปาล์มน้ำมัน เป็นส่วนที่เหลือในสวนปาล์มน้ำมัน มีปริมาณมาก สามารถนำไปทำปุ๋ย ใช้คลุมหน้าดินเพื่อเพิ่มความชื้นแก่หน้าดิน ควบคุมวัชพืช หรืออาจนำทางใบไปทำเฟอร์นิเจอร์ได้

5. ต้นปาล์มน้ำมันเก่า เป็นต้นปาล์มน้ำมันที่มีอายุครบการปลูกใหม่ สามารถนำไปทำเชื้อเพลิงซึ่งมีชีวมวล (Biomass) สูงมาก หรืออาจนำไปทำปุ๋ยอินทรีย์ ใช้ทำวัสดุปลูก และใช้คลุมผิวดิน

การสุกของผลปาล์มน้ำมัน

ศักดิ์ศิลป์ โชติสกุล และคณะ (2541) กล่าวว่า การสุกของผลปาล์มน้ำมันจะเริ่มตั้งแต่การผสมเกสรจนกระทั่งเกิดดอกปาล์ม ผลปาล์มที่ได้รับการผสมจะเจริญเติบโต จนถึงเวลาประมาณ 5 เดือนครึ่งถึง 6 เดือน จะมีความแก่จัดและเริ่มสุก อย่างไรก็ตามระยะเวลาดังกล่าวอาจจะไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยภายใน ได้แก่ความอุดมสมบูรณ์ของต้นปาล์ม และปัจจัยภายนอก ได้แก่ สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ เช่นถ้าฝนตกติดต่อกันเป็นช่วงยาวผลปาล์มก็จะสุกเร็ว แต่ถ้าฝนตกน้อยเกินไป ผลปาล์มก็จะสุกช้า การสุกของผลปาล์มเกิดขึ้น โดยการสังเกตว่าผลปาล์มจะหลุดร่วงจากทะลายได้ง่าย ระยะเวลาการสุกของทะลายปาล์มน้ำมันขนาดเล็กจะใช้เวลา 11 วัน ถ้าทะลายปาล์มน้ำมันขนาดใหญ่ใช้เวลา 20 วัน (Hartley, 1988) ทะลายปาล์มน้ำมันที่มาจากต้นปาล์มที่มีอายุมากใช้เวลาในการสุกของผลปาล์มนานกว่าต้นปาล์มที่มีอายุน้อย เมื่อผลปาล์มสุกเนื้อปาล์ม จะมีร้อยละของน้ำ และคาร์โบไฮเดรตในปริมาณสูง แต่จะมีปริมาณน้ำมันต่ำ หนึ่งสัปดาห์ก่อน

การสุกปริมาณน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเป็นประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำมันสูงสุด การสร้างน้ำมันจะมีปริมาณมากขึ้นและรวดเร็วขึ้นในช่วงที่ผลปาล์มมีการเปลี่ยนสี เมื่อมีการสังเคราะห์น้ำมันในปริมาณสูงที่สุด ปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าร้อยละ 0.5 เมื่อผลปาล์มหลุดร่วงจากทะลายหรือเมื่อทะลายถูกตัดออกจากต้น การสังเคราะห์น้ำมันจะหยุดลงทันที

ปฏิกิริยาทางชีวเคมีในช่วงของผลปาล์มน้ำมันแก่จัด พบแป้งในเปลือกสูง แล้วจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นน้ำมันซึ่งส่วนใหญ่เป็นกลีเซอไรด์ ในขณะที่ผลปาล์มเริ่มสุก สีของผลจะเปลี่ยนจากสีม่วงดำเป็นสีส้มแดงในช่วงนี้จะมีเอนไซม์เรียกว่าไลเปส ทำการเปลี่ยนกลีเซอไรด์ให้กลายเป็นกรดไขมันอิสระกับกลีเซอรอล เมื่อผลปาล์มสุกใหม่ๆ กรดไขมันอิสระจะมีปริมาณน้อย แต่เมื่อเราตัดทะลายออกจากต้น กรดไขมันจะเพิ่มบริเวณส่วนเปลือกของผลปาล์มประมาณร้อยละ 1-5 ภายในเวลาประมาณ 20 นาที แต่ถ้าหากว่าผลปาล์มเกิดบาดแผลจากการตกกระแทกในช่วงการตัดและขนส่ง กรดไขมันอิสระในผลปาล์มจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งหากมีกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นมากเท่าใด ย่อมหมายถึงคุณภาพของผลิตผลน้ำมันปาล์มก็ยิ่งต่ำลงเท่านั้น

มีรายงานการประเมินความสุกของผลปาล์มน้ำมันโดยใช้ระบบ Color Vision System เพื่อใช้ในการตรวจสอบความเหมาะสมของการเก็บเกี่ยว และการควบคุมคุณภาพของผลปาล์มน้ำมัน โดยใช้สีผลเป็นแนวทางในการคาดคะเนปริมาณน้ำมันของทะลายปาล์มที่เก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตาม การจัดทำฐานข้อมูลในเรื่องของสีผลที่เป็นมาตรฐานให้ถูกต้องและเหมาะสม ยังเป็นประเด็นที่โต้เถียงกันมากในอุตสาหกรรม เนื่องจากต้องอาศัยการชี้วัดโดยความชำนาญของตัวคน ดังนั้นจึงเสนอทางแก้ไขโดยการใช้เครื่องมือในการตรวจวัด ซึ่งเรียกว่า HIS (Hue, Saturation and Intensity) เพื่อประเมินช่วงสีของผลปาล์ม โดยการวิเคราะห์ปัจจัยหรือตัวแปรหลายตัว ซึ่งสามารถจำแนกผลปาล์มได้เป็น 4 ระดับ ได้แก่ ระดับดิบ ก่อนสุก สุก และเน่า (Abdullah and Guan, 2002)

Junkwon และคณะ (2009) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ภาพสีและ Hyperspectral พัฒนาเทคนิคสำหรับการประมาณน้ำหนักและความสุกของผลปาล์ม โดยภาพถ่ายของสี และ hyperspectral ของทะลายปาล์มได้มาจากมุมที่แตกต่างกัน 4 มุม จะคำนวณเป็นค่า HIS ค่าความสว่าง สีแดง สีเหลือง (L* a* b) โดยใช้ปริมาณของสีเทาระบุขนาดของทะลายปาล์มและช่องว่างระหว่างผลปาล์ม ซึ่งสามารถนำมาใช้สร้างสมการเพื่อพยากรณ์น้ำหนัก หรือ Multiple Linear Regression (MLR) โดยการทดสอบในผลปาล์ม 4 ระดับความสุก ส่วนคลื่นสั้นที่อาศัยการหักเหของแสง มีผลเป็นที่ยอมรับและสามารถนำไปประเมินความสุกของทะลายปาล์มน้ำมันสดในอุตสาหกรรมได้

การเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมัน

การเก็บเกี่ยวผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันที่ถูกต้องตามเวลาที่ทะลายปาล์มน้ำมันสุกพอดี ถือเป็นเรื่องที่สำคัญที่สุดและยังทำให้ได้คุณภาพดีอีกด้วย (สุรกิตติ ศรีกุล, 2547) ทะลายปาล์มน้ำมันที่มีอายุ 20-22 สัปดาห์ซึ่งมีความสุกพอเหมาะพร้อมที่จะเก็บเกี่ยว โดยมีผลในทะลายมีสภาพการสุกทางสรีรวิทยา (physiological ripe) ประมาณร้อยละ 85 โดยในระยะนี้ การสังเคราะห์สารต่าง ๆ รวมถึงการสังเคราะห์

น้ำมันในทะลายปาล์มจะสิ้นสุดลง ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวนี้จะมีปริมาณน้ำมันที่สะสมในผลปาล์มสูงสุด เมื่อมีการร่วงหล่นของผลปาล์มจากทะลายปาล์มน้ำมันเป็นครั้งแรก (Sukaribin and Khalid, 2009)

จากการศึกษาของ สุปราณี ช่วยเกิด (2546) ได้ศึกษาการวิเคราะห์สเปกตรัมสีผิวผลปาล์มน้ำมันพันธุ์เทเนอราเพื่อหาช่วงเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมพบว่า ปริมาณของสเปกตรัมสีแดงมีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำมันมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมสีเขียว และสเปกตรัมสีน้ำเงินโดยปริมาณสเปกตรัมสีแดงจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และคงที่ในช่วงก่อนผลปาล์มร่วงและหลังจากผลปาล์มร่วงก็จะมีค่าคงที่ ดังนั้นช่วงเวลาที่เหมาะสมที่ชาวสวนปาล์มควรเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มจะเป็นช่วงที่เวลาเหมาะสมที่ชาวสวนควรเป็นช่วงที่มีสเปกตรัมสีแดงที่มีค่าสูงสุด ซึ่งเป็นช่วงเวลาก่อนที่ผลปาล์มร่วงจากทะลายประมาณ 5$\pm$3 วัน

ความถี่หรือรอบในการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน ในแต่ละครั้งของแต่ละสวนสวนมีความแตกต่างกัน โดยรอบในการเก็บเกี่ยวที่ถูกต้องและแม่นยำมากที่สุดจะขึ้นอยู่กับมาตรฐานการสุกและดัชนีการเก็บเกี่ยวคือจำนวนผลร่วง ถ้าความถี่หรือรอบในการเก็บเกี่ยวน้อยเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพของน้ำมัน โดยจะส่งผลถึงอัตราการสกัดน้ำมันที่ต่ำลง แต่หากความถี่ในการเก็บเกี่ยวสูงเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองแรงงาน และมีแนวโน้มที่จะเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันที่ยังไม่สุกได้อีกด้วย หลังจากการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันแล้วจะมีการขนส่งผลผลิตเข้าสู่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

ห ลังจากทะลายปาล์มน้ำมันสุกพร้อมเก็บเกี่ยว โดยการตัดหรือแทงทะลายปาล์มน้ำมันออกจากต้นปาล์มน้ำมันแล้ว ก็จะเข้าสู่กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญ เพราะเป็นการเอาน้ำมันออกจากผลปาล์มน้ำมัน หากมีการควบคุมคุณภาพที่ดีจะทำให้น้ำมันปาล์มดิบ (Crude oil) ดี มีคุณภาพสูง การสกัดน้ำมันปาล์ม ที่อาจเป็นโรงงานขนาดใหญ่ที่มีอัตราการสกัดชั่วโมงละหลายสิบตัน หรือขนาดเล็กจนถึงขนาดเล็กที่ใช้ในชุมชน แต่ทุกโรงงานจะต้องมีประสิทธิภาพ เมื่อผ่านขั้นตอนการสกัดน้ำมันให้ได้ น้ำมันเมล็ดใน (Palm kernel oil) ที่ได้จากเมล็ดใน และน้ำมันปาล์มดิบ (Crude palm oil) ที่ได้จากส่วนของเปลือก โดยน้ำมันที่สกัดได้นี้เรียกว่าน้ำมันดิบ แล้วจะส่งน้ำมันดิบไปยังโรงงานกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์ ต่อไป กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีขั้นตอนดังนี้ (พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, 2549) ประกอบด้วย

1. การรับวัตถุดิบ

ทะลายปาล์มสดที่เก็บเกี่ยวแล้วจะถูกขนส่งไปยังโรงงา นสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ยังมีมาตรฐานในการกำหนดราคาปาล์มน้ำมันทั้งทะลาย(Fresh fruit bunch, FFB) ไปตามข้อตกลง สิ่งสำคัญของการส่งทะลายปาล์มน้ำมัน คือควรใช้เวลาน้อยที่สุดภายหลังการเก็บเกี่ยวลงจากต้น หากใช้เวลานานเกินไปอาจเกิดกระบวนการที่เอนไซม์ไลเปส ทำให้น้ำมันเกิดการไฮโดรไลซิส เป็นกรดไขมันอิสระ ซึ่งเป็นกรดในน้ำมันปาล์มที่ไม่มีคุณภาพ วัตถุดิบที่เข้าสู่โรงงานอาจอยู่ในรูปของทะลายหรือผลร่วง หรือรวมกันทั้ง 2 แบบ เมื่อส่งผลผลิตปาล์มน้ำมันถึงโรงงาน สิ่งแรกที่ทำคือการชั่งน้ำหนัก โดยกำหนดราคาตามกลไกตลาดและขนาดของทะลาย ซึ่งขนาดของทะลายปาล์มขึ้นอยู่กับอายุของต้นปาล์มน้ำมัน โดยต้นปาล์มที่มีขนาดใหญ่จะมีทะลายปาล์มน้ำมัน

ขนาดใหญ่และมีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มากกว่าต้นปาล์มที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นการกำหนดราคาทะลายปาล์มน้ำมันโดยทั่วไปทะลายขนาดใหญ่ได้ราคาสูงกว่าทะลายขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังได้มีการกำหนดราคาหน้าโรงงานที่จะแปรปรวนตามคุณภาพของทะลายปาล์มน้ำมัน ความสุกของผลปาล์ม รวมทั้งการเก็บเกี่ยวและการขนส่งสู่โรงงาน การซื้อขายในราคาที่แตกต่างกัน ยังอาจขึ้นอยู่กับสวนที่นำมาส่งด้วย โดยโรงงานจะมีการรวบรวมข้อมูลของสวนที่มีการส่งทะลายปาล์มน้ำมันสดเป็นประจำด้วย จากนั้นจะขนถ่ายทะลายปาล์มน้ำมันสดที่รับซื้อลงบนลานเท แล้วลำเลียงลงพื้นที่รองรับ (Ramp) และลำเลียงตามสายพานลงสู่โบกี้เพื่อรอการนึ่ง โดยระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวจนถึงการนึ่งผลปาล์มสดควรจะสั้นที่สุด

2. การนึ่งทะลายปาล์มสด (Sterilization)

การนึ่งทะลายปาล์มในแต่ละครั้ง โดยบรรจุทะลายปาล์มลงในโบกี้ แล้วเข้าสู่หม้อนึ่งใช้เวลาในการนึ่งประมาณ 85 นาที อุณหภูมิ 130-150 องศาเซลเซียสและความดัน 3 บาร์ (วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน, 2547) ในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาไลโปไลซีส ที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ ทั้งยังทำให้ขั้วผลปาล์มนิ่มหลุดร่วงจากทะลายปาล์มได้ง่ายขึ้น และช่วยทำให้การกะเทาะเนื้อออกจากเมล็ดในได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้การสกัดแยกน้ำออกจากผลปาล์มน้ำมันได้ง่ายขึ้นด้วย

การนึ่งทะลายปาล์มน้ำมันนี้หากใช้เวลานานเกินไป ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันปาล์มได้ โดยทั่วไปแล้วการนึ่งทะลายปาล์มสดในสภาวะที่กำหนด จะมีโอกาสสูญเสียน้ำมันประมาณร้อยละ 3 แต่ในขณะเดียวกันการนึ่งทะลายปาล์มสดในระยะเวลาที่สั้นไปก็จะทำให้ผลปาล์มน้ำมัน ไม่สามารถหลุดจากทะลายในขั้นตอนการแยกผลปาล์มได้

3. การแยกผลปาล์ม (Bunch stripping)

ปาล์มน้ำมันที่นึ่งเสร็จแล้วจะถูกลำเลียงเข้าเ ครื่อง Basket centrifuge โดยจะหมุนอย่างช้าๆ เพื่อช่วยให้ผลปาล์มหลุดออกจากทะลายปาล์ม แล้วแยกผลปาล์มและทะลายออกจากกัน โดยในขั้นตอนนี้ผลปาล์มจะหลุดและทะลายเปล่าถูกลำเลียงตามสายพานแยกออกไป

4. การย่อยผลปาล์ม (Digester)

ผลปาล์มที่แยกได้จะถูกส่งไปยังเครื่องย่อยที่มีลักษณะเป็นถังที่มีใ บพัดกวน ใช้เวลาในการกวนประมาณ 10-15 นาที โดยใช้อุณหภูมิในการกวน 80-90 องศาเซลเซียส เมื่อเสร็จขั้นตอนนี้จะได้ส่วนของเนื้อและเมล็ด เพื่อนำเข้าไปใช้สกัดน้ำมันต่อไป

5. การสกัดน้ำมันปาล์ม (Oil Extraction)

สกัดน้ำมันจากเ นื้อปาล์มด้วยเครื่องหีบเกลียวอัด (Screw Press) โดยในขั้นตอนนี้จะแยกส่วนที่เป็นของแข็งกับส่วนที่เป็นของเหลว

5.1 ส่วนที่เป็นของแข็ง ซึ่งประกอบไปด้วยเมล็ด (Nut) และเส้นใย (Fiber) จะถูกแยกออกจากกันโดยใช้ไซโคลน (Cyclone) ซึ่งเป็นระบบแยกด้วยลมร้อน หลังจากนั้นส่วนของเมล็ดที่แยกออกไปเข้าเครื่องกะเทาะ เพื่อกะเทาะเมล็ดให้แตกโดยจะได้เมล็ดใน (kernel) และกะลา (shell) แล้วเมล็ดในและกะลาจะเข้าระบบแยกด้วยลมและความถ่วงจำเพาะ (Clay Bath) เพื่อแยกเมล็ดในและกะลาออกจากกัน

5.2 ส่วนที่เป็นของเหลวหรือน้ำมันที่สกัดได้จะเข้าสู่ส่วนที่เรียกว่า Oil Room โดยจะถูกส่งเข้าสู่ gutter tank เพื่อดักตะกอนอนุภาคขนาดใหญ่เช่น กรวด ทราย เป็นต้น แล้วไปผ่านตะแกรงสั่น (Vibration Screen) เพื่อแยกกากเส้นใยและอนุภาคของแข็งขนาดเล็ก จากนั้นน้ำมันจะเข้าสู่ Settling Tank ที่อาศัยหลักการแรงโน้มถ่วงเพื่อแยกน้ำมัน น้ำ และอนุภาคของแข็งที่เหลืออยู่ โดยน้ำและของแข็งจะจมอยู่ด้านล่างของ settling tank ส่วนน้ำมันที่ลอยอยู่ด้านบนจะผ่านกรวย (skimmer) เพื่อทำให้บริสุทธิ์ต่อไป เนื่องจากน้ำที่แยกได้จาก settling tank ยังมีน้ำมันและอนุภาคของแข็งเหลืออยู่ ที่เรียกว่าน้ำสลัดจ์ จึงต้องนำไปผ่านเครื่องเหวี่ยงแยก (Decanter) ซึ่งจะสามารถแยกเอาน้ำ น้ำมันและกากของแข็ง (Decanter cake) ออกจากกันได้ ส่วนที่เป็นของเหลวจะไหลกลับไปที่ settling tank อีกครั้งหนึ่งเพื่อให้อนุภาคของของแข็งตกตะกอน แล้วส่วนของน้ำมันจะเข้าสู่ vacuum เพื่อกำจัดความชื้นและเก็บสู่ storage tank

คุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบ

น้ำมันปาล์มดิบที่มีคุณภาพดีคือน้ำมันปาล์มที่สกัดได้ (crude palm oil) จากทะลายปาล์มสด (fresh fruit bunch) จะต้องมีกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ต่ำกว่าร้อยละ 5 ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน เช่น จุดหลอมเหลว และจุดตกผลึก ถึงแม้ว่าจะมีการกำจัดกรดไขมันอิสระออกจากน้ำมันในขั้นตอนของการกลั่นใส (Refining process) แต่คุณภาพของน้ำมันกลั่นใสที่ได้จะมีคุณภาพต่ำ หากน้ำมันดิบที่มีกรดไขมันอิสระสูง กรดไขมันอิสระจะมีผลกระทบต่อปริมาณน้ำมันกลั่นใส คือ ทำให้ปริมาณน้ำมันกลั่นใสลดลง ดังนั้นแนวทางในการลดการสร้างกรดไขมันอิสระ จำเป็นต้องทราบสาเหตุของการสร้างและวิธีปฏิบัติในการยับยั้งการสร้างกรดไขมันอิสระ เพื่อให้ได้น้ำมันที่มีคุณภาพดี (สุรกิตติ ศรีกุล , 2547)

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบ

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบ คือคุณภาพของวัตถุดิบ ซึ่งเป็นปัจจัยที่จะก่อให้เกิดการสร้างกรดไขมันอิสระ ดังนั้นในการยับยั้งการสร้างกรดไขมันอิสระ จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัย ที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ปัจจัยในแปลงปลูก (เกษตรกรรม) และปัจจัยในโรงงาน (วิศวกรรม) ดังนี้ (พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, 2549)

1. ปัจจัยในแปลงปลูก (เกษตรกรรม)

ปัจจัยในแปลงปลูกหรือในสวนปาล์มน้ำมัน เป็นเรื่องของเกษตรกรรมที่ทำให้คุณภาพน้ำมันแตกต่างกัน ซึ่งถ้าผลปาล์มน้ำมันทั้งในส่วนของเนื้อหรือเมล็ดในไม่มีคุณภาพก็ถือได้ว่าวัตถุดิบไม่มีคุณภาพ และ

จะไม่สามารถสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่มีคุณภาพได้เลย ไม่ว่ากระบวนการในโรงงานจะดีแค่ไหนก็ตาม โดยปัจจัยดังกล่าว ได้แก่

1.1 พันธุ์ปาล์มน้ำมัน

พันธุ์ มีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบ ปาล์มน้ำมันแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณน้ำมันไม่เท่ากัน

1.2 อายุของต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ผลผลิต

ต้นปาล์มน้ำมันที่มีอายุน้อย จะมีน้ำมันปาล์มดิบที่มีคุณภาพแตกต่างจากต้นปาล์มน้ำมันที่มีอายุมาก สาเหตุเนื่องจากกระบวนการทางสรีระวิทยาที่แตกต่างกัน ซึ่งสังเกตได้คือ ผลปาล์มน้ำมันจากต้นปาล์มน้ำมันอายุน้อย จะสุกช้ากว่าผลปาล์มน้ำมันจากต้นปาล์มน้ำมันอายุมาก นอกจากนี้อายุต้นปาล์มที่แตกต่างกันยังมีผลทางอ้อมต่อคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบ คือต้นปาล์มน้ำมันอายุมากต้นจะสูง ในการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันสดจะตกลงจากที่สูงกว่าต้นปาล์มน้ำมันอายุน้อย ซึ่งการที่ผลปาล์มน้ำมันถูกกระแทก และกระทบกระเทือนจะมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ไลเปส ที่เป็นตัวการทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ

1.3 สภาพแวดล้อม

สภาพแวดล้อมทางลมฟ้าอากาศ หรือฤดูกาล โดยสภาพแวดล้อมที่ชื้นหรือแห้ง จะมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของน้ำมัน แสงแดดในช่วงเวลาการสุกแก่ของผลปาล์มน้ำมันมีผลต่อปริมาณ carotene ฝนที่ตกขณะที่ผลปาล์มน้ำมันกำลังสุกแก่มีผลทางอ้อมคือ ฝนที่ตกทำให้เปลือกชั้นนอกของผลปาล์มน้ำมัน (exocarp) ชุ่มน้ำ ซึ่งทำให้มีโอกาสให้จุลินทรีย์เข้าทำลายผลปาล์มน้ำมัน ซึ่งจะส่งผลถึงการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบ

1.4 การเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันที่สุกเกินไป

ในทะลายปาล์มน้ำมันที่สุกเกินไป ผนังเซลล์ที่หุ้มน้ำมัน (ถุงน้ำมัน) จะเปราะแตกหักได้ง่ายกว่าในทะลายปาล์มน้ำมันที่สุกพอดีหรือทะลายที่ยังไม่สุก เมื่อเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมันในระยะนี้ ผลปาล์มจะได้รับอิทธิพลของแรงกระทบกระเทือนมากกว่า และเซลล์แตกหักได้ง่าย ทำให้มีการสร้างกรดไขมันอิสระมากขึ้น Hartley (1988) พบว่าการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มสดที่ล่าช้าจะไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ในปีต่อไป แต่จะมีทะลายปาล์มแก่จัด และมีทะลายที่เน่าสะสมมากขึ้น ซึ่งทำให้น้ำมันที่สกัดได้มีคุณภาพต่ำ นอกจากนี้พรชัย เหลืองอาภาพงศ์ (2549) กล่าวว่าการที่ผลปาล์มน้ำมันสุกเกินไปจะเนื้อนุ่ม เป็นการเปิดโอกาสให้จุลินทรีย์เข้าทำลายแล้วส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ

1.5 การได้รับแรงกระทบกระเทือนทางกายภาพ

การเก็บเกี่ยวและการขนส่งทำให้เซลล์ในชั้นเปลือกถูกทำลาย เกิดปฏิกิริยาทางเคมีของน้ำมัน ทำให้มีการสร้างกรดไขมันอิสระขึ้น ซึ่งมักเกิดกับทะลายที่สุกเกินไป อย่างไรก็ตามกรดไขมันอิสระสามารถถูกสร้างขึ้นได้ในทะลายอื่นๆ เช่น ในทะลายที่มีการสุกพอเหมาะ ถ้าได้รับแรงกระทบกระเทือนมากๆ หรือหลังจากเก็บเกี่ยวแล้วไม่รีบนำส่งโรงงานสกัด หรือทั้งสองสาเหตุร่วมกัน ทำให้กรดไขมันอิสระเพิ่มสูงขึ้นเมื่อถูกกระทบกระเทือน มีการศึกษาโดยการตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระและไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ในทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับการกระทบกระเทือนต่างๆกัน พบว่า ทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับความบอบช้ำมาก

จะมีกรดไขมันอิสระร้อยละโดยน้ำหนัก 15.20 ของน้ำมันปาล์มดิบ ส่วนทะลายปาล์มน้ำมันที่ไม่บอบช้ำจะมีกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.025 (Azis and Tan, 1989)

1.6 เชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์สามารถเข้าทำลายผลปาล์มน้ำมันได้ในสภาพที่ได้รับการกระทบกระเทือนจนกระทั่งบอบช้ำ และผลปาล์มที่สุกเกินไป อาจเกิดการหมัก (Fermentation) และเซลล์แตกหักได้ง่าย ทำให้มีการสร้างกรดไขมันอิสระ ซึ่งสอดคล้องกับ Coursey (1963) ได้ศึกษาการใช้ผลปาล์มที่เก็บไว้หลายวันก่อนการสกัดน้ำมันหรือผลปาล์มที่ปล่อยให้สุกเกินไปบนต้น พบ ว่าเชื้อราอาจจะเข้าไปทำลาย ที่ฐานของขั้วผลหรือทำให้เกิดแผลบนผิวของผลปาล์ม ได้จำแนกเชื้อราที่สามารถสร้างเอนไซม์ไลเปส ได้แก่ *Rhizopus Aspergillus sp.* และ *Penicillium* เป็นต้น โดย *Aspergillus sp.* พบมากที่สุด

1.7 ระยะเวลาเก็บเกี่ยวจนถึงโรงงานสกัด

ช่วงเวลานี้มีส่วนสำคัญในการสร้างกรดไขมันอิสระเพราะหลังจากเก็บเกี่ยวแล้ว ทะลายปาล์มเกิดการบอบช้ำ ซึ่งทำให้การสร้างกรดไขมันอิสระขึ้น และการสร้างเป็นปริมาณมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับระยะเวลาจากการเก็บเกี่ยวจนถึงโรงงานสกัด ซึ่งสอดคล้องกับ Rankine และ Fairhurst (1998) รายงานว่าการดูแลทะลายปาล์มไม่ให้บอบช้ำ และส่งโรงงานให้เร็วที่สุดภายใน 24 ชั่วโมง เป็นสิ่งสำคัญมาก เพื่อลดกรดไขมันอิสระให้น้อยกว่าร้อยละ 2

นอกจากนี้ Turner และ Gillbanks (1974 อ้างโดย Hartley, 1988) พบว่าภายหลังจากทะลายปาล์มน้ำมันถูกตัดออกจากต้นจะมีการเปลี่ยนน้ำมันเป็นกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น การส่งทะลายปาล์มสดที่ใช้เวลานานกว่า 24 ชั่วโมง จะมีปริมาณกรดไขมันในน้ำมันเพิ่มจากร้อยละ 1.8 เป็น 2.3 แต่ถ้าหากส่งช้าไป 4 วัน ปริมาณกรดไขมันอิสระจะสูงขึ้นร้อยละ 3.3 อีกทั้งได้มีการศึกษาพบว่า น้ำมันที่ได้จากผลปาล์มสุกที่เก็บมาสดๆ จะมีกรดไขมันอิสระน้อยซึ่งเท่ากับร้อยละ 0.1 แต่ในผลปาล์มที่ช้ำและผลที่คั้นเอาเมล็ดออก จะมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

2. ปัจจัยในโรงงาน (วิศวกรรม)

ภายหลังจากทะลายปาล์มน้ำมัน ถูกนำส่งถึงโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบแล้ว ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนและกระบวนการทางวิศวกรรม โดยกระบวนการต่างๆ เหล่านี้อาจมีผลต่อคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบ คือ

2.1 ระยะเวลาจากการรับวัตถุดิบถึงการอบไอน้ำ

ภายหลังจากการที่ทะลายปาล์มน้ำมันสดถูกส่งเข้าโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ จะถูกเก็บรวบรวม กองบนลานเทเพื่อรอนำเข้าสู่หม้อนึ่ง ตราบใดที่ผลปาล์มน้ำมันยังไม่มีการนึ่ง กระบวนการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นตลอดเวลา โดยระยะเวลาที่จะนำทะลายปาล์มสดเข้าสู่หม้อนึ่งจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับการจัดการของโรงงาน

2.2 ประสิทธิภาพในการนึ่ง

ในกระบวนการนึ่ง มีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ การใช้ความร้อน ความดัน และเวลาที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลถึงคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบ

2.3 ประสิทธิภาพการแยกผลปาล์มออกจากทะลาย

หลังจากผ่านกระบวนการยับยั้งการเกิดกรดไขมันอิสระด้วยการนึ่งแล้ว ทะลายปาล์มน้ำมันจะถูกส่งเข้ากระบวนการแยกผลปาล์มออกจากทะลาย หากกระบวนการนี้ไม่มีประสิทธิภาพจะมีสิ่งเจือปนติดไปมาก ทำให้น้ำมันปาล์มดิบที่ได้คุณภาพไม่ดี

2.4 ประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ เป็นการสกัดเอาน้ำมันออกจากผลปาล์มน้ำมัน ในทางทฤษฎีต้องพยายามหาวิธีการที่จะสามารถสกัดน้ำมันออกมาจากผลปาล์มน้ำมันให้มากที่สุด และจะต้องคำนึงถึงคุณภาพของน้ำมันปาล์มด้วย โดยกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้อุณหภูมิสูง อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ซึ่งการสกัดน้ำมันปาล์มดิบในสภาวะสุญญากาศจะเป็นวิธีการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

2.5 ประสิทธิภาพการกรองและการเหวี่ยง

การแยกสิ่งสกปรกออกด้วยเครื่องกรองและการเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง อาจทำให้น้ำมันปาล์มดิบมีคุณภาพน้อยลงได้ โดยการกรองและเหวี่ยงแยกที่ใช้เวลานานเกินไปจะทำให้มีโอกาสเกิดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มได้ ดังนั้นในขั้นตอนนี้ควรควบคุมให้เหมาะสมและต้องมีประสิทธิภาพดีจึงจะได้น้ำมันที่สะอาด ซึ่งมาตรฐานของน้ำมันปาล์มดิบกำหนดไว้ว่าจะต้องมีสิ่งเจือปนได้ไม่เกินร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก

2.6 ประสิทธิภาพการแยกน้ำ

ความชื้นในน้ำมันปาล์มดิบ เป็นสิ่งเจือปนที่ทำให้น้ำมันปาล์มดิบไม่ได้มาตรฐาน การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ และเครื่องมือในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบตลอดจนเทคนิคการกำจัดความชื้นที่ดีทำให้ได้น้ำมันปาล์มที่มีความชื้นต่ำ ซึ่งเป็นน้ำมันปาล์มดิบที่มีคุณภาพสูง

2.7 การจัดเก็บและการขนส่งน้ำมันปาล์มดิบ

เมื่อน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการสกัด การแยกสิ่งแปลกปลอมและความชื้นออกแล้ว น้ำมันปาล์มดิบ จะถูกลำเลียงขนส่งเก็บในถังขนาดใหญ่ เพื่อรอการจำหน่ายต่อไป ในการจัดเก็บนี้วัสดุอุปกรณ์ของถังจัดเก็บ มีผลโดยตรงต่อคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบ โดยวัสดุจะต้องเป็นโลหะที่ได้มาตรฐานและรับรองการใช้

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

1. การศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม

1.1 ทำการสำรวจ สังเกต สอบถาม และเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษาซึ่งประกอบการสกัดน้ำมันปาล์มดิบเพื่อส่งจำหน่ายให้แก่โรงงานแปรรูปเป็นน้ำมันบริโภค แล้วแสดงเป็นแผนภูมิกระบวนการผลิตและรายละเอียดการปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอน รวมถึงการรวบรวมปริมาณผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้ระหว่าง เดือนตุลาคม 2552 ถึง เดือนเมษายน 2553

1.2 รวบรวมข้อมูลปริมาณเนื้อปาล์มนึ่ง ซึ่งจัดว่าเป็นวัตถุดิบก่อนการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มที่มีความสุกแตกต่างกัน โดยการสุ่มผลปาล์ม จากลานเทของโรงงานกรณีศึกษา ที่มีระดับความสุกแตกต่างกัน 4 ระดับ ประกอบด้วย ดิบ (A) ก่อนสุก (B) สุก (C) และเน่า (D) ที่มีลักษณะปรากฏดังแสดงใน Table 2 ทำการสับแยกผลปาล์มและทะลายเปล่า นึ่งผลปาล์มสดด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที แยกเนื้อปาล์มชั้นนอกกับเมล็ดออกจากกันด้วยมือ บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นของทะลายปาล์มน้ำมัน น้ำหนักผลปาล์มสด น้ำหนักผลปาล์มที่ผ่านการนึ่ง และน้ำหนักเนื้อปาล์มนึ่ง คำนวณค่าเป็นร้อยละของน้ำหนักทะลายปาล์มเริ่มต้น

Table 2 Classification of oil palm ripeness used in this study

Ripeness	Description
Unripe (A)	Fruit in bunch are hard. The color of fruit are black, haven't loss of fruit. The color of flesh is yellow.
Under ripe (B)	Fruit in bunch have color change from black to reddish purple and to reddish orange, 3-5 loosen fruit and the color of flesh is yellow.
Ripe (C)	Fruit in bunch have orange red color, 6-10 loosen fruit and the color of flesh is orange.
Over ripe (D)	Fruit in bunch have reddish orange color, 10-30 loosen fruit and the color flesh is reddish orange.

ที่มา: Modified from Department of Agriculture (2547)

2. การศึกษาผลของระดับความสุกและปริมาณของผลปาล์มสดต่อปริมาณผลผลิตและกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบ

2.1 การเตรียมตัวอย่างผลปาล์มน้ำมัน

คัดเลือกทะลายปาล์มสดพันธุ์เทเนอร่าสีดำ จากสวนที่เข้าสู่กระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา ที่มาจากสวนที่ต่างกันจำนวน 2 สวน สวนละ 2 ครั้ง ครั้งละ 1 ทะลาย ขนาดน้ำหนัก 15-25 กิโลกรัม ระยะเวลาห่างกัน 2 สัปดาห์ ซึ่งมีระดับความสุกแตกต่างกัน 4 ระดับ (Table 2) ทำการสับแยกผลปาล์มและทะลายเปล่า นึ่งผลปาล์มสดด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที แยกเนื้อปาล์มชั้นนอกกับเมล็ดออกจากกันด้วยมือ เพื่อนำไปใช้ในการสกัดน้ำมัน

2.2 การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

ออกแบบการทดลองสกัดน้ำมันปาล์มดิบจากผลปาล์มสดทั้ง 4 ระดับความสุกตามชุดการทดลองที่กำหนดสัดส่วนของวัตถุดิบแต่ละกลุ่มความสุกแตกต่างกัน จำนวน 15 ชุดการทดลอง ดังแสดงใน Table 3 เตรียมตัวอย่างตามชุดการทดลองจำนวน 2 ชุด ชุดแรกนำไปสกัดน้ำมันทันที โดยไม่ผ่านการอบแห้ง ส่วนอีกชุดหนึ่งนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (Tan *et al.*, 2009) (รวมมีตัวอย่างจากแต่ละสวน จำนวน 30 ชุดการทดลอง) ใช้ตัวอย่างชุดการทดลองละ 20 กรัม ห่อด้วยผ้าขาวบางแล้วสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ปริมาณ 700 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นแยกกากออก และระเหยตัวทำละลายเฮกเซน บนเตาความร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้ คำนวณปริมาณผลผลิตเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของทะลายปาล์มสด

ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลทางสถิติจากแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) (Steel and Torie, 1960)

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าตัวอย่างวัตถุดิบที่ไม่ผ่านการอบแห้ง มีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้คือ น้อยกว่าร้อยละ 5 จึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในตัวอย่างดังกล่าว เพราะคาดว่าเป็นตัวอย่างที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อน

นำน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดจากเนื้อปาล์มนึ่งที่ผ่านการอบแห้ง จากแต่ละชุดการทดลองในข้อ 2.2 จากทั้ง 2 สวน จำนวน 5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปของกรดปาล์มมิติก ตามวิธีของ IUPAC (1979) ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลทางสถิติจากแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) (Steel and Torie, 1960)

Table 3 Combination of different ripeness of oil palm for crude palm oil extraction

Treatment	Unripe(A)	Under ripe(B)	Ripe(C)	Over ripe(D)
A	1	0	0	0
B	0	1	0	0
C	0	0	1	0
D	0	0	0	1
AB	0.5	0.5	0	0
AC	0.5	0	0.5	0
AD	0.5	0	0	0.5
BC	0	0.5	0.5	0
BD	0	0.5	0	0.5
CD	0	0	0.5	0.5
ABC	0.33	0.33	0.33	0
ABD	0.33	0.33	0	0.33
ACD	0.33	0	0.33	0.33
BCD	0	0.33	0.33	0.33
ABCD	0.25	0.25	0.25	0.25

3. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของระดับความสุกและปริมาณของผลปาล์มสดต่อปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 8.0.4 ซึ่งแสดงผลในรูปของสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดของการสกัดน้ำมัน

4. การคำนวณต้นทุนทะลายปาล์มดิบ จากข้อมูลความสัมพันธ์ที่เหมาะสม (ข้อ 3) ซึ่งมีระดับความสุกแตกต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์ในการกำหนดแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตให้แก่โรงงานกรณีศึกษา

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาความสัมพันธ์ของระดับความสุกและปริมาณของวัตถุดิบต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โดยการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ข้อมูลปริมาณผลผลิตในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ การสกัดน้ำมันปาล์มดิบจากผลปาล์มที่มีระดับความสุกแตกต่างกัน และการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้ พร้อมทั้งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของปริมาณและระดับความสุกของวัตถุดิบต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ และการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของต้นทุนวัตถุดิบเพื่อการเสนอแนะแนวทางการจัดซื้อวัตถุดิบทะลายปาล์มสดแก่โรงงานกรณีศึกษา ซึ่งผลการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย

1. ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา

1.1 โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบ มีกำลังการผลิต 45 ตันทะลายปาล์มสดต่อชั่วโมง มีปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้ประมาณร้อยละ 14-16 ของน้ำหนักทะลายปาล์มสด มีพนักงานประมาณ 200 คนโดยมีการทำงานแบ่งเป็น 2 กะ แหล่งวัตถุดิบที่เข้าสู่กระบวนการผลิตซึ่งส่วนใหญ่เป็นพันธุ์เทเนอร่า มาจาก 3 แหล่ง คือ สวนปาล์มน้ำมันของโรงงานฯซึ่งมีพื้นที่อยู่จังหวัดกระบี่ สวนของเกษตรกร และแหล่งรวบรวมปาล์ม (ลานเท) ซึ่งมีพื้นที่อยู่ในบริเวณจังหวัดกระบี่และบริเวณจังหวัดใกล้เคียง ในการรับซื้อวัตถุดิบจะมีการประเมินคุณภาพของทะลายปาล์มสดที่รับซื้อโดยพนักงานฝ่ายจัดซื้อ ซึ่งแบ่งคุณภาพของทะลายปาล์มดิบออกเป็น 4 ระดับได้แก่ ปาล์มดิบ (A) ปาล์มก่อนสุก (B) ปาล์มสุก (C) และปาล์มเน่า (D) ตามข้อกำหนดที่ดัดแปลงมาจาก กรมวิชาการเกษตร (2547) แล้วนำมารวบรวมไว้บนลานเทของโรงงานฯ เพื่อรอเข้าสู่กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

1.2 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ดังแสดงในแผนภูมิกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ (Figure 5) และรายละเอียดการปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอน ในภาคผนวก ก. พนักงานจะใช้รถแทรคเตอร์กวาดทะลายปาล์มสดที่กองรวมกันบนลานเท ผ่านช่องลาดเอียง ลงสู่สายพานลำเลียงเพื่อลำเลียงทะลายปาล์มสดลงในโบกี้รองรับครั้งละ 1 โบกี้จำนวนทั้งหมด 5 โบกี้ แล้วเคลื่อนที่ไปตามราง เข้าสู่หม้อนึ่งไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นโบกี้ทะลายปาล์มนึ่ง จะเคลื่อนที่เข้าสู่เครื่องเททะลายปาล์มนึ่ง (Tipper) แล้วเข้าสู่เครื่องนวด (Thresher) ซึ่งมีทั้งหมด 3 เครื่อง โดยเครื่องที่ 1 และ 2 เป็นการนวดเบื้องต้นให้ทะลายและผลปาล์มนึ่งมีความนิ่ม แล้วเข้าเครื่องนวดเครื่องที่ 3 เพื่อนวดให้นิ่มมากขึ้น จนสามารถสลัดแยกทะลายเปล่าออกได้ง่ายขึ้น หากทะลายปาล์มที่นึ่งไม่สุกซึ่งมีลักษณะแข็งไม่สามารถสลัดผลปาล์มได้ จะถูกลำเลียงกลับไปนึ่งใหม่อีกครั้ง ผลปาล์มที่นึ่งสุกแล้วจะเข้าสู่เครื่องย่อย (Digester) เพื่อกวนให้สามารถแยกเมล็ดออกจากผลปาล์มได้ง่ายขึ้น จากนั้นส่วนผสมของ

เนื้อและเมล็ดปาล์มจะเข้าสู่เครื่องบีบ (Screw press) สามารถบีบแยกออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นของเหลว และส่วนที่เป็นของแข็ง

ส่วนที่เป็นของเหลวประกอบด้วยน้ำมัน น้ำ และสิ่งเจือปนอื่นที่สามารถผ่านเครื่องบีบได้ จะผ่านเข้าสู่ขั้นตอนการกรองด้วยเครื่องกรองขนาดใหญ่ (Filtration 1) ส่วนของของเหลวจะผ่านเข้าสู่ Gutter Tank ซึ่งมีลักษณะเป็นถังเหล็กรูปทรงกระบอก ทำหน้าที่ดักตะกอนอนุภาคขนาดใหญ่ เช่น กรวด ทราย เป็นต้น จากนั้นของเหลวจะเข้าสู่การกรองอนุภาคขนาดเล็ก (Filtration 2) โดยใช้ตะแกรงสั่น(Vibration screen) ซึ่งมีลักษณะเป็นตะแกรง 2 ชั้น มีหน้าที่แยกกากเส้นใยและอนุภาคขนาดเล็ก หลังจากนั้นของเหลวที่ผ่านการกรองด้วยตะแกรงสั่นจะถูกส่งไปยังถังตกตะกอนที่เรียกว่า Continuous Settling Tank (CS Tank) ซึ่งอาศัยแรงโน้มถ่วงในการแยกน้ำมันและอนุภาคของแข็งที่เหลืออยู่ออกจากกัน โดยอนุภาคของแข็งเรียกว่าสลัดจ์ อยู่ด้านล่างของถังตกตะกอน ซึ่งต้องนำไปผ่านเครื่องเหวี่ยงแยก (Decanter) ส่วนน้ำมันที่อยู่ส่วนบนของถังตกตะกอน ผ่านเข้าสู่การทำบริสุทธิ์โดยผ่านกรวยแยก (Skimmer) แล้วไหลเข้าเครื่อง Purifies เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออกไป น้ำมันที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกออกแล้วคงมีความชื้นปนอยู่ ดังนั้นจึงต้องกำจัดความชื้น โดยใช้เครื่องสุญญากาศ (Vacuum) ดูดความชื้นออก หลังจากนั้นน้ำมันจึงไหลเข้าสู่ถังเก็บ ซึ่งมีลักษณะเป็นถังเหล็ก ภายในเคลือบด้วยแสตนเลส มีการตรวจสอบคุณภาพทุกวัน เมื่อถึงเวลาจำหน่าย ต้องอุ่นน้ำมันโดยใช้ไอน้ำ และควบคุมอุณหภูมิภายในถังเก็บให้มีอุณหภูมิ 50 -55 องศาเซลเซียส

ข้อมูลปริมาณผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้ระหว่าง เดือนตุลาคม 2552 ถึง เดือนเมษายน 2553 พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 15.33 – 17.21 โดยน้ำหนักทะลายปาล์มสด (Table 4)

Table 4 Yield of crude oil palm of the case study factory during October 2009–April 2010

Month	Fresh fruit bunch (Ton)	Crude palm oil	
		Quantities(Ton)	Yield (%)
Oct-2009	15040.41	2468.94	16.42
Nov-2009	10650.68	1751.30	16.44
Dec-2009	8386.30	1442.90	17.21
Jan-2010	14175.13	2277.07	16.06
Feb-2010	16675.93	2611.42	15.66
Mar-2010	26602.31	4145.27	15.58
Apr-2010	24588.33	3769.25	15.33

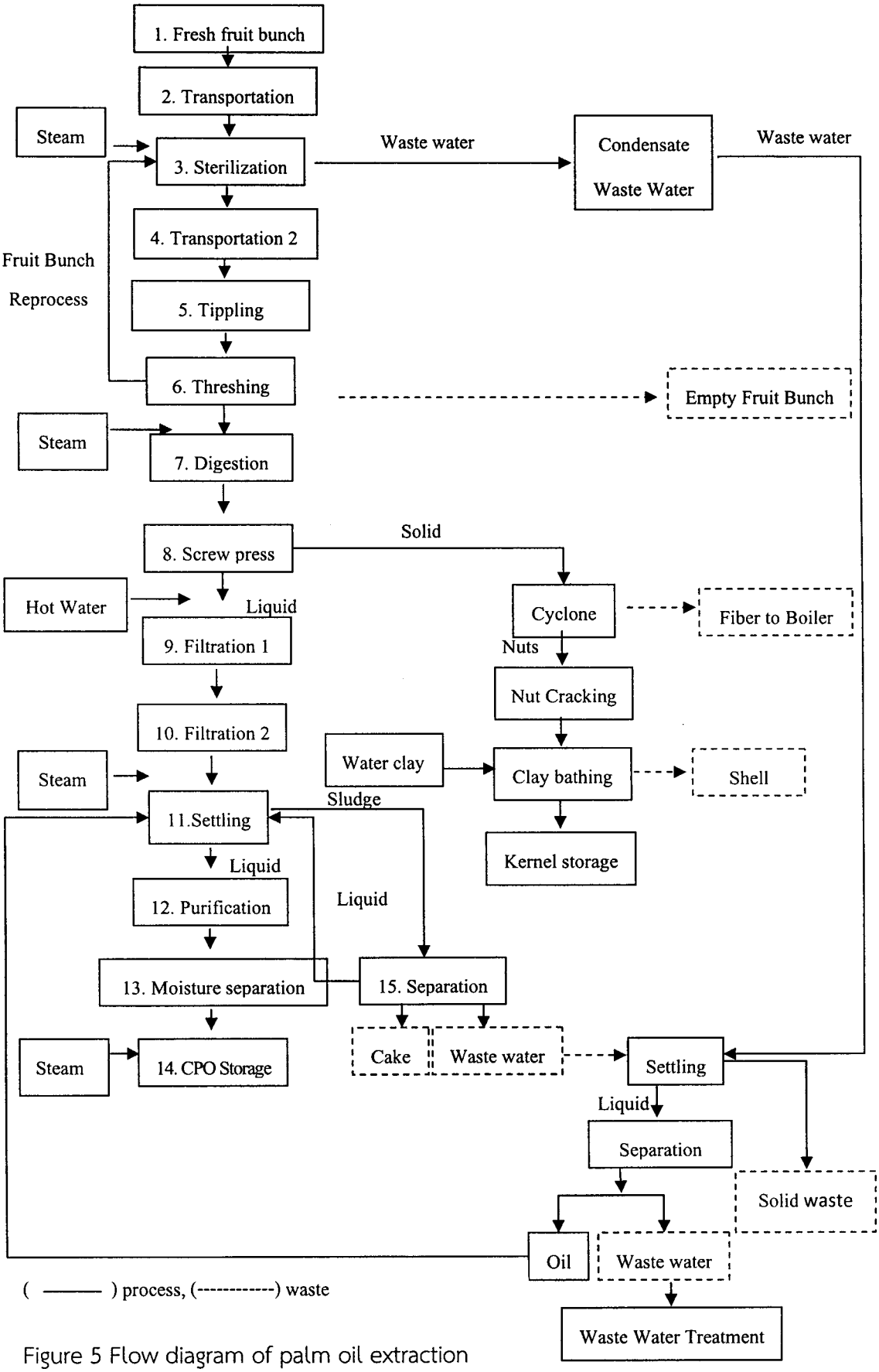


Figure 5 Flow diagram of palm oil extraction

1.2 ข้อมูลสมดุลมวลของเนื้อปาล์มนึ่งจากทะลายปาล์มน้ำมันดิบ

จากการรวบรวมข้อมูลปริมาณเนื้อปาล์มนึ่ง ซึ่งจัดว่าเป็นวัตถุดิบก่อนการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มที่มีความสุกแตกต่างกัน 4 ระดับ ประกอบด้วย ดิบ (A) ก่อนสุก (B) สุก (C) และเน่า (D) ที่ผ่านขั้นตอนการนึ่งด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที แยกเนื้อปาล์มชั้นนอกกับเมล็ดออกจากกันด้วยมือ บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นของทะลายปาล์มน้ำมัน น้ำหนักผลปาล์มสด น้ำหนักผลปาล์มที่ผ่านการนึ่ง และน้ำหนักเนื้อปาล์มนึ่ง คำนวณค่าเป็นร้อยละของน้ำหนักทะลายปาล์มเริ่มต้น ได้ผลดังแสดง Table 5 ซึ่งพบว่าปาล์มน้ำมันทุกระดับความสุกมีน้ำหนักทะลายเปล่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 15-22 ซึ่งสอดคล้องกับกรมการค้าภายใน (2550) ที่รายงานว่ากล่าวว่าโดยเฉลี่ยของน้ำหนักทะลายเปล่ามีค่าร้อยละ 20 ของน้ำหนักทะลายปาล์มสด ปาล์มน้ำมันที่มีระดับความสุกพอดี มีน้ำหนักทะลายเปล่าน้อยที่สุด แตกต่างจากระดับความสุกอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำได้ผลปาล์มนึ่งระหว่าง ร้อยละ 76-84 ของน้ำหนักทะลายปาล์มสด ลดลงจากน้ำหนักผลปาล์มดิบ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการสูญเสียน้ำจากการนึ่ง เมื่อทำการแยกเมล็ดออกจากเนื้อปาล์มนึ่ง พบว่าได้เนื้อปาล์มนึ่งที่แตกต่างกัน คิดเป็นร้อยละ 62.71, 56.22, 50.06 และ 47.64 ของน้ำหนักปาล์มน้ำมันทั้งทะลายที่มีระดับความสุกจาก สุก, ก่อนสุก, ดิบ และเน่า ตามลำดับ

Table 5 Mass balance of steamed oil palm from fresh fruit bunch

Maturity of Fresh Fruit Bunch	Fresh Fruit Bunch (kg)	Fresh Fruit* (kg)	Steam Fruit* (kg)	Steamed Mesocarp**(kg)
Unripe(A)	100	78.95 ± 1.11^{a}	78.62 ± 0.48^{ab}	50.06 ± 3.37^{a}
Under ripe(B)	100	82.03 ± 1.51^{a}	81.20 ± 1.49^{bc}	56.22 ± 2.90^{b}
Ripe(C)	100	85.07 ± 2.62^{b}	84.19 ± 2.60^{c}	62.71 ± 3.26^{c}
Over ripe(D)	100	78.17 ± 2.94^{a}	76.35 ± 4.12^{a}	47.65 ± 3.47^{a}
Average	100	81.06±3.45	80.09±3.82	54.16±3.25

* Mean±SD average from 6 replicates. ** Mean±SD average from 4 replicates.

^{a,b,c} different letter in the same column indicate significantly differences($p<0.05$)

2. ผลของระดับความสุกของผลปาล์มดิบต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบ

ตัวอย่างปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นทะลายปาล์มสดพันธุ์เทเนอร่าผลสีดำ น้ำหนักทะลาย 15-25 กิโลกรัม จากสวนที่แตกต่างกัน 2 สวน จาก บริเวณ อำเภอเขาพนม จังหวัดกระบี่ และ อำเภอชัยบุรี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่มีอายุต้นปาล์มใกล้เคียงกันคือ 15- 22 ปี และมีระดับ

ความสุกแตกต่างกัน 4 ระดับ จัดชุดทดลองโดยมีระดับความสุก 1, 2, 3 และ 4 ระดับ ดังแสดงใน Table 2 รวมจำนวน 15 ชุดการทดลอง และศึกษาผลของการอบแห้งเนื้อปาล์มนึ่งก่อนการสกัดน้ำมันด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง (Tan *et al.*, 2009) จึงทำให้มีตัวอย่างจากแต่ละสวนจำนวน 30 ชุดการทดลอง ซึ่งผลการศึกษาสามารถแยกแสดงตามแหล่งวัตถุดิบดังนี้

2.1 วัตถุดิบจากสวนที่ 1 เตรียมตัวอย่างโดยการอบแห้งและไม่อบแห้ง

ผลของระดับความสุกของผลปาล์มดิบต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบจากสวนที่ 1 โดยการอบแห้ง และไม่ผ่านการอบแห้ง Table .6. พบว่าระดับความสุกของปาล์มน้ำมันมีผลต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ภาคผนวก ข.) จากการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธี โดยพบว่าเมื่อระดับความสุกของผลปาล์มเพิ่มขึ้น ปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบเพิ่มขึ้นแต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ปาล์มเน่า เนื่องจากผลปาล์มเน่ามีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนแปลง และพบลักษณะฉีกขาดจากแรงกระแทกในระหว่างการเก็บเกี่ยว ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากปาล์มน้ำมันที่มีระดับความสุกเพียงระดับเดียวคือ ปาล์มดิบ (A) ปาล์มก่อนสุก (B) ปาล์มสุก (C) และปาล์มเน่า (D) ที่ผ่านการอบแห้ง เท่ากับร้อยละ 41.54, 49.18, 58.74 และ38.59 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้งพบว่ามีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งทุกชุดการทดลอง คือ เท่ากับร้อยละ 45.53, 51.50, 62.98 และ 41.68 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากความร้อนมีผลทำให้ผนังเนื้อเยื่อถูกทำลาย น้ำมันอาจสูญเสียไประหว่างการอบแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Tan และคณะ (2009) ที่ระบุว่าผลปาล์มที่อยู่ในระดับสุก มีพัฒนาการสุกทางสรีรวิทยา (physiological ripe)ประมาณร้อยละ 85 ของจำนวนผลปาล์มในทะลาย แต่ผลปาล์มมีความแก่เต็มที่โดยไม่พบการสังเคราะห์น้ำมันเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีปริมาณน้ำมันสะสมในผลปาล์มสูงที่สุด (Sukaribin and Khalid, 2009) จึงจัดว่าเป็นระยะที่มีความสุกพอเหมาะต่อการเก็บเกี่ยว

นอกจากนี้ยังพบว่าปาล์มที่จัดว่าเน่า(D) ซึ่งมีความสุกมากเกินไป และอาจเป็นผลจากแรงกระแทกจากการเก็บเกี่ยว ส่งผลให้เอนไซม์ไลเปสในผลปาล์มเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ปริมาณน้ำมันจึงลดลง เนื่องจากเปลี่ยนสภาพเป็นกรดไขมันอิสระมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Bafor และ Osagie (1986) ที่พบว่าการสะสมน้ำมันในเนื้อปาล์ม (mesocarp) ในสัปดาห์ที่ 6 หลังจากการผสมเกสรมีปริมาณพียงเล็กน้อย แต่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 18-22 ซึ่งทะลายปาล์มน้ำมันจะสุกพอดี หลังจากนั้นการสะสมน้ำมันจะลดลง

Table 6 Crude palm oil yield from different combination of fruit ripeness (Orchard 1)

Treatment	Yield (% dry basis of FFB)	
	Dried	Undried
A	41.54±1.31[b]	45.53±0.23[b]
B	49.18±1.23[c]	51.50±0.07[c]
C	58.74±0.36[d]	62.98±0.11[d]
D	38.59±0.71[a]	41.68±0.03[a]
A	41.54±1.31[b]	45.53±0.23[b]
AB	45.09±0.13[c]	49.48±0.29[c]
AC	49.87±0.21[d]	52.68±0.18[d]
AD	39.74±0.27[a]	43.05±0.07[a]
B	49.18±1.23[c]	51.50±0.07[c]
BA	45.09±0.13[b]	49.48±0.29[b]
BC	54.85±0.19[d]	56.77±0.17[d]
BD	44.13±0.11[a]	46.43±0.33[a]
C	58.74±0.36[d]	62.98±0.11[d]
CA	49.87±0.21[b]	52.68±0.18[b]
CB	54.85±0.19[c]	56.77±0.17[c]
CD	48.13±0.25[a]	51.86±0.18[a]
D	38.59±0.71a	41.68±0.03a
DA	39.74±0.27b	43.05±0.07b
DB	44.13±0.11c	46.43±0.33c
DC	48.13±0.25d	51.86±0.18d
ABC	53.00±0.17d	56.75±0.45c
ABD	42.27±0.14a	48.65±1.51a
ACD	47.99±0.08b	52.69±0.22b
BCD	52.10±0.05c	52.67±0.19b
ABCD	47.80±0.08	49.82±0.15

A = Unripe B = Under ripe C= Ripe D = Over ripe

[a,b,c,d] different letters in the same column of each group indicate significantly differences ($p<0.05$)

เมื่อทำการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มที่มีระดับความสุกต่างกัน ผสมกันในอัตราส่วน 0.5:0.5 ในกลุ่มของการผสมโดยใช้ผลปาล์มระดับดิบ (A) ด้วย พบว่าปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบเพิ่มขึ้น เมื่อระดับความสุกของผลปาล์มที่มาผสมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่จะลดลงเมื่อใช้การผสมกับผลปาล์มระดับเน่า (D) ทั้งแบบการเตรียมตัวอย่างแบบอบแห้งและไม่อบแห้ง (Table 6) โดยปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดโดยใช้ปาล์มระดับดิบ (A) มาผสมกับระดับก่อนสุก ระดับสุก และระดับเน่า มีค่าเท่ากับร้อยละ 41.54, 45.09, 49.87 และ 39.74 สำหรับตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง (A, AB, AC และ AD) และมีค่าเท่ากับร้อยละ 45.53, 49.48, 52.68 และ 43.05 ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้ง ซึ่งการใช้ผลปาล์มระดับดิบ ผสมกับปาล์มที่มีระดับความสุกเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่จะลดลงเมื่อผสมกับผลปาล์มระดับเน่า โดยชุดการทดลองที่ใช้ส่วนผสมของปาล์มระดับดิบผสมกับระดับสุกในอัตราส่วน 0.5:0.5 (AC) มีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 49.87 และ 52.68 ของน้ำหนักแห้ง สำหรับตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งและมาผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Tan *et al* (2000) กล่าวว่าปาล์มสุกมีปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบสูงที่สุด การสกัดน้ำมันโดยใช้ปาล์มดิบมีปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบน้อย แต่เมื่อผสมกับระดับความสุกอื่นๆ ทำให้มีปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Bafor และ Osagie (1986) พบว่าการสะสมน้ำมันในเนื้อปาล์ม ในสัปดาห์ที่ 6 หลังจากการผสมเกสรมีปริมาณพียงเล็กน้อย แต่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 18-22 ซึ่งเป็นระยะที่ทะลายปาล์มน้ำมันสุกพอดี หลังจากนั้นการสะสมน้ำมันจะลดลง

ส่วนการใช้ผลปาล์มระดับก่อนสุก(B) ในอัตราส่วน 0.5:0.5 ผสมกับระดับดิบ สุก และเน่า (BA, BC และ BD) ให้ปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบ เท่ากับร้อยละ 49.18, 45.09, 54.85, และ 44.13 ของน้ำหนักแห้งของตัวอย่างที่เตรียมโดยผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้ง มีแนวโน้มที่มีค่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบการใช้ส่วนผสมของปาล์มระดับก่อนสุก และปาล์มระดับสุก (BC) มีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 54.85 และ 56.77 ของน้ำหนักแห้ง จากตัวอย่างที่ผ่านการอบ และไม่อบ ตามลำดับ และการใช้ปาล์มระดับสุกไปผสมกับปาล์มระดับอื่นๆ มีผลให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ลดลง และเมื่อใช้ปาล์มเน่าซึ่งมีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้น้อยที่สุดมาผสมกับปาล์มระดับอื่น มีผลให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้น ทั้งตัวอย่างที่เตรียมโดยผ่านและไม่ผ่านการอบ

ส่วนการใช้ผลปาล์มระดับสุก(C) ในอัตราส่วน 0.5 : 0.5 ผสมกับระดับดิบ ก่อนสุก และเน่า (CA, CB และ CD) มีปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบเท่ากับร้อยละ 58.74, 49.87, 54.85 และ 48.13 ของน้ำหนักแห้ง สำหรับตัวอย่าง C, CA, CB และ CD ที่ผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้ง Table 6 การใช้ส่วนผสมของปาล์มระดับสุก (C) ซึ่งมีปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ58.74 และ 62.98 ของน้ำหนักแห้งจากตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ ไปผสมกับผลปาล์มที่ระดับความสุกอื่นๆ ทำให้ปริมาณผลผลิตของ

น้ำมันปาล์มดิบลดลง และเมื่อผสมกับผลปาล์มระดับดิบมีปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Tan และคณะ (2009) ที่กล่าวว่าผลปาล์มที่ยังไม่สุกจะมีองค์ประกอบของน้ำมันน้อยมาก แต่เมื่อสุกจะมีองค์ประกอบของน้ำมันสูงถึงร้อยละ 70-75 ของน้ำหนักทะลายปาล์มสด จึงกล่าวได้ว่าปาล์มที่มีความสุกที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวเพื่อนำไปสกัดน้ำมันให้ได้ปริมาณสูงที่สุด คือ ปาล์มระดับสุก(C)

ส่วนการใช้ผลปาล์มระดับเน่า (D) ผสมกับปาล์มระดับ ดิบ ก่อนสุก และสุก (DA, DB และ DC) พบว่า ปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดจากปาล์มระดับเน่า (D) เท่ากับร้อยละ 38.59 และ 41.68 ของน้ำหนักแห้งของตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ ผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบจากปาล์มเน่า ผสมกับปาล์ม ดิบ ก่อนสุก และสุก (DA, DB และ DC) มีค่าท่ากับร้อยละ 39.74, 44.13 และ 48.13 ของน้ำหนักแห้งสำหรับตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง และมีค่าเท่ากับร้อยละ 43.05, 46.43 และ 51.86 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

การสกัดน้ำมันโดยใช้ส่วนผสมของปาล์ม 3 ระดับความสุกในอัตราส่วน 0.33:0.33:0.33 (ABC, ABD, ACD และ BCD) พบว่าชุดการทดลอง ABC มีปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 53.00 และ 56.75 ของน้ำหนักแห้ง สำหรับตัวอย่างที่ผ่านและมาผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ แต่การสกัดโดยใช้ผลปาล์มที่มีระดับความสุกทั้งสี่ระดับในอัตราส่วน 0.25 : 0.25 : 0.25 : 0.25 พบว่ามีปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบเท่ากับร้อยละ 47.80 และ 49.82 ของน้ำหนักแห้ง สำหรับตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ

2.2 วัตถุดิบจากสวนที่ 2 เตรียมตัวอย่างโดยการอบแห้งและไม่อบแห้ง

ผลของระดับความสุกของผลปาล์มดิบต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบจากสวนที่ 2 โดยการอบแห้ง และไม่ผ่านการอบแห้ง Table 7 พบว่าระดับความสุกของปาล์มน้ำมันมีผลต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ภาคผนวก ค) จากการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธี โดยพบว่าเมื่อระดับความสุกของผลปาล์มเพิ่มขึ้น ปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบเพิ่มขึ้นแต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ปาล์มเน่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองจากสวนที่ 1 ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากปาล์มน้ำมันที่มีระดับความสุกเพียงระดับเดียวคือ ปาล์มดิบ (A) ปาล์มก่อนสุก (B) ปาล์มสุก (C) และปาล์มเน่า (D) ที่ผ่านการอบแห้ง เท่ากับร้อยละ 40.41, 48.14, 60.48 และ36.39 ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ สำหรับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้งพบว่ามีแนวโน้มที่สูงกว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งเล็กน้อย คือ เท่ากับร้อยละ 43.37, 50.34, 59.78 และ 40.30 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากความร้อนมีผลทำให้ผนังเนื้อเยื่อถูกทำลาย น้ำมันอาจสูญเสียไประหว่างการอบแห้ง ผลปาล์ม

ที่อยู่ในระดับสุก มีพัฒนาการสุกทางสรีรวิทยา และมีความแก่เต็มที่ จึงทำให้มีปริมาณน้ำมันสะสมในผลปาล์มสูงที่สุด (Sukaribin and Khalid, 2009) จึงจัดว่าเป็นระยะที่มีความสุกพอเหมาะต่อการเก็บเกี่ยว

เมื่อทำการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มที่มีระดับความสุกต่างกัน ผสมกันในอัตราส่วน 0.5:0.5 ในกลุ่มของการผสมโดยใช้ผลปาล์มระดับดิบ (A) ด้วย พบว่าปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบเพิ่มขึ้น เมื่อระดับความสุกของผลปาล์มที่มาผสมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่จะลดลงเมื่อใช้การผสมกับผลปาล์มระดับเน่า (D) ทั้งแบบการเตรียมตัวอย่างแบบอบแห้งและไม่อบแห้ง (Table 7) โดยปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดโดยใช้ปาล์มระดับดิบ (A) มาผสมกับระดับก่อนสุก ระดับสุก และระดับเน่า มีค่าเท่ากับร้อยละ 40.41, 45.61, 50.62 และ 37.74 สำหรับตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง (A, AB, AC และ AD) และมีค่าเท่ากับร้อยละ 43.37, 46.46, 50.62 และ 41.71 ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้ง ซึ่งการใช้ผลปาล์มระดับดิบ ผสมกับปาล์มที่มีระดับความสุกเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่จะลดลงเมื่อผสมกับผลปาล์มระดับเน่า โดยชุดการทดลองที่ใช้ส่วนผสมของปาล์มระดับดิบผสมกับระดับสุกในอัตราส่วน 0.5:0.5 (AC) มีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 50.62 และ 50.62 ของน้ำหนักแห้ง สำหรับตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งและมาผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ

การใช้ผลปาล์มระดับก่อนสุก(B) ในอัตราส่วน 0.5:0.5 ผสมกับระดับดิบ สุก และเน่า (BA, BC และ BD) ให้ปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบ เท่ากับร้อยละ 48.14, 45.61, 53.46 และ 43.28 ของน้ำหนักแห้งของตัวอย่างที่เตรียมโดยผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้ง มีแนวโน้มที่มีค่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบการใช้ส่วนผสมของปาล์มระดับก่อนสุก และปาล์มระดับสุก (BC) มีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 53.46 และ 51.88 ของน้ำหนักแห้ง จากตัวอย่างที่ผ่านการอบ และไม่อบแห้ง ตามลำดับ และการใช้ปาล์มระดับสุกไปผสมกับปาล์มระดับอื่นๆ มีผลให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ลดลง

ส่วนการใช้ผลปาล์มระดับสุก(C) ในอัตราส่วน 0.5 : 0.5 ผสมกับระดับดิบ ก่อนสุก และเน่า (CA, CB และ CD) มีปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบเท่ากับร้อยละ 60.48, 50.62, 53.46 และ 47.81 ของน้ำหนักแห้ง สำหรับตัวอย่าง C, CA, CB และ CD ที่ผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้ง Table 7 การใช้ส่วนผสมของปาล์มระดับสุก (C) ซึ่งมีปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 60.48 และ 59.78 ของน้ำหนักแห้งจากตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ ไปผสมกับผลปาล์มที่ระดับความสุกอื่นๆ ทำให้ปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบลดลง และเมื่อผสมกับผลปาล์มระดับดิบมีปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบน้อยที่สุด จึงกล่าวได้ว่าปาล์มที่มีความสุกที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวเพื่อนำไปสกัดน้ำมันให้ได้ปริมาณสูงที่สุดคือปาล์มระดับสุก(C)

Table 7 Crude palm oil yield from different combination of fruit ripeness (Orchard 2)

Treatment	Yield (% dry basis of FFB)	
	Dried	Undried
A	40.41±0.34^{b}	43.37±0.01^{b}
B	48.14±0.07^{c}	50.34±0.02^{c}
C	60.48±0.77^{d}	59.78±0.01^{d}
D	36.69±1.17^{a}	40.30±0.10^{a}
A	40.41±0.34^{b}	43.37±0.01^{b}
AB	45.61±0.69^{c}	46.46±0.10^{c}
AC	50.62±0.18^{d}	50.62±0.01^{d}
AD	37.74±0.08^{a}	41.71±0.02^{a}
B	48.14±0.07^{c}	50.34±0.02^{c}
BA	45.61±0.69^{b}	46.46±0.10^{b}
BC	53.46±0.22^{d}	51.88±0.01^{d}
BD	43.28±0.50^{a}	43.33±0.09^{a}
C	60.48±0.77^{d}	59.78±0.01^{d}
CA	50.62±0.18^{b}	50.62±0.01^{b}
CB	53.46±0.22^{c}	51.88±0.01^{c}
CD	47.81±0.48^{a}	47.43±0.03^{a}
D	36.69±1.17^{a}	40.30±0.10^{a}
DA	37.74±0.08^{b}	41.71±0.02^{b}
DB	43.28±0.50^{c}	43.33±0.09^{c}
DC	47.81±0.48^{d}	47.43±0.03^{d}
ABC	53.32±0.59^{d}	52.39±0.08^{d}
ABD	41.64±0.08^{a}	46.17±0.00^{a}
ACD	47.36±0.58^{b}	49.17±0.06^{b}
BCD	51.88±0.09^{c}	50.50±0.04^{c}
ABCD	47.13±0.74	48.55±0.03

A = Unripe B = Under ripe C= Ripe D = Over ripe

^{a,b,c,d} different letters in the same column of each group indicate significantly differences ($p<0.05$)

สำหรับการใช้ผลปาล์มระดับเน่า (D) ผสมกับปาล์มระดับ ดิบ ก่อนสุก และสุก (DA, DB และ DC) พบว่า ปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดจากปาล์มระดับเน่า (D) เท่ากับร้อยละ 36.69 และ40.30 ของน้ำหนักแห้งของตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ ผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบจากปาล์มเน่า ผสมกับปาล์ม ดิบ ก่อนสุก และสุก (DA, DB และ DC) มีค่าท่ากับร้อยละ 37.74, 43.28 และ 47.81 ของน้ำหนักแห้งสำหรับตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง และมีค่าเท่ากับร้อยละ 41.71, 43.33 และ 47.43 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

การสกัดน้ำมันโดยใช้ส่วนผสมของปาล์ม 3 ระดับความสุกในอัตราส่วน 0.33:0.33:0.33 (ABC, ABD, ACD และ BCD) พบว่าชุดการทดลอง ABC มีปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบสูงที่สุด ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันกับสวนที่ 1 มีค่าเท่ากับร้อยละ 53.32 และ 52.39 ข องน้ำหนักแห้ง สำหรับตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ แต่การสกัดโดยใช้ผลปาล์มที่มีระดับความสุกทั้งสี่ ในอัตราส่วน 0.25 : 0.25 : 0.25 : 0.25 พบว่ามีปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบเท่ากับร้อยละ 47.13 และ 48.55 ของน้ำหนักแห้ง สำหรับตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ

2.3 วัตถุดิบรวมสวน เตรียมตัวอย่างโดยการอบแห้งและไม่อบแห้ง

ผลของระดับความสุกของปาล์มน้ำมันมีผลต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้วัตถุดิบรวมจาก 2 สวน พบว่าระดับความสุกของปาล์มน้ำมันมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และมีแนวโน้มลดลงเมื่อสกัดน้ำมันจากปาล์มเน่าดังแสดง Figure 6 โดยปริมาณน้ำมันที่สกัดจากปาล์มที่มีความสุกเพียงระดับเดียว คือปาล์มดิบ (A) ปาล์มก่อนสุก (B) ปาล์มสุก (C) และปาล์มเน่า (D) เท่ากับร้อยละ 40.97, 48.66, 59.61 และ 37.64 ของน้ำหนักแห้งจากตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง (Figure 6 a) และมีค่าเท่ากับร้อยละ 44.45, 50.92, 61.38 และ 40.99 ของน้ำหนักแห้งสำหรับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้ง (Figure 6 b) ตามลำดับ และพบว่าปาล์มที่มีระดับความสุกต่างกันให้น้ำมันต่างกัน โดยเรียงลำดับจากน้อยไปมาก ได้แก่ ปาล์มเน่า ปาล์มดิบ ปาล์มก่อนสุก และปาล์มสุก ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามรายงานที่กล่าวว่าผลปาล์มที่มีความสุกพอเหมาะพร้อมที่จะเก็บเกี่ยว ควรมีความสุกทางสรีรวิทยา(physiological ripe) ประมาณร้อยละ 85 ของผลปาล์มทั้งทะลาย มีความแก่เต็มที่โดยไม่มีการสังเคราะห์น้ำมันเพิ่มขึ้น แต่มีการสะสมน้ำมันสูงที่สุด (Sukaribin and Khalid, 2009)

การสกัดน้ำมันจากผลปาล์มที่มีความสุกระดับดิบ (A) เพียงระดับเดียว และการ ผสมกับระดับก่อนสุก สุก และเน่า (AB, AC และ AD) ในอัตราส่วน 0.5 : 0.5 พบว่าระดับความสุกของผลปาล์มดิบมีผลต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งตัวอย่างที่เตรียมโดยผ่านและไม่ผ่านการอบ โดยเมื่อใช้ผลปาล์มระดับดิบ (A) ผสมกับปาล์มที่มีระดับความสุกเพิ่มขึ้น ปริมาณ

น้ำมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่จะลดลงเมื่อผสมกับผลปาล์มระดับเน่า (AD) Figure 6 (a)ปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากปาล์มดิบ (A) เท่ากับร้อยละ 40.97 และ 44.45 ของน้ำหนักแห้งจากตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการอบ ตามลำดับ ปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากปาล์มดิบผสมกับผลปาล์มระดับ ก่อนสุก สุก และเน่า (AB, AC และ AD) จากตัวอย่างที่ผ่านการอบ มีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบ ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่อสกัดน้ำมันโดยใช้การผสมของผลปาล์มที่ความสุกระดับสูงขึ้นทำให้มีปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบเพิ่มขึ้นด้วย

การสกัดน้ำมันจากผลปาล์มที่มีความสุกระดับก่อนสุก (B) เพียงระดับเดียว และ ผสมกับระดับดิบ สุก และเน่า (BA, BC และ BD) ในอัตราส่วน 0.5 : 0.5 พบว่าผลปาล์มระดับก่อนสุกมีผลต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบอย่างมีนัยสำคัญ ($p< 0.05$) เมื่อใช้ผลปาล์มระดับก่อนสุก ผสมกับผลปาล์มระดับดิบ สุก และเน่า (BA, BC และ BD) มีร้อยละของผลผลิต เท่ากับร้อยละ 45.35, 54.16 และ 43.70 ของน้ำหนักแห้งเมื่อใช้ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง และมีค่าเท่ากับร้อยละ 47.97, 54.32 และ 44.88 ของน้ำหนักแห้งเมื่อใช้ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ

ผลของระดับความสุกของผลปาล์มดิบต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้การสกัดน้ำมันจากผลปาล์มที่มีความสุกระดับสุก (C) เพียงระดับเดียว และการใช้ผลปาล์มระดับสุก ผสมกับระดับดิบ ก่อนสุก และเน่า (CA, CB และ CD) ในอัตราส่วน 0.5 : 0.5 พบว่าระดับความสุกของผลปาล์มดิบมีผลต่อผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) การสกัดน้ำมันโดยใช้ผลปาล์มระดับสุก (C) มีปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 59.61 และ 61.38 ของน้ำหนักแห้ง เมื่อใช้ตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ แต่เมื่อนำไปผสมกับผลปาล์มระดับความสุกอื่นๆ มีผลให้ปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบลดลง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าผลปาล์มที่มีความสุกพอเหมาะแก่การเก็บเกี่ยวเพื่อนำไปสกัดน้ำมันให้มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด คือปาล์มระดับสุก (C)

สำหรับการสกัดน้ำมันจากผลปาล์มที่มีความสุกระดับเน่า (D) เพียงระดับเดียว และผสมกับระดับดิบ ก่อนสุก และสุก (DA, DB และ DC) ในอัตราส่วน 0.5 : 0.5 พบว่าระดับความสุกของผลปาล์มดิบมีผลต่อผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดจากปาล์มระดับเน่า (D) เท่ากับร้อยละ 37.64 และ40.99 ของน้ำหนักแห้ง เมื่อใช้ตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ และเมื่อผสมกับผลปาล์มระดับ ดิบ ก่อนสุก และสุก (DA, DB และ DC) จะได้ผลผลิตเท่ากับร้อยละ 38.74, 43.70 และ 47.97 ของน้ำหนักแห้งเมื่อใช้ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง และได้ผลผลิตเท่ากับร้อยละ 42.38, 44.88 และ 49.64 ของน้ำหนักแห้งเมื่อใช้ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้ง ตามลำดับ

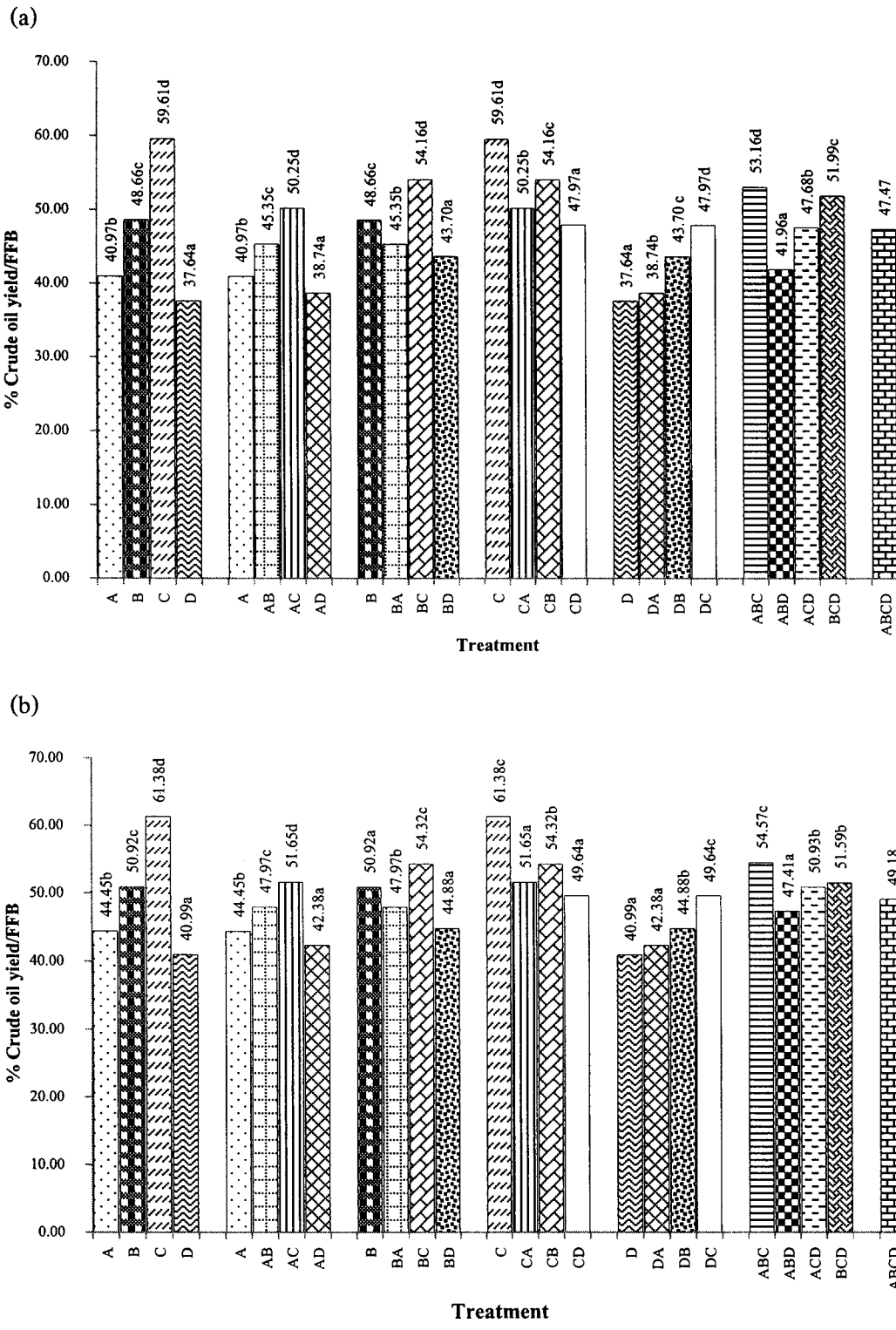


Figure 6 Crude palm oil yields extracted from dried mesocarp (a) and undried mesocarp (b) from combined orchards

[a,b,c,d] different letters in the same group indicate significantly differences ($p<0.05$)

สำหรับชุดการทดลองที่มีส่วนผสมของปาล์มทั้ง 3 ระดับ ในอัตราส่วน 0.33:0.33:0.33 (ABC, ABD, ACD และ BCD) พบว่าชุดการทดลอง ABC มีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงสุด ทั้งตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการอบแห้ง การสกัดน้ำมันโดยใช้ผลปาล์มทั้ง 4 ระดับความสุกในอัตราส่วน 0.25:0.25:0.25:0.25 พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เท่ากับร้อยละ 47.47 ของน้ำหนักแห้ง เมื่อใช้ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง และพบว่ามีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้ง ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 49.18 ของน้ำหนักแห้ง

3. ผลของระดับความสุกของผลปาล์มสดต่อปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบ

เนื่องจากผลการทดลองเบื้องต้น พบว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้ง มีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับ จึงไม่เลือกใช้ตัวอย่างน้ำมันชุดดังกล่าวมาศึกษา แต่เลือกตัวอย่าง ที่ผ่านการอบแห้ง ซึ่งอาจได้รับผลกระทบจากความร้อนมากกว่ามาใช้ในการทดลองนี้ ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบจากวัตถุดิบรวมสวน ในรูปของกรดปาล์มมิติก ด้วยวิธี IUPAC (1979) พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบในทุกชุดการทดลองอยู่ในปริมาณที่ยอมรับได้คือ น้อยกว่าร้อยละ 5 (กรมวิชาการเกษตร, 2547) (Table 8) โดยปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบ (A) ปาล์มก่อนสุก (B) ปาล์มสุก (C) และปาล์มเน่า (D) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความสุกของผลปาล์มเพิ่มขึ้น เท่ากับร้อยละ 1.98±0.01, 2.58±0.87, 3.08±0.02 และ 4.24±0.18 ตามลำดับ สำหรับผลปาล์มที่อยู่ในระดับเน่า (D) มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงสุด อาจเนื่องจากการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันที่มีความสุกเกินไปซึ่งมีความอ่อนนิ่ม อาจทำให้ผนังเซลล์ที่หุ้มน้ำมัน (ถุงน้ำมัน) แตกได้ง่ายกว่าผลปาล์มน้ำมันที่มีความสุกพอดี หรือผลปาล์มน้ำมันที่ยังไม่สุก นอกจากนี้การเก็บเกี่ยวผลปาล์มน้ำมันในระยะที่มีความสุกเพิ่มมากขึ้น อาจส่งผลให้การทำงานของเอนไซม์ไลเปส ซึ่งสามารถเปลี่ยนกลีเซอร์ไรด์ให้กลายเป็นกลีเซอรอลกับกรดไขมันอิสระเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ ศักดิ์ศิลป์ โชติกุล และคณะ (2541) ที่กล่าวไว้ว่าเมื่อผลปาล์มเริ่มสุก จะมีกรดไขมันอิสระน้อย แต่เมื่อเราตัดทะลายปาล์มออกจากต้น กรดไขมันจะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 1-5 ภายในเวลา 20 นาที นอกจากนี้ยังพบว่าการกระทบกระเทือนระหว่างการเก็บเกี่ยวและการขนส่ง จะทำให้เซลล์ในชั้นเปลือกของผลปาล์มถูกทำลาย ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้มีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานที่พบว่า ทะลายปาล์มน้ำมันที่ได้รับการบอบช้ำมากจะมีกรดไขมันอิสระสูงถึงร้อยละ 15.20 ส่วนทะลายปาล์มน้ำมันที่ไม่บอบช้ำจะมีกรดไขมันอิสระเพียงร้อยละ 0.025 (Azis and Tan, 1989)

ปริมาณร้อยละของกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ เมื่อใช้ผลปาล์มระดับดิบ ผสมกับผลปาล์มระดับความสุกอื่นๆ ได้แก่ ก่อนสุก สุก และเน่า (AB, AC และ AD) พบว่าร้อยละของกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยปาล์มดิบมีค่าของกรดไขมัน

อิสระน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 1.98±0.01 โดยน้ำหนัก และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อผสมกับผลปาล์ที่มีระดับความสุกเพิ่มขึ้น เท่ากับร้อยละ 2.43±0.01, 2.54±0.40 และ 2.96±0.14 ตามลำดับ ซึ่งสัมพันธ์กับความสุกของผลปาล์มที่เพิ่มขึ้นด้วย (Siregar, 1976 อ้างโดย Abdullah, 2002)

ส่วนการใช้ผลปาล์มระดับก่อนสุก (B) เพียงระดับเดียว และผสมในอัตราส่วน 0.5:0.5 กับผลปาล์มระดับความสุกอื่นๆ ได้แก่ ดิบ สุก และเน่า (BA , BC และ BD) พบว่าร้อยละของกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบลดลง ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระที่ได้จากปาล์มระดับก่อนสุก ผสมกับระดับสุก และระดับเน่า (BC และ BD) มีร้อยละของปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 2.85±0.05 และ 3.33±0.17 ตามลำดับ

ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากปาล์มระดับสุก(C) เพียงระดับเดียว และผสมกับระดับ ดิบ ก่อนสุก และเน่า (CA, CB และ CD) พบว่าร้อยละของกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อผสมกับระดับความสุกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระที่ได้จากปาล์มเน่า (D) จะมีร้อยละของปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบสูงกว่าระดับความสุกอื่นดังที่กล่าวมาแล้ว

นอกจากนี้ปริมาณกรดไขมันอิสระที่ได้จากการใช้การผสม 3 ระดับความสุกในอัตราส่วน 0.33 : 0.33 : 0.33 ซึ่งได้แก่ ABC, ABD, ACD, BCD มีปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระจากการผสม 4 ระดับความสุกในอัตราส่วน 0.25 : 0.25 : 0.25 : 0.25 (ABCD) มีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ ร้อยละ 3.03±0.05 โดยน้ำหนัก

Table 8 Free fatty acid of crude palm oil extracted from different ripeness

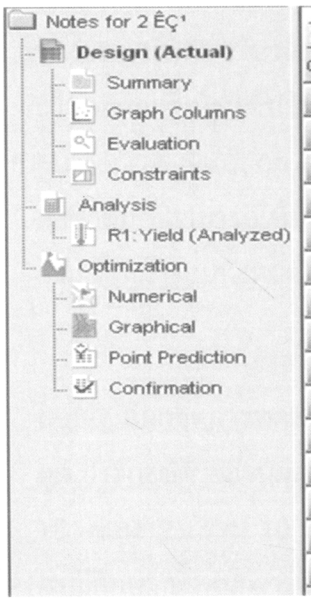
Treatment	Free fatty acid (%)
A	1.98±0.01 [a]
B	2.58±0.87 [b]
C	3.08±0.02 [c]
D	4.24±0.18 [d]
A	1.98±0.01 [a]
AB	2.43±0.01 [b]
AC	2.54±0.40 [c]
AD	2.96 [d] ±0.14 [d]
B	2.58±0.87 [b]
BA	2.43±0.01 [a]
BC	2.85±0.05 [c]
BD	3.33±0.17 [d]
C	3.08±0.02 [c]
CA	2.54±0.40 [a]
CB	2.85±0.05 [b]
CD	3.59±0.08 [d]
D	4.24±0.18 [d]
DA	2.96±0.14 [a]
DB	3.33±0.17 [b]
DC	3.59±0.08 [c]
ABC	2.68±0.08 [a]
ABD	2.91±0.06 [b]
ACD	3.00±0.05 [c]
BCD	3.26±0.01 [d]
ABCD	3.03±0.05

A = Unripe B = Under ripe C= Ripe D = Over ripe

[a,b,c,d] in the same column for each group indicate significant different ($p<0.05$)

4. ความสัมพันธ์ของระดับความสุกและปริมาณของผลปาล์มต่อปริมาณของน้ำมันปาล์มดิบ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของระดับความสุกและปริมาณผลปาล์มดิบต่อปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ จากปาล์มน้ำมันแบบรวมสวนที่มาจาก 2 สวนๆละ 2 ครั้งๆละ3 ซ้ำ ตามชุดการทดลองในข้อ 2. ซึ่งเป็นการทดลองแบบ Simplex Centroid Design โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design expert version 8.0.4 ซึ่งแสดงสภาวะที่เหมาะสม (Optimization) ของระดับความสุกและปริมาณของผลปาล์มที่สามารถสกัดน้ำมันได้สูงสุด รายละเอียดของการใช้โปรแกรมดังแสดงในภาคผนวก ง ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองคือ ระดับความสุกของปาล์มน้ำมัน 4 ระดับ คือ ปาล์มดิบ(A) ปาล์มก่อนสุก(B) ปาล์มสุก(C) และปาล์มเน่า(D) และน้ำหนักของปาล์มน้ำมันที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0 – 20 กรัม และกำหนดค่าตอบสนอง คือ น้ำหนักปาล์มดิบที่สกัดได้ ดังแสดงใน Figure 7



Select	Std	Run	Component 1 A:unripe g	Component 2 B:under ripe g	Component 3 C:ripe g	Component 4 D:over ripe g	Response 1 Yield g
	1	13	20.000	0.000	0.000	0.000	11.490
	2	7	0.000	20.000	0.000	0.000	13.000
	3	3	0.000	0.000	20.000	0.000	14.680
	4	14	0.000	0.000	0.000	20.000	12.670
	5	6	10.000	10.000	0.000	0.000	12.450
	6	2	10.000	0.000	10.000	0.000	13.300
	7	15	10.000	0.000	0.000	10.000	11.930
	8	12	0.000	10.000	10.000	0.000	13.910
	9	9	0.000	10.000	0.000	10.000	13.170
	10	10	0.000	0.000	10.000	10.000	13.940
	11	4	6.667	6.667	6.667	0.000	14.440
	12	11	6.667	6.667	0.000	6.667	12.360
	13	1	6.667	0.000	6.667	6.667	13.720
	14	5	0.000	6.667	6.667	6.667	14.690
	15	8	5.000	5.000	5.000	5.000	13.420

Figure 7 Data of crude palm oil from different ripeness combination

เมื่อเลือกคำสั่ง Analysis ภายใต้หัวข้อการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของระดับความสุกและปริมาณของผลปาล์มดิบต่อปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ ทั้งหมด 3 แบบ คือ L-Pseudo Component, Real Component และ Actual Component (Table 9) ซึ่งทั้งหมดมีความสัมพันธ์กัน แต่ได้เลือกสมการที่เหมาะสม คือ

$$Yield = 11.66A+13.38B+15.20C+12.87D$$

โดย A คือปริมาณผลปาล์มดิบ B คือปริมาณผลปาล์มก่อนสุก
C คือปริมาณผลปาล์มสุก D คือปริมาณผลปาล์มเน่า

Table 9 Output from ANOVA analysis* showing equation for yield of crude palm oil

Form of equation	Equation for yield of crude palm oil
L-Pseudo Component	Yield = 11.66A+13.38B+15.20C+12.87D
Real Component	Yield = 11.66369A+13.37576B+15.20266C+12.86990D
Actual Component	Yield = 0.58A+0.68B+0.76B+0.76C+0.64D

* From Design Expert v.8.0.4

นอกจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของระดับความสุกและปริมาณของผลปาล์มต่อปริมาณน้ำมันปาล์มดิบแล้ว ยังสามารถหาสภาวะที่เหมาะสม (Optimization) โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบสูงสุด จึงเลือกคำสั่ง Optimization ภายใต้หัวข้อ Numerical Solution ผลที่ได้คือรูปแบบหรือสภาวะของปัจจัยที่ศึกษา คือระดับความสุกและปริมาณผลปาล์ม ที่สามารถให้ผลผลิตปริมาณน้ำมันปาล์มดิบจากตัวอย่างเริ่มต้นของเนื้อปาล์มนึ่ง จำนวน 20 กรัม ที่เหมาะสมทั้งหมด 21 แบบ (Table 10)

หลังจากนั้นได้ทำการทดลองจริงเพื่อยืนยันผลจากการประเมินโดยโปรแกรมสำเร็จรูป โดยคัดเลือกชุดการทดลอง ที่มีการใช้ผลปาล์ม 2 ระดับความสุก, 3 ระดับความสุก และ 4 ระดับความสุก ประกอบด้วยส่วนผสมของผลปาล์มที่มีระดับความสุกต่างกัน ในแบบ 4, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 17, 18 และ 21 รวม 10 ชุดการทดลอง (Table 10) ใช้ตัวอย่างปาล์มน้ำมันจากลานเทของโรงงานกรณีศึกษา น้ำหนักรวมชุดการทดลองละ 20 กรัม ทำการสกัดน้ำมันโดยเตรียมตัวอย่างที่ผ่านการอบด้วยความร้อน เช่นเดียวกับข้อ 2.2 ในวิธีการวิจัย ผลการทดลอง พบว่าปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดโดยการผสมของปาล์มระดับก่อนสุกและระดับสุก (BC) ในปริมาณแตกต่างกันในอัตราส่วน 1:4, 1:8 1:16 และ 1:54 (ทรีตเมนต์ที่ 1-4) มีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อยู่ในช่วง 13.33 ถึง 13.43 กรัม การใช้ปาล์มที่มีระดับความสุก (C) มากขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงขึ้น ($p<0.05$) ส่วนการใช้ผลปาล์มที่ระดับสุกผสมกับผลปาล์มเน่าในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (ทรีตเมนต์ที่ 5-6) ไม่ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) การใช้ผลปาล์มที่มีระดับความสุกต่างกัน 3 ระดับ (ทรีตเมนต์ที่ 7-9) สามารถสกัดน้ำมันได้ในปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยพบว่าการใช้ผลปาล์มที่มีระดับความสุกสูงขึ้น จะให้ปริมาณน้ำมันที่มากขึ้น สำหรับการใช้ผลปาล์มที่มีความสุกผสมทั้ง 4 ระดับ (ทรีตเมนต์ที่ 10) ให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เท่ากับ 14.05 กรัม จากตัวอย่างเริ่มต้น 20 กรัม

Table 10 The numerical solution for maximum crude palm oil

Number of Solution	Weight of steamed mesocarp (g)				Crude palm oil Yield (g)	Selected for confirmation
	Unripe	Under ripe	Ripe	Over ripe		
1	0.00	5.50	14.50	0.00	14.70	
2	0.00	4.85	15.15	0.00	14.76	
3	0.00	0.00	20.00	0.00	15.20	
4	0.00	1.56	17.56	0.88	14.96	9
5	0.00	2.06	17.63	0.31	14.98	
6	0.00	3.41	16.59	0.00	14.89	
7	0.00	4.327	15.67	0.00	14.81	
8	0.00	3.73	16.36	0.00	14.86	1
9	0.00	0.36	19.64	0.00	15.17	4
10	0.00	2.74	17.26	0.00	14.95	
11	0.00	0.00	19.64	0.36	15.16	6
12	0.00	2.20	17.80	0.00	15.00	2
13	0.00	3.06	16.26	0.68	14.84	8
14	0.00	1.16	18.84	0.00	15.10	3
15	0.45	3.52	15.11	0.92	14.70	
16	0.00	5.18	14.82	0.00	14.73	
17	0.00	0.00	16.88	3.12	14.84	5
18	0.52	0.00	18.25	1.23	14.97	7
19	1.26	0.00	18.74	0.00	14.98	
20	1.46	0.00	16.88	1.66	14.75	
21	0.04	1.32	18.06	0.575	15.01	10

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากการทดลองจริง กับผลที่ได้จากการประเมินโดยโปรแกรมสำเร็จรูป พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากการทดลองจริงทุกทรีตเมนต์มีค่าต่ำกว่าค่าจากการประเมินด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ทั้งนี้อาจ

เป็นเพราะใช้ตัวอย่างคนละช่วงเวลา ซึ่งอาจมีความแปรปรวนจากสภาพของวัตถุดิบเริ่มต้น แต่พบว่ามีแนวโน้มไปในแนวเดียวกับค่าที่ได้จากการประเมินด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป เช่น การใช้ผลปาล์มระดับความสุก 2 ระดับผสมกัน พบว่าเมื่อใช้ผลปาล์มระดับสุก (C) ผสมกับระดับก่อนสุก (B) และระดับเน่า (D) ในอัตราส่วนที่มีระดับสุกเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นด้วย ทั้งจากการทดลองจริงและจากการประเมิน นอกจากนี้เมื่อคำนวณความแตกต่างของปริมาณน้ำมันระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณจากโปรแกรมกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง พบว่ามีความแตกต่างกันช่วงร้อยละ11.47-12.95, 8.00-9.90 และ 4.72-9.67 สำหรับปาล์มที่ผสมระหว่าง BC, CD และกลุ่มที่ใช้ปาล์ม 3 ระดับความสุกตามลำดับ ส่วนการใช้ปาล์มทั้ง 4ระดับความสุกมีความแตกต่างเท่ากับร้อยละ 6.83

Table 11 Yield of crude oil from the selected ripeness combination

Treatment		Ratio of oil palm	Crude oil yield (g)		% Oil Difference*
			Experiment	Calculation	
1	BC1	1:4	$13.33\pm0.00^{a,A}$	14.86^{B}	11.47
2	BC2	1:8	$13.39\pm0.02^{b,A}$	15.00^{B}	12.20
3	BC3	1:16	$13.41\pm0.01^{bc,A}$	15.10^{B}	12.60
4	BC4	1:54	$13.43\pm0.01^{c,A}$	15.17^{B}	12.95
5	CD1	5:1	$13.74\pm0.02^{ns,A}$	14.84^{B}	8.00
6	CD2	54:1	$13.79\pm0.00^{ns,A}$	15.16^{B}	9.90
7	ACD	1:35:2	$13.65\pm0.01^{a,A}$	14.97^{B}	9.67
8	BCD1	4:24:1	$14.17\pm0.01^{b,A}$	14.84^{B}	4.72
9	BCD2	2:20:1	$14.19\pm0.00^{c,A}$	14.96^{B}	5.42
10	ABCD	1:3:42:13	14.05 ± 0.01^{A}	15.01^{B}	6.83

A = unripe B =under ripe C = ripe D = over ripe

* = difference of the calculation from the experiment

^{a,b,c} different letters in the same column of each group indicated significant differences ($p<0.05$)

^{A,B} different letters in the same row indicated significant differences ($p<0.05$)

5. การคำนวณต้นทุนวัตถุดิบทะลายปาล์ม

จากผลการทดลองสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้อัตราส่วนของผลปาล์มที่มีระดับความสุกแตกต่างกัน (Table 11) ซึ่งเป็นผลจากการทดลองซ้ำเพื่อให้สอดคล้องกับแนวทางที่ได้จากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเป็นทางเลือกในการจัดการรวม 10 แบบ เมื่อคำนวณต้นทุนวัตถุดิบแต่ละแบบ ดังแสดงใน Table 12 ดังนี้

ค่าวัตถุดิบทะลายปาล์มน้ำมันสด ในแต่ละระดับความสุกมีความแตกต่างกันเล็กน้อย คือ ระดับสุก (C) มีราคาสูงที่สุด รองลงมาคือระดับก่อนสุก (B) ระดับเน่า (D) และระดับดิบ (A) ตามลำดับ จากข้อมูลราคากลางของการซื้อขายทะลายปาล์มน้ำมัน ของสำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร (2554) ได้กำหนดราคาเฉลี่ยของปี พ.ศ. 2554 คือ ทะลายปาล์มสุก(C) กิโลกรัมละ 4.83 บาท และโรงงานกรณีศึกษาได้กำหนดราคาปาล์มมีความแตกต่างกันตามระดับความสุก คือ ระดับก่อนสุกต่ำกว่าระดับสุก 0.50 บาท ระดับเน่าต่ำกว่าระดับสุก 1.00 บาท และระดับดิบต่ำกว่าระดับสุก 1.50 บาท ทำให้ราคาทะลายปาล์มตามระดับความสุกจาก ดิบ ก่อนสุก สุก และเน่า เท่ากับ 3.33, 4.33, 4.83 และ 3.83 บาท/กก การคิดต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแต่ละรอบ 50 กก ตัวอย่างการคำนวณ เช่น ชุดการทดลองที่ 1 ใช้ปาล์มก่อนสุก (B) 10 กก ผสมกับปาล์มสุก (C) 40 กก คิดเป็นต้นทุนวัตถุดิบ เท่ากับ (10 * 4.33) + (40 * 4.83) บาท และเมื่อเทียบจากวัตถุดิบ 1 ตัน จะมีต้นทุนเท่ากับ 4730.00 บาท เป็นต้น

Table 12 Cost of raw material for crude palm oil extraction

Treatment		Amount of oil palm ripeness (kg)				Oil Yield (% of steamed mesocarp)	Cost of FFB with different ripeness (Baht/ton)
		A	B	C	D		
1	BC1	0.00	10.00	40.00	0.00	$66.65\pm0.00^{a,A}$	4730.00
2	BC2	0.00	5.56	44.44	0.00	$66.95\pm0.02^{b,B}$	4774.40
3	BC3	0.00	2.94	47.06	0.00	$67.05\pm0.01^{bc,BC}$	4800.60
4	BC4	0.00	0.91	49.09	0.00	$67.15\pm0.01^{c,C}$	4821.00
5	CD1	0.00	0.00	41.67	8.33	$68.70\pm0.02^{ns,E}$	4663.00
6	CD2	0.00	0.00	49.09	0.91	$68.95\pm0.00^{ns,F}$	4811.80
7	ACD	1.32	0.00	46.05	2.63	$68.25\pm0.01^{a,D}$	4737.80
8	BCD1	0.00	6.90	41.38	1.72	$70.85\pm0.01^{b,H}$	4726.60
9	BCD2	0.00	4.35	43.48	2.17	$70.95\pm0.00^{c,H}$	4743.20
10	ABCD	0.85	2.54	35.59	11.02	70.25 ± 0.01^{G}	4558.80

^{a,b,c} different letters in the same column of each group indicated significant differences ($p<0.05$)

^{A,B} different letters in the same column indicated significant differences ($p<0.05$)

การใช้วัตถุดิบของทะลายปาล์มน้ำมันสดในอัตราส่วนต่างกัน จะส่งผลให้ต้นทุนค่าวัตถุดิบแตกต่างกัน โดยเมื่อพิจารณากลุ่มของการผสมโดยใช้ปาล์มในระดับความสุกเหมือนกัน แต่ใช้อัตราส่วนแตกต่างกัน (กลุ่มที่ใช้ 2 ระดับความสุก คือชุดการทดลองที่ 1-6) พบว่าการใช้ส่วนผสมของ

ปาล์มที่มีระดับสุกสูงมากกว่าในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้มีค่าต้นทุนวัตถุดิบของทะลายปาล์มน้ำมันสดสูงขึ้น ส่วนการผสม 3 ระดับความสุก (ชุดการทดลองที่ 7-9) ให้ผลในทำนองเดียวกัน คือเมื่อใช้ปาล์มที่มีระดับความสุกที่สูงกว่าในปริมาณที่มากกว่า ส่งผลต่อต้นทุนวัตถุดิบที่มากกว่าด้วย และการผสมของปาล์มทั้ง 4 ระดับความสุก มีค่าต้นทุนวัตถุดิบน้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาในภาพรวมทุกชุดการทดลอง พบว่าปริมาณผลผลิตน้ำมันที่สกัดได้จากผลปาล์มที่มี 3 ระดับความสุก (ก่อนสุก สุก และเน่า) (ชุดการทดลองที่ 8-9) และ 4 ระดับความสุก (ชุดการทดลองที่ 10) มีค่าอยู่ในกลุ่มสูง (มากกว่าร้อยละ70) แต่มีต้นทุนที่ต่ำ ดังนั้นจึงเสนอแนวทางในการจัดการวัตถุดิบทะลายปาล์มน้ำมันสด โดยในการรับซื้อวัตถุดิบ ควรมีการประเมินระดับความสุกของทะลายปาล์มน้ำมันสดโดยการตรวจสอบระดับสีและลักษณะปรากฏของผลปาล์มและทะลายปาล์มตามหลักเกณฑ์ที่ดัดแปลงเล็กน้อยจากข้อกำหนดของกรมวิชาการเกษตร (Table 2 หน้า 14) และอาจไม่รับซื้อทะลายปาล์มน้ำมันที่มีความสุกระดับดิบ (A) หรือพยายามคัดเลือกแล้วส่งกลับคืนแก่ลูกค้าที่นำมาขาย หรืออาจกำหนดราคาให้ต่ำลง เนื่องจากส่งผลต่อปริมาณผลผลิต และควรมีการผสมทั้ง 3-4 ระดับความสุกในอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนค่าวัตถุดิบลงได้บ้างไม่มากก็น้อย

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ก ารศึกษาความสัมพันธ์ของระดับความสุกและปริมาณของวัตถุดิบต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ครอบคลุมข้อมูลปริมาณผลผลิตในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ การสกัดน้ำมันปาล์มดิบจากผลปาล์มที่มีระดับความสุกแตกต่างกัน การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของปริมาณและระดับความสุกของวัตถุดิบต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของต้นทุนวัตถุดิบ และแนวทางการจัดซื้อวัตถุดิบทะลายปาล์มสดแก่โรงงานกรณีศึกษา ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

1. ปริมาณผลผลิตในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 15.33-17.21 โดยน้ำหนักทะลายปาล์มสด และข้อมูลสมดุลมวลของเนื้อปาล์มนึ่งจากทะลายปาล์มน้ำมันดิบโดยคิดจากน้ำหนักทะลายปาล์มน้ำมัน น้ำหนักผลปาล์มสด น้ำหนักผลปาล์มนึ่ง และน้ำหนักเนื้อปาล์มนึ่ง พบว่าปาล์มน้ำมันทุกระดับความสุกมีน้ำหนักทะลายเปล่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 15-22 และปาล์มน้ำมันที่มีระดับสุกพอดี มีน้ำหนักทะลายเปล่าน้อยที่สุด เมื่อผ่านการนึ่ง ได้ผลปาล์มนึ่งมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 76-84 ของน้ำหนักทะลายปาล์มสด มีเนื้อปาล์มนึ่ง คิดเป็นร้อยละ 62.71, 56.22, 50.06 และ 47.64 ของน้ำหนักปาล์มน้ำมันทั้งทะลาย ที่ความสุกของผลปาล์มระดับ สุก ก่อนสุก ดิบ และ เน่า ตามลำดับ

2. ผลของระดับความสุกของผลปาล์มสดต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบ พบว่าระดับความสุกของปาล์มน้ำมันมีผลต่อปริมาณผลผลิต คือเมื่อระดับความสุกของผลปาล์มเพิ่มขึ้นปริมาณผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบจะเพิ่มขึ้น แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ปาล์มเน่า ในทุกแหล่งวัตถุดิบ ทั้งที่เตรียมตัวอย่างโดยการอบแห้ง และไม่อบแห้ง

3. ผลของระดับความสุกของผลปาล์มสดต่อปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบ พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบในทุกชุดการทดลองอยู่ในปริมาณที่ยอมรับได้คือ น้อยกว่าร้อยละ 5 โดยร้อยละของปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น เมื่อระดับความสุกเพิ่มขึ้น

4.ความสัมพันธ์ของระดับความสุกและปริมาณของผลปาล์มต่อปริมาณของน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design expert version 8.0.4 พบว่ามีสมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$Yield = 11.66A+13.38B+15.20C+12.87D$$

เมื่อทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์จากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทั้งหมด 10 ชุดการทดลอง พบว่าปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการสกัดโดยการผสมของปาล์มระดับสุก (C) ในปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้สูงขึ้น

4.ต้นทุนวัตถุดิบทะลายปาล์ม การใช้วัตถุดิบของปาล์มระดับสุก (C) ในปริมาณมาก ทำให้มีต้นทุนค่าวัตถุดิบของทะลายปาล์มน้ำมันสูง

ข้อเสนอแนะ

ในการรับซื้อวัตถุดิบ ควรมีการประเมินระดับความสุกของทะลายปาล์มน้ำมันสด และอาจจะไม่รับซื้อทะลายปาล์มน้ำมันที่มีความสุกระดับดิบ (A) หรือพยายามคัดเลือกแล้วส่งกลับคืนแก่ลูกค้าที่นำมาขาย หรืออาจกำหนดราคาให้ต่ำลง และในการผลิตควรมีการผสมของผลปาล์มน้ำมันทั้ง 4 ระดับความสุก ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนค่าวัตถุดิบลงได้บ้างไม่มากก็น้อย

เอกสารอ้างอิง

กรมการค้าภายใน. 2550. การผลิตการตลาดปาล์มน้ำมัน ปี 2550. กระทรวงพาณิชย์.

กรมวิชาการเกษตร. 2547. เอกสารทางวิชาการเรื่องปาล์มน้ำมัน ลำดับที่ 16/2547. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ชาย โพธวิส และสุรกิตติ ศรีกุล. 2547. เอกสารวิชาการปาล์มน้ำมัน ลำดับที่ 17/2547. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 1 - 14.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. ชัยรัตน์ นิลนนท์ ธีระพงศ์ จันทรนิยม ประกิจ ทองคำ และวรรณา เลี้ยววาริณ. 2546. คู่มือปาล์มน้ำมันและการจัดการสวน. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. 2549. คัมภีร์ปาล์มน้ำมันพืชเศรษฐกิจเพื่อบริโภคและอุปโภค. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มติชน.

วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน. 2547. เอกสารวิชาการปาล์มน้ำมัน ลำดับที่ 17/2547. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 151 -172.

ศักดิ์ศิลป์ โชติสกุล วินาภรณ์ กุฎีรัตน์ และกิจจารักษ์ วงษ์กุดเลาะ. 2541. เอกสารวิชาการเรื่อง ปาล์มน้ำมัน. กรมส่งเสริมการเกษตร.

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. วิชาการปาล์มน้ำมัน(ออนไลน์) : สืบค้นจาก http://it.doa.go.th/palm/linkTechnical/oilpalm.html (1 มิถุนายน 2554)

สุรกิตติ ศรีกุล. 2547. เอกสารวิชาการปาล์มน้ำมัน ลำดับที่ 17/2547. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 139-150.

สุปราณี ช่วยเกิด. 2546. การวิเคราะห์สเปกตรัมสีผิวผลปาล์มเพื่อหาช่วงเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2554. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2554 (ออนไลน์). สืบค้นจาก http://agri.dit.go.th/web_dit_sec4/home/index.aspx (24 มิถุนายน 2554)

สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร. 2554. ราคาผลปาล์มน้ำมัน กรมการค้าภายใน. (ออนไลน์). สืบค้นจาก http://agri..dit.go.th/web_dit_sec4/home/index/aspx_(10 มิถุนายน 2554)

อรรัตน์ วงศ์ศรี และศิริชัย มามีวัฒนะ. 2547. เอกสารวิชาการปาล์มน้ำมัน ลำดับที่ 16/2547. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 15-34.

Abdullah, M. h. and Guan, L.M. 2002. Color vision system for ripeness inspection of oil palm *Elaeis Guineensis.* J. of Food Processing Preservation. 26: 213-235

Azis, A. and Tan, Y.I. 1989. The effects of handling of FFB on the formation of FFA and the subsequent quality of crude palm oil. *In* Proceeding of PORIM International Palm Oil Development Conference. 5-9 Sept 1989. Kuala-Lumpur.

Bafor, M. E. amd Osagie, A. U. (1986). Changes in lipid class and fatty acid composition during maturation of mesocarp of oil palm (*Elaesis guineensis*) Variety Dura. J. The Science of Food and Agriculture. 37, 825 – 832.

Coursey, D. G. 1963. The deterioration of palm oil during storage. J. of West African Sci. Assoc. **7**:101-13.

Corley, R. H. V. and Gray, B. J. 1976. Yield and yield component. In: Oil Palm Research. (eds. Corley, R. H. V., Hardon, J. J. and Wood, B. J.) pp. 77-86. Amsterdam: Elsevier.

Hu, R. 1999. Design of Mixture Experimental Plan. *In* Food Product Design. Technomic Publishing Company. U.S.A..

Hartley. C. W. S. 1988. The Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). 3rd Ed. Longman, Inc. London.

Junkwon, P., Takigawa, T., Okamoto. H., Hasegawa. H., Koike, M., Sakai. K., Siruntawineti., J., Sanevas, N., Tittinuchanon, P. and Bahalayodhin, B. 2009. Potential application of color and hyperspectral images for estimation of

weight and ripeness of oil palm *(Elaeis guineensis Jacq.var. tenera).* Agricultural Information Research. 18 : 72-81.

IUPAC. 1979. Standard Methods for the Analysis Oils, Fats and Derivatives, 6th ed. Pergaman Press, UK.

Rankine, I and Fairhurst, T. H. 1998. Field Handbook : Oil Palm Series. Volume III. Mature. Potash and Phosphate Institute. Oxford Graphic Printers, Inc. Singapore.

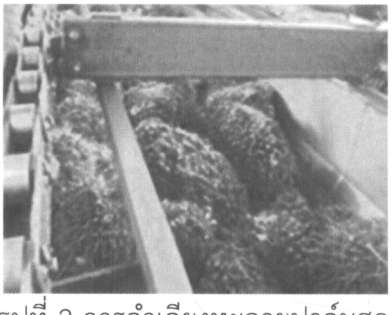
Steel, R.G. D and Torrie, J. H. (1960). Principles and Procedures of Statistics. New York: McGraw-Hill.

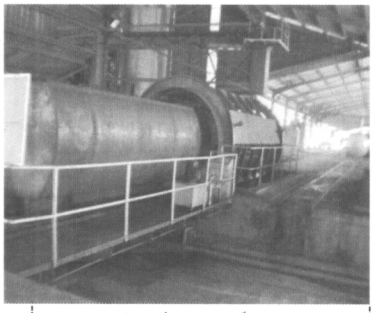
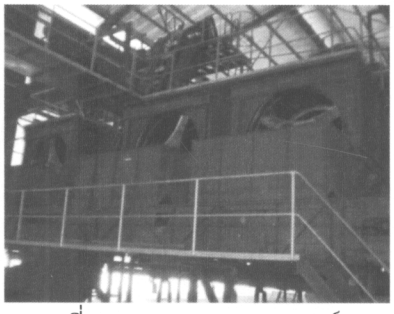
Sukaribin, N. and Khalid, K. 2009. Effectiveness of sterilization of oil bunch using microwave technology. Industrial Crops and Products.

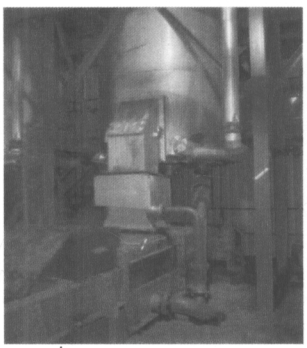
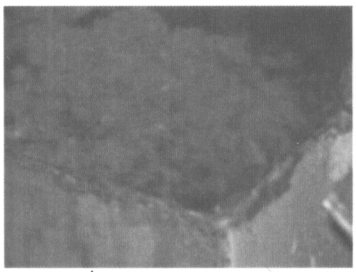
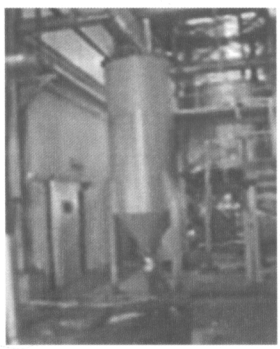
Tan, C.H., M.Ghazali, H., Kuntom, A. Tan, C.P. and Ariffin, A. A. 2009. Extraction and physicochemical properties of low free fatty acid crude palm oil. Food Chemistry.113: 645-650.

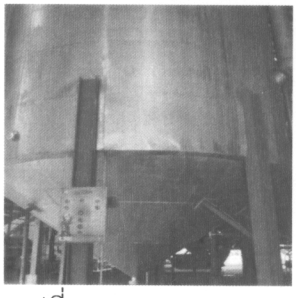
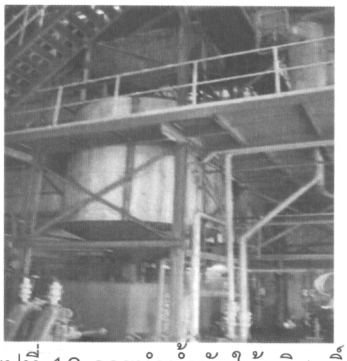
ภาคผนวก ก.

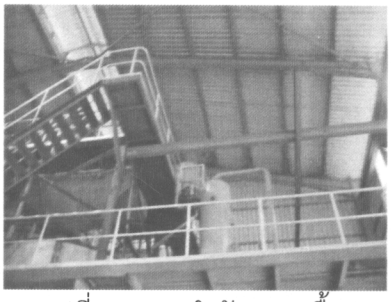
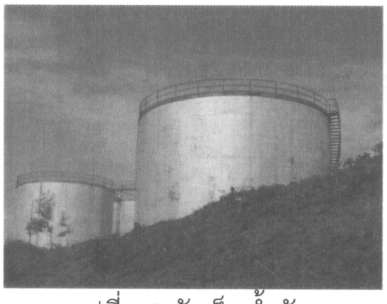
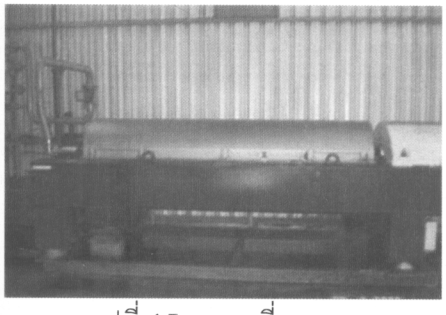
รายละเอียดขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

ขั้นตอน	รายละเอียด
1.ทะลายปาล์มสด (FFB) รูปที่ 1 ทะลายปาล์มสด	ทะลายปาล์มสดถูกขนส่งสู่โรงงาน ในการรับซื้อต้องทำการประเมินคุณภาพของวัตถุดิบ ซึ่งคุณภาพของวัตถุดิบสามารถแบ่งตามลักษณะหลักดังนี้ ดิบ,กึ่งสุก,สุกและเน่า ซึ่งการซื้อขายจะให้ราคาแตกต่างกัน จากนั้นวัตถุดิบที่ทำการเลือกคัดสรรค์แล้วจะลำเลียงเข้าสู่กระบวนการผลิต
2.การลำเลียงทะลายปาล์มสด (Transportation 1)  รูปที่ 2 การลำเลียงทะลายปาล์มสด	การลำเลียงทะลายปาล์มสด(Transportation 1) ทะลายปาล์มสดจากบนลานเทลำเลียงผ่านช่องรับทะลายปาล์มสดซึ่งมีลักษณะลาดเอียง ลงสู่สายพานลำเลียงแล้วผ่านช่องส่งปาล์มลงสู่โบกี้รองรับด้านล่าง จากนั้นนำโบกี้ที่บรรจุทะลายปาล์มสดเข้าสู่หม้อนึ่งต่อไป
3.การนึ่ง (Sterilization) รูปที่ 3 การนึ่ง	การนึ่ง (sterilization) การนึ่งทะลายปาล์มสดใช้เวลารวมทั้งหมด 87 นาที อุณหภูมิในการนึ่งแบ่งเป็น 2 ช่วง ดังนี้ ช่วงที่1 ใช้เวลา 15 นาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความดัน 2-2.5 บาร์และช่วงที่ 2 ใช้เวลา 72 นาที โดยอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจาก 70 องศาเซลเซียสจนถึงอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความดัน 2.5-3 บาร์ และในช่วงนี้จะมีการปล่อยน้ำ (Blow down) ออกทุกๆ 5 นาที ใช้เวลา 2 วินาที/ครั้ง น้ำที่ถูกปล่อยออกมาจะถูกพักในบ่อพักน้ำและจะเข้าสู่ recovery tank

ขั้นตอน	รายละเอียด
4. การลำเลียงปาล์มหลังการนึ่ง (Transportation2) รูปที่ 4 การทะลายปาล์มสดหลังการนึ่ง	การลำเลียงปาล์มหลังการนึ่ง(Transportation2) โบกี้ที่บรรจุปาล์มนึ่งจะถูกลากออกมาเพื่อรอการผลิต โดยจะใช้การขับเคลื่อนด้วยระบบไฮโดรลิค เพื่อนำโบกี้ที่บรรจุทะลายปาล์มนึ่งเข้าสู่เครื่อง Tippler ต่อไป
5. การเทปาล์มหลังการนึ่ง (Tippling)  รูปที่ 5 การลำเลียงปาล์มหลังการนึ่ง	การเทปาล์มหลังการนึ่ง (Tippling)โดยใช้เครื่อง Tippler ทำหน้าที่ เททะลายปาล์มที่ผ่านการนึ่งแล้วออกจากโบกี้ ครั้งละ 1 โบกี้ในการเททะลายปาล์มนึ่งออกจากโบกี้ใช้เวลาโบกี้ละ 6-9 นาที
6. การนวดทะลายปาล์ม (Threshing)  รูปที่ 6 การนวดทะลายปาล์ม	การนวดทะลายปาล์ม (Threshing) ทะลายปาล์มนึ่งจะถูกนวดโดยเครื่องนวด(Thresher) ซึ่งมีทั้งหมด 3 เครื่องโดยปาล์มนึ่งที่เทจากเครื่องTippler แล้วลำเลียงตามสายพานลำเลียงเพื่อเข้าสู่ Thresher อันที่1และอันที่2 ตามลำดับ Thresher จะนวดทะลายปาล์มนึ่งจนผลและทะลายปาล์มนิ่ม จากนั้นผลและทะลายปาล์มจะเข้าไปผ่านเครื่อง crasher ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่นเหล็ก 2 อันมีเพลาสกรู หมุนเข้าหากันโดยเพลาสกรูจะมีร่องฟันแหลมคมวางแนวนอนขนานกัน ทำหน้าที่ฉีกหรือตัดแยกทะลายปาล์มและผลปาล์มให้หลุดออกจากกัน แล้วเข้าเครื่องนวด(Thresher) เครื่องที่ 3 เพื่อนวดให้ผลปาล์มและทะลายปาล์มนิ่มขึ้น และคัดแยกออกเป็น 2 ลักษณะดังนี้ ทะลายปาล์มที่นึ่งสุกแล้ว มีลักษณะนิ่มสามารถผ่านเครื่อง Thresher ได้และทะลายปาล์มที่ยังนึ่งไม่สุก มีลักษณะแข็งไม่สามารถผ่านเครื่อง Thresher ได้ ผลปาล์มทะลายเหล่านี้จะถูกลำเลียงกลับไปนึ่งซ้ำอีกครั้ง

ขั้นตอน	รายละเอียด
7. การย่อยผลปาล์ม (Digestion)  รูปที่ 7 การย่อยผลปาล์ม	การย่อยผลปาล์ม (Digestion) ผลปาล์มนึ่งจะถูกส่งไปยังเครื่องย่อย (Digester) เพื่อกวนให้เนื้อปาล์มนิ่มและหลุดออกจากเมล็ดได้ง่ายขึ้นภายในถัง Digester ซึ่งมีใบพัดกวนอยู่ตรงกลาง และระหว่างกวนผลปาล์มมีการป้อนไอน้ำร้อนเข้าสู่ถังสม่ำเสมอ มีการควบคุมอุณหภูมิภายในถัง 90-95 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้กวนประมาณถังละ 30 นาที
8. การบีบผลปาล์ม (Screw pressing)  รูปที่ 8 การบีบผลปาล์ม	การบีบผลปาล์ม (Screw pressing) เป็นขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มออกจากผลปาล์มที่ผ่านการย่อยแล้ว โดยใช้เครื่องบีบผลปาล์ม (Screw press) ในการบีบผลปาล์มมีการควบคุมค่ากระแสไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 35-45 แอมแปร์ เพื่อป้องกันไม่ให้เมล็ดในปาล์มแตกมาก และใช้แรงดัน 40-60 บาร์ ในขั้นตอนนี้ผลปาล์มที่ผ่านการบีบแล้วสามารถแยกออกมาได้ 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นของเหลวหรือน้ำมันจะเข้าสู่ขั้นตอนการกรองต่อไป และส่วนที่เป็นของแข็งซึ่งประกอบไปด้วยเส้นใยปาล์มและเมล็ดปาล์มจะผ่านการแยกอีกครั้งหนึ่ง
9. การกรองอนุภาคขนาดใหญ่ (Filtration 1)  รูปที่ 9 การกรองอนุภาคขนาดใหญ่	การกรองอนุภาคขนาดใหญ่ (Filtration 1) ของเหลวที่ได้จากการบีบผลปาล์มจะเข้าสู่ gutter tank ซึ่งเป็นถังตกตะกอนขั้นต้น มีลักษณะเป็นถังเหล็กรูปทรงกระบอก ปริมาตร 60 ลูกบาศก์เมตร ด้านล่างของถังเป็นกรวย มีวาล์วไว้สำหรับเปิดปิดเพื่อถ่ายตะกอนออก ถังตกตะกอนนี้ทำหน้าที่ดักตะกอนอนุภาคขนาดใหญ่ เช่น กรวด ทราย เป็นต้น

ขั้นตอน	รายละเอียด
10. การกรองอนุภาคขนาดเล็ก (Filtration 2) รูปที่ 10 การกรองอนุภาคขนาดเล็ก	การกรองอนุภาคขนาดเล็ก (Filtration 2) โดยใช้ตะแกรงสั่น (Vibration screen) ซึ่งมีลักษณะเป็นตะแกรง 2 ชั้น เส้นผ่านศูนย์กลางของตะแกรงสั่นมีขนาด 1524 มิลลิเมตร แต่ละชั้นมีตะแกรงซึ่งมีขนาดของรูตะแกรงแตกต่างกันดังนี้ ชั้นที่ 1ความถี่ของรูตะแกรงมี ขนาด 20 Meshและชั้นที่ 2 ความถี่ของรูตะแกรงมีขนาด 40 Mesh ตะแกรงสั่นมีหน้าที่แยกกากเส้นใย และอนุภาคของแข็งขนาดเล็ก จากนั้นของเหลวที่ผ่านการกรองด้วยตะแกรงสั่นจะถูกส่งไปยังถังตกตะกอน
11. การตกตะกอน (Settling)  รูปที่ 11 การตกตะกอน	การตกตะกอน(Settling) ในถังตกตะกอนที่เรียกว่า CS tank(Continuous Settling Tank) โดยอาศัยหลักการแรงโน้มถ่วง เพื่อแยกน้ำมันและอนุภาคของแข็งที่เหลืออยู่ออกจากกัน โดยอนุภาคของแข็งซึ่งเรียกว่า สลัดจ์จะอยู่ด้านล่างของ CS Tank จะต้องนำไปผ่านเครื่องเหวี่ยงแยก(Decanter) ส่วนน้ำมันจะอยู่ด้านบนจะผ่านกรวย(Skimmer) เพื่อทำให้บริสุทธิ์ต่อไป
12. การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ (Purification)  รูปที่ 12 การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์	การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ (Purification) น้ำมันที่ได้จากกระบวนการบีบผลปาล์ม การเหวี่ยงแยกของสลัดจ์และน้ำเสียจะถูกนำไปเก็บไว้ในถัง มีความจุประมาณ 20 m^3 น้ำมันในถังจะไหลเข้าเครื่อง Purifies เพื่อกำจัดสิ่งสกปรก ตะกอนที่ติดมาจากกระบวนการออกไป

ขั้นตอน	รายละเอียด
13. การกำจัดความชื้น (Moisture separation)  รูปที่ 13 การกำจัดความชื้น	การกำจัดความชื้น (Moisture separation) น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการนำสิ่งสกปรกออกแล้ว ยังมีความชื้นเจือปนอยู่ ดังนั้นต้องกำจัดความชื้น โดยใช้เครื่อง Vacuum ดูดความชื้นออกไป เครื่อง Vacuum มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอก ภายในถังมีลักษณะเป็นสุญญากาศ หรือภาวะไร้อากาศ
14. การเก็บรักษาน้ำมัน (CPO storage)  รูปที่ 14 ถังเก็บน้ำมัน	การเก็บรักษาน้ำมัน (CPO storage) ถังเก็บน้ำมันมีทั้งหมด 4 ถัง มีลักษณะเป็นถังเหล็กภายในเคลือบด้วยสแตนเลส น้ำมันที่เก็บรักษาไว้เพื่อรอจำหน่ายต้องทำการตรวจสอบคุณภาพทุกวัน เมื่อจำหน่ายจะต้องอุ่นน้ำมัน โดยใช้ไอน้ำผ่านท่อ Steam ภายในถังเก็บ การควบคุมอุณหภูมิเพื่อจำหน่ายที่ 50- 55 องศาเซลเซียส
15.การเหวี่ยงแยก (Separation)  รูปที่ 15 การเหวี่ยงแยก	การเหวี่ยงแยก(Separation) สลัดจ์จากContinuous Settling Tank ถูกนำมาผ่านเครื่องเหวี่ยงแยก(Decanter) ซึ่งสามารถแยกได้เป็น 3 ส่วนดังนี้ น้ำเสีย น้ำมัน และกากของแข็ง(cake) โดยน้ำมัน และน้ำเสียจะส่งไปกระบวนการกรองแยกน้ำมันต่อไป ส่วนกากของแข็ง (Cake)เป็นของเสียจากระบบสามารถนำไปทิ้งหมักเป็นปุ๋ย หรือจำหน่ายต่อไป

ภาคผนวก ข.

การคำนวณปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ

1. การคำนวณปริมาณน้ำมันปาล์มดิบฐานน้ำหนักเปียก/ทะลายปาล์มสด

ปริมาณน้ำมัน (% crude palm oil/FFB) (wet basis) = $\frac{\text{น้ำหนักน้ำมันที่สกัดได้ (กรัม) x 100}}{\text{น้ำหนักทะลายปาล์มสด (กรัม)}}$

ตัวอย่างข้อมูลจากการทดลอง (Treatment 1 in Table A1) เมื่อใช้ตัวอย่างเนื้อปาล์มนึ่งจากผลปาล์มที่มีความสุกระดับดิบ (A) 20 กรัม ได้มาจากทะลายปาล์มสด 40 กรัม (จากข้อมูลสมดุลมวลพบว่า มีเนื้อปาล์มนึ่ง 50 % ของทะลายปาล์มสด) มาสกัดน้ำมันโดยผ่านการอบแห้งก่อน ได้น้ำมันหนัก 11.14 กรัม

2. การคำนวณปริมาณน้ำมันปาล์มดิบฐานน้ำหนักแห้ง/ทะลายปาล์มสด

ปริมาณน้ำมัน (% crude palm oil/FFB) (dry basis) = $\frac{\text{ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ (%) x 100}}{\text{น้ำหนักทะลายปาล์มแห้ง (กก)}}$

ตัวอย่างข้อมูลจากการทดลอง (Treatment 1 in Table A1) เมื่อใช้ตัวอย่างเนื้อปาล์มนึ่งจากผลปาล์มที่มีความสุกระดับดิบ (A) 20 กรัม ได้มาจากทะลายปาล์มสด 40 กรัม (จากข้อมูลสมดุลมวลพบว่า มีเนื้อปาล์มนึ่ง 50 % ของทะลายปาล์มสด) มาสกัดน้ำมันโดยผ่านการอบแห้งก่อน ได้น้ำมันหนัก 11.14 กรัม

ดังนั้นคิดเป็น น้ำมันปาล์มดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก) = $\frac{11.14 \times 100}{20}$

= **55.70**

และน้ำมันปาล์มดิบ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) = $\frac{11.14 \times 100}{(20-6)}$

= **55.70**

ปาล์มระดับดิบ (A) ของตัวอย่างเนื้อปาล์มอบแห้ง (Dried Mesocarp) (Table A1.)

เนื้อปาล์มนึ่ง 100 กรัม สกัดน้ำมันได้ 29.08 กรัม

เนื้อปาล์มนึ่ง 70 กรัม สกัดน้ำมันได้ 29.08 กรัม

เนื้อปาล์มนึ่ง 100 กรัม มีน้ำมันอยู่ $\frac{29.08 \times 100}{70}$ = 41.54

Table A1. Crude palm oil yield from different ripeness fruit from orchard1

	Treatment		Dried Mesocarp						$\bar{x}$±SD
			1	2	3	4	5	6	
1	A	Steam mesocarp (g)	20.25	20.44	20.49	20.62	20.28	20.46	
		Oil (g)	11.30	11.39	11.43	11.47	11.28	11.36	
		Yield (%SM)	55.81	55.73	55.79	55.63	55.62	55.52	55.68±0.11
	F=2	Yield (%FFB)-Wet	27.91	27.87	27.89	27.81	27.81	27.76	27.84±0.06
	MC=30	Yield (%FFB)-Dry	39.86	39.81	39.85	39.73	39.73	39.66	39.77±0.08
2	B	Steam mesocarp (g)	20.08	20.74	20.06	20.41	20.21	20.00	
		Oil (g)	12.71	13.10	12.67	12.89	12.76	12.63	
		Yield (%SM)	63.30	63.16	63.16	63.13	63.13	63.16	63.17±0.06
	F=1.8	Yield (%FFB)-Wet	35.16	35.09	35.09	35.07	35.07	35.09	35.10±0.03
	MC=25	Yield (%FFB)-Dry	46.89	46.79	46.79	46.76	46.76	46.79	46.80±0.05
3	C	Steam mesocarp (g)	20.14	20.22	20.19	20.02	20.01	20.20	
		Oil (g)	14.06	14.13	14.09	13.74	13.67	13.82	
		Yield (%SM)	69.81	69.88	69.79	68.62	68.33	68.41	69.14±0.76
	F=1.6	Yield (%FFB)-Wet	43.63	43.68	43.62	42.89	42.71	42.76	43.21±0.47
	MC=23	Yield (%FFB)-Dry	56.67	56.72	56.65	55.70	55.47	55.53	56.12±0.61
4	D	Steam mesocarp (g)	20.05	20.05	20.06	20.10	20.11	20.27	
		Oil (g)	12.25	12.25	12.25	12.29	12.41	12.40	
		Yield (%SM)	61.11	61.11	61.08	61.16	61.70	61.17	61.22±0.24
	F=2.1	Yield (%FFB)-Wet	29.10	29.10	29.09	29.12	29.38	29.13	29.15±0.11
	MC=20	Yield (%FFB)-Dry	36.38	36.38	36.36	36.41	36.73	36.41	36.44±0.14
5	AB	Steam mesocarp (g)	20.27	20.33	20.13	20.14	20.10	20.04	
		Oil (g)	12.39	12.41	12.30	11.60	11.57	11.54	
		Yield (%SM)	61.12	61.04	61.10	57.59	57.57	57.60	59.34±1.92
	F=1.9	Yield (%FFB)-Wet	32.17	32.13	32.16	30.31	30.30	30.31	31.23±1.01
	MC=27.5	Yield (%FFB)-Dry	44.37	44.31	44.36	41.81	41.80	41.81	43.08±1.39
6	AC	Steam mesocarp (g)	20.09	20.12	20.05	20.41	20.17	20.23	
		Oil (g)	12.93	12.95	12.91	12.63	12.48	12.50	
		Yield (%SM)	64.36	64.36	64.39	61.87	61.89	61.80	63.11±1.38
	F=1.8	Yield (%FFB)-Wet	35.76	35.76	35.77	34.37	34.38	34.33	35.06±0.77
	MC=26.5	Yield (%FFB)-Dry	48.65	48.65	48.67	46.77	46.78	46.71	47.70±1.04

Table A1. *Continued*

	Treatment		Dried Mesocarp						$\bar{x}$±SD
			1	2	3	4	5	6	
7	AD	Steam mesocarp (g)	20.15	20.05	20.10	20.10	20.44	20.11	
		Oil (g)	11.91	11.85	11.85	11.49	11.69	11.49	
		Yield (%SM)	59.11	59.10	58.96	57.17	57.21	57.14	58.11±1.03
	F=2.05	Yield (%FFB)-Wet	28.83	28.83	28.76	27.89	27.91	27.87	28.35±0.50
	MC=25	Yield (%FFB)-Dry	38.44	38.44	38.34	37.18	37.21	37.17	37.80±0.67
8	BC	Steam mesocarp (g)	20.09	20.06	20.22	20.44	20.12	20.11	
		Oil (g)	13.89	13.85	13.99	13.49	13.30	13.29	
		Yield (%SM)	69.14	69.04	69.19	66.02	66.08	66.09	67.59±1.68
	F=1.7	Yield (%FFB)-Wet	40.67	40.61	40.70	38.83	38.87	38.88	39.76±0.99
	MC=24	Yield (%FFB)-Dry	53.51	53.44	53.55	51.10	51.15	51.15	52.32±1.30
9	BD	Steam mesocarp (g)	20.04	20.12	20.22	20.23	20.61	20.43	
		Oil (g)	12.94	12.96	13.01	12.53	12.82	12.63	
		Yield (%SM)	64.57	64.41	64.34	61.92	62.21	61.83	63.21±1.35
	F=1.95	Yield (%FFB)-Wet	33.11	33.03	33.00	31.76	31.90	31.71	32.42±0.69
	MC=22.5	Yield (%FFB)-Dry	42.73	42.62	42.58	40.98	41.16	40.91	41.83±0.89
10	CD	Steam mesocarp (g)	20.18	20.12	20.22	20.39	20.26	20.22	
		Oil (g)	13.65	13.53	13.68	13.24	13.19	13.16	
		Yield (%SM)	67.64	67.25	67.66	64.93	65.11	65.09	66.28±1.36
	F=1.85	Yield (%FFB)-Wet	36.56	36.35	36.57	35.10	35.19	35.19	35.83±0.74
	MC=21.5	Yield (%FFB)-Dry	46.58	46.31	46.59	44.71	44.83	44.82	45.64±0.94
11	ABC	Steam mesocarp (g)	20.03	20.04	20.12	20.03	20.32	20.35	
		Oil (g)	14.12	14.12	14.27	13.51	13.65	13.65	
		Yield (%SM)	70.49	70.46	70.92	67.43	67.17	67.06	68.92±1.88
	F=1.8	Yield (%FFB)-Wet	39.16	39.14	39.40	37.46	37.31	37.26	38.29±1.04
	MC=24.3	Yield (%FFB)-Dry	51.74	51.71	52.05	49.49	49.29	49.22	50.58±1.38
12	ABD	Steam mesocarp (g)	20.13	20.06	20.14	20.24	20.41	20.21	
		Oil (g)	12.18	12.17	12.17	11.79	11.87	11.74	
		Yield (%SM)	60.51	60.67	60.43	58.27	58.16	58.10	59.36±1.29
	F=1.96	Yield (%FFB)-Wet	30.87	30.95	30.83	29.73	29.67	29.64	30.28±0.66
	MC=25	Yield (%FFB)-Dry	41.16	41.27	41.11	39.64	39.57	39.52	40.38±0.88

Table A1. *Continued*

	Treatment		Dried Mesocarp						$\bar{x}$±SD
			1	2	3	4	5	6	
13	ACD	Steam mesocarp (g)	20.2	20.22	20.36	20.20	20.34	20.12	
		Oil (g)	13.57	13.55	13.67	13.00	13.09	12.94	
		Yield (%SM)	67.18	67.01	67.14	64.35	64.38	64.31	65.73±1.51
	F=1.9	Yield (%FFB)-Wet	35.36	35.27	35.34	33.87	33.89	33.85	34.59±0.80
	MC=24.3	Yield (%FFB)-Dry	46.71	46.59	46.68	44.74	44.76	44.72	45.70±1.05
14	BCD	Steam mesocarp (g)	20.07	20.01	20.20	20.10	20.06	20.27	
		Oil (g)	14.31	14.29	14.43	13.83	13.82	13.96	
		Yield (%SM)	71.30	71.41	71.44	68.79	68.90	68.88	70.12±1.39
	F=1.83	Yield (%FFB)-Wet	38.96	39.02	39.04	37.59	37.65	37.64	38.32±0.76
	MC=22.6 7	Yield (%FFB)-Dry	50.38	50.46	50.48	48.61	48.68	48.68	49.55±0.98
15	ABCD	Steam mesocarp (g)	20.09	20.13	20.01	20.48	20.35	20.38	
		Oil (g)	13.18	13.21	13.12	12.95	12.88	12.89	
		Yield (%SM)	65.60	65.62	65.57	63.25	63.29	63.24	64.43±1.28
	F=1.88	Yield (%FFB)-Wet	34.90	34.91	34.88	33.64	33.66	33.64	34.27±0.68
	MC=24.5	Yield (%FFB)-Dry	46.22	46.23	46.19	44.56	44.59	44.56	45.39±0.90

Table A2. Crude palm oil yield from different ripeness fruit from orchard 1

Treatment			Undried Mesocarp			$\bar{x}$±SD
			1	2	3	
1	A	Steam mesocarp (g)	20.12	20.32	20.44	
		Oil (g)	10.91	10.96	10.97	
		Yield (%SM)	54.22	53.94	53.67	53.94±0.28
	F=2	Yield (%FFB)-Wet	27.11	26.97	26.83	26.97±0.14
	MC=40	Yield (%FFB)-Dry	45.18	44.95	44.72	44.95±0.23
2	B	Steam mesocarp (g)	20.06	20.12	20.22	
		Oil (g)	11.79	11.81	11.85	
		Yield (%SM)	58.79	58.71	58.62	58.70±0.08
	F=1.8	Yield (%FFB)-Wet	32.66	32.62	32.56	32.61±0.05
	MC=35	Yield (%FFB)-Dry	50.24	50.18	50.10	50.17±0.07
3	C	Steam mesocarp (g)	20.35	20.60	20.22	
		Oil (g)	13.31	13.48	13.27	
		Yield (%SM)	65.40	65.45	65.62	65.49±0.12
	F=1.6	Yield (%FFB)-Wet	40.87	40.91	41.01	40.93±0.07
	MC=33	Yield (%FFB)-Dry	61.01	61.05	61.22	61.09±0.11
4	D	Steam mesocarp (g)	20.24	20.10	20.10	
		Oil (g)	11.89	11.80	11.79	
		Yield (%SM)	58.74	58.70	58.66	58.70±0.04
	F=2.1	Yield (%FFB)-Wet	27.97	27.95	27.93	27.95±0.02
	MC=30	Yield (%FFB)-Dry	39.96	39.93	39.90	39.93±0.03
5	AB	Steam mesocarp (g)	20.24	20.44	20.65	
		Oil (g)	11.67	11.78	11.83	
		Yield (%SM)	57.64	57.64	57.28	57.52±0.21
	F=1.9	Yield (%FFB)-Wet	30.34	30.34	30.15	30.28±0.11
	MC=37.5	Yield (%FFB)-Dry	48.54	48.54	48.24	48.44±0.18
6	AC	Steam mesocarp (g)	20.60	20.44	20.42	
		Oil (g)	12.10	12.08	12.07	
		Yield (%SM)	58.74	59.09	59.10	58.98±0.20
	F=1.8	Yield (%FFB)-Wet	32.63	32.83	32.83	32.76±0.11
	MC=35	Yield (%FFB)-Dry	50.21	50.50	50.51	50.41±0.17

Table A2 *Continued*

	Treatment		Undried Mesocarp			$\bar{x}$±SD
			1	2	3	
7	AD	Steam mesocarp (g)	20.22	20.21	20.22	
		Oil (g)	11.26	11.29	11.27	
		Yield (%SM)	55.69	55.86	55.73	55.76±0.09
	F=2.05	Yield (%FFB)-Wet	27.16	27.25	27.19	27.20±0.04
	MC=34	yield(%FFB)-Dry	41.16	41.29	41.19	41.21±0.07
8	BC	Steam mesocarp (g)	20.35	20.33	20.76	
		Oil (g)	12.56	12.59	12.88	
		Yield (%SM)	61.73	61.93	62.05	61.90±0.16
	F=1.7	Yield (%FFB)-Wet	36.31	36.43	36.50	36.41±0.09
	MC=32.5	Yield (%FFB)-Dry	53.79	53.97	54.07	53.94±0.14
9	BD	Steam mesocarp (g)	20.46	20.30	20.00	
		Oil (g)	12.00	11.96	11.89	
		Yield (%SM)	58.65	58.91	59.44	59.00±0.40
	F=1.95	Yield (%FFB)-Wet	30.08	30.21	30.48	30.26±0.21
	MC=31.5	Yield (%FFB)-Dry	43.91	44.10	44.50	44.17±0.30
10	CD	Steam mesocarp (g)	20.53	20.44	20.31	
		Oil (g)	12.97	12.99	12.87	
		Yield (%SM)	63.17	63.55	63.36	63.36±0.19
	F=1.85	Yield (%FFB)-Wet	34.15	34.35	34.25	34.25±0.10
	MC=36	Yield (%FFB)-Dry	53.36	53.68	53.52	53.52±0.16
11	ABC	Steam mesocarp (g)	20.39	20.64	20.69	
		Oil (g)	13.16	13.09	13.13	
		Yield (%SM)	64.54	63.41	63.47	63.81±0.63
	F=1.8	Yield (%FFB)-Wet	35.85	35.23	35.26	35.45±0.35
	MC=35	Yield (%FFB)-Dry	55.16	54.20	54.25	54.54±0.54
12	ABD	Steam mesocarp (g)	20.11	20.50	20.47	
		Oil (g)	12.60	12.69	12.50	
		Yield (%SM)	62.66	61.91	61.08	61.88±0.79
	F=1.96	Yield (%FFB)-Wet	31.97	31.59	31.16	31.57±0.40
	MC=34.3	Yield (%FFB)-Dry	48.66	48.08	47.43	48.06±0.61

Table A2 *Continued*

	Treatment		Undried Mesocarp			$\bar{x}$±SD
			1	2	3	
13	ACD	Steam mesocarp (g)	20.24	20.24	20.21	
		Oil (g)	12.70	12.93	12.80	
		Yield (%SM)	62.74	63.88	63.32	63.31±0.57
	F=1.9	yield (%FFB)-Wet	33.02	33.62	33.33	33.32±0.30
	MC=32.6	Yield (%FFB)-Dry	48.99	49.89	49.45	49.44±0.45
14	BCD	Steam mesocarp (g)	20.23	20.34	20.21	
		Oil (g)	13.19	13.08	13.02	
		Yield (%SM)	65.21	64.32	64.42	64.65±0.49
	F=1.83	Yield (%FFB)-Wet	35.63	35.15	35.20	35.33±0.27
	MC=34.5	Yield (%FFB)-Dry	54.40	53.66	53.75	53.93±0.41
15	ABCD	Steam mesocarp (g)	20.12	20.33	20.21	
		Oil (g)	11.99	12.07	12.03	
		Yield (%SM)	59.59	59.38	59.53	59.50±0.11
	F=1.88	Yield (%FFB)-Wet	31.70	31.58	31.66	31.65±0.06
	MC=35.5	Yield (%FFB)-Dry	49.14	48.97	49.09	49.07±0.09

Table A3. Crude palm oil yield from different ripeness fruit from orchard 2

	Treatment		Dried Mesocarp						$\bar{x}$±SD
			1	2	3	4	5	6	
1	A	Steam mesocarp (g)	20.05	20.28	20.46	20.01	20.21	20.19	
		Oil (g)	12.35	12.48	12.59	11.33	11.53	11.44	
		Yield (%SM)	61.60	61.54	61.53	56.63	57.08	56.64	59.17±2.62
	F=2	Yield (%FFB)-Wet	30.80	30.77	30.77	28.31	28.54	28.32	29.59±1.31
	MC=30	Yield (%FFB)-Dry	44.00	43.96	43.95	40.45	40.77	40.46	42.26±1.87
2	B	Steam mesocarp (g)	20.05	20.07	20.04	20.21	20.03	20.20	
		Oil (g)	13.65	13.7	13.68	13.24	13.12	13.20	
		Yield (%SM)	68.08	68.26	68.26	65.52	65.52	65.34	66.83±1.51
	F=1.8	Yield (%FFB)-Wet	37.82	37.92	37.92	36.40	36.40	36.30	37.13±0.84
	MC=25	Yield (%FFB)-Dry	50.43	50.56	50.57	48.53	48.53	48.40	49.50±1.12
3	C	Steam mesocarp (g)	20.24	20.05	20.00	20.13	20.30	20.54	
		Oil (g)	15.62	15.51	15.45	15.74	15.82	15.99	
		Yield (%SM)	77.17	77.36	77.25	78.21	77.93	77.81	77.62±0.42
	F=1.6	Yield (%FFB)-Wet	48.23	48.35	48.28	48.88	48.70	48.63	48.51±0.26
	MC=23	Yield (%FFB)-Dry	62.64	62.79	62.70	63.48	63.25	63.16	63.00±0.34
4	D	Steam mesocarp (g)	20.00	20.10	20.01	20.00	20.05	20.24	
		Oil (g)	13.91	14.02	13.90	12.31	12.33	12.42	
		Yield (%SM)	69.55	69.75	69.47	61.55	61.48	61.37	65.53±4.45
	F=2.1	Yield (%FFB)-Wet	33.12	33.21	33.08	29.31	29.28	29.22	31.20±2.12
	MC=20	Yield (%FFB)-Dry	41.40	41.52	41.35	36.64	36.60	36.53	39.00±2.65
5	AB	Steam mesocarp (g)	20.27	20.03	20.02	20.24	20.43	20.41	
		Oil (g)	13.63	13.45	13.47	12.44	13.06	13.05	
		Yield (%SM)	67.24	67.15	67.28	61.45	63.92	63.94	65.16±2.43
	F=1.9	Yield (%FFB)-Wet	35.39	35.34	35.41	32.34	33.64	33.65	34.30±1.28
	MC=27.5	Yield (%FFB)-Dry	48.81	48.75	48.84	44.61	46.41	46.42	47.31±1.77
6	AC	Steam mesocarp (g)	20.25	20.11	20.1	20.13	20.31	20.49	
		Oil (g)	14.54	14.48	14.42	13.74	13.80	13.88	
		Yield (%SM)	71.80	72.00	71.74	68.28	67.95	67.76	69.92±2.12
	F=1.8	Yield (%FFB)-Wet	39.89	40.00	39.86	37.93	37.75	37.65	38.85±1.18
	MC=26.5	Yield (%FFB)-Dry	54.27	54.42	54.23	51.61	51.36	51.22	52.85±1.60

Table A3 *Continued*

	Treatment		Dried Mesocarp						$\bar{x}$±SD
			1	2	3	4	5	6	
7	AD	Steam mesocarp (g)	20.05	20	20.02	20.43	20.01	20.23	
		Oil (g)	12.76	12.77	12.75	12.01	11.71	11.86	
		Yield (%SM)	63.64	63.85	63.69	58.79	58.53	58.63	61.19±2.78
	F=2.05	Yield (%FFB)-Wet	31.04	31.15	31.07	28.68	28.55	28.60	29.85±1.36
	MC=25	Yield (%FFB)-Dry	41.39	41.53	41.42	38.23	38.07	38.13	39.80±1.81
8	BC	Steam mesocarp (g)	20.26	20.05	20.01	20.11	20.06	20.00	
		Oil (g)	14.7	14.59	14.59	14.17	14.06	14.02	
		Yield (%SM)	72.56	72.77	72.91	70.47	70.07	70.11	71.48±1.40
	F=1.7	Yield (%FFB)-Wet	42.68	42.80	42.89	41.45	41.22	41.24	42.05±0.82
	MC=24	Yield (%FFB)-Dry	56.16	56.32	56.43	54.54	54.24	54.26	55.33±1.08
9	BD	Steam mesocarp (g)	20.09	20.08	20.04	20.20	20.50	20.44	
		Oil (g)	14.29	14.25	14.26	13.32	13.50	13.45	
		Yield (%SM)	71.13	70.97	71.16	65.94	65.82	65.80	68.47±2.86
	F=1.95	Yield (%FFB)-Wet	36.48	36.39	36.49	33.82	33.76	33.75	35.11±1.47
	MC=22.5	Yield (%FFB)-Dry	47.07	46.96	47.09	43.64	43.56	43.54	45.31±1.90
10	CD	Steam mesocarp (g)	20.2	20.03	20.2	20.45	20.55	20.38	
		Oil (g)	14.99	14.82	14.96	14.78	14.83	14.72	
		Yield (%SM)	74.21	73.99	74.06	72.26	72.18	72.22	73.15±1.02
	F=1.85	Yield (%FFB)-Wet	40.11	39.99	40.03	39.06	39.02	39.04	39.54±0.55
	MC=21.5	Yield (%FFB)-Dry	51.10	50.95	51.00	49.76	49.70	49.73	50.37±0.70
11	ABC	Steam mesocarp (g)	20.02	20.05	20.03	20.40	20.64	20.70	
		Oil (g)	15.69	15.7	15.69	14.83	14.98	15.04	
		Yield (%SM)	78.37	78.30	78.33	72.71	72.59	72.64	75.49±3.12
	F=1.8	Yield (%FFB)-Wet	43.54	43.50	43.52	40.39	40.33	40.36	41.94±1.73
	MC=24.3	Yield (%FFB)-Dry	57.52	57.47	57.49	53.36	53.27	53.31	55.40±2.29
12	ABD	Steam mesocarp (g)	20.07	20.06	20.01	20.50	20.42	20.12	
		Oil (g)	13.37	13.31	13.28	12.69	12.68	12.49	
		Yield (%SM)	66.62	66.35	66.37	61.91	62.12	62.08	64.24±2.42
	F=1.96	Yield (%FFB)-Wet	33.99	33.85	33.86	31.59	31.69	31.67	32.78±1.23
	MC=25	Yield (%FFB)-Dry	45.32	45.14	45.15	42.11	42.26	42.23	43.70±1.65

Table A3 *Continued*

	Treatment		Dried Mesocarp						$\bar{x}$±SD
			1	2	3	4	5	6	
13	ACD	Steam mesocarp (g)	20.07	20.01	20.03	20.44	20.32	20.00	
		Oil (g)	14.64	14.53	14.6	14.34	14.21	14.01	
		Yield (%SM)	72.94	72.61	72.89	70.14	69.95	70.04	71.43±1.53
	F=1.9	Yield (%FFB)-Wet	38.39	38.22	38.36	36.92	36.81	36.86	37.59±0.80
	MC=24.3	Yield (%FFB)-Dry	50.72	50.49	50.68	48.77	48.63	48.69	49.66±1.06
14	BCD	Steam mesocarp (g)	20.01	20.00	20.05	20.36	20.22	20.21	
		Oil (g)	15.69	15.65	15.73	15.32	15.22	15.21	
		Yield (%SM)	78.41	78.25	78.45	75.21	75.27	75.26	76.81±1.71
	F=1.83	Yield (%FFB)-Wet	42.85	42.76	42.87	41.10	41.13	41.13	41.97±0.94
	MC=22.67	Yield (%FFB)-Dry	55.41	55.29	55.44	53.15	53.19	53.18	54.28±1.21
15	ABCD	Steam mesocarp (g)	20.01	20.13	20.00	20.32	20.46	20.44	
		Oil (g)	14.16	14.23	14.15	14.01	14.06	14.01	
		Yield (%SM)	70.76	70.69	70.75	68.94	68.75	68.55	69.74±1.10
	F=1.88	Yield (%FFB)-Wet	37.64	37.60	37.63	36.67	36.57	36.46	37.10±0.58
	MC=24.5	Yield (%FFB)-Dry	49.86	49.80	49.85	48.57	48.44	48.30	49.13±0.77

Table A4. Crude palm oil yield from different ripeness fruit from orchard 2

	Treatment		Undried Mesocarp			$\bar{x}$±SD
			1	2	3	
1	A	Steam mesocarp (g)	20.22	20.21	20.32	
		Oil (g)	11.54	11.53	11.59	
		Yield (%SM)	57.07	57.05	57.03	57.05±0.02
	F=2	Yield (%FFB)-Wet	28.53	28.52	28.52	28.53±0.01
	MC=40	Yield (%FFB)-Dry	47.56	47.54	47.53	47.54±0.02
2	B	Steam mesocarp (g)	20.00	20.02	20.04	
		Oil (g)	12.37	12.39	12.4	
		Yield (%SM)	61.84	61.88	61.87	61.86±0.02
	F=1.8	Yield (%FFB)-Wet	34.36	34.38	34.37	34.37±0.01
	MC=35	Yield (%FFB)-Dry	52.85	52.89	52.88	52.88±0.02
3	C	Steam mesocarp (g)	20.11	20.22	20.10	
		Oil (g)	13.52	13.59	13.51	
		Yield (%SM)	67.22	67.21	67.21	67.21±0.01
	F=1.6	Yield (%FFB)-Wet	42.01	42.00	42.01	42.01±0.00
	MC=33	Yield (%FFB)-Dry	62.71	62.69	62.70	62.70±0.01
4	D	Steam mesocarp (g)	20.01	20.01	20.12	
		Oil (g)	11.48	11.47	11.49	
		Yield (%SM)	57.38	57.33	57.11	57.27±0.15
	F=2.1	Yield (%FFB)-Wet	27.32	27.30	27.19	27.27±0.07
	MC=30	Yield (%FFB)-Dry	39.04	39.00	38.85	38.96±0.10
5	AB	Steam mesocarp (g)	20.26	20.41	20.31	
		Oil (g)	11.98	12.11	12.02	
		Yield (%SM)	59.13	59.32	59.18	59.21±0.10
	F=1.9	Yield (%FFB)-Wet	31.12	31.22	31.15	31.16±0.05
	MC=37.5	Yield (%FFB)-Dry	49.79	49.96	49.84	49.86±0.09

Table A4. *Continued*

	Treatment		Undried Mesocarp			$\bar{x}$±SD
			1	2	3	
6	AC	Steam mesocarp (g)	20.03	20.11	20.05	
		Oil (g)	11.49	11.53	11.5	
		Yield (%SM)	57.36	57.33	57.36	57.35±0.02
	F=1.8	Yield (%FFB)-Wet	31.87	31.85	31.86	31.86±0.01
	MC=35	Yield (%FFB)-Dry	49.03	49.00	49.02	49.02±0.02
7	AD	Steam mesocarp (g)	20.14	20.05	20.10	
		Oil (g)	11.53	11.48	11.50	
		Yield (%SM)	57.26	57.26	57.20	57.24±0.03
	F=2.05	Yield (%FFB)-Wet	27.93	27.93	27.90	27.92±0.02
	MC=34	Yield (%FFB)-Dry	42.32	42.32	42.28	42.31±0.02
8	BC	Steam mesocarp (g)	20.85	20.05	20.21	
		Oil (g)	12.71	12.25	12.34	
		Yield (%SM)	60.96	61.10	61.05	61.04±0.07
	F=1.7	Yield (%FFB)-Wet	35.86	35.94	35.91	35.90±0.04
	MC=32.5	Yield (%FFB)-Dry	53.12	53.25	53.20	53.19±0.06
9	BD	Steam mesocarp (g)	20.01	20.12	20.22	
		Oil (g)	11.50	11.53	11.58	
		Yield (%SM)	57.47	57.31	57.26	57.34±0.11
	F=1.95	Yield (%FFB)-Wet	29.47	29.39	29.36	29.41±0.06
	MC=31.5	Yield (%FFB)-Dry	43.02	42.90	42.87	42.93±0.08
10	CD	Steam mesocarp (g)	20.05	20.01	20.03	
		Oil (g)	12.08	12.06	12.06	
		Yield (%SM)	60.26	60.27	60.20	60.25±0.04
	F=1.85	Yield (%FFB)-Wet	32.58	32.58	32.54	32.57±0.02
	MC=36	Yield (%FFB)-Dry	50.90	50.91	50.85	50.88±0.03

Table A4. *Continued*

	Treatment		Undried Mesocarp			$\bar{x}$±SD
			1	2	3	
11	ABC	Steam mesocarp (g)	20.02	20.07	20.09	
		Oil (g)	12.90	12.92	12.91	
		Yield (%SM)	64.43	64.38	64.28	64.36±0.08
	F=1.8	Yield (%FFB)-Wet	35.79	35.77	35.71	35.76±0.04
	MC=35	Yield (%FFB)-Dry	55.06	55.03	54.94	55.01±0.07
12	ABD	Steam mesocarp (g)	20.08	20.05	20.04	
		Oil (g)	12.28	12.26	12.26	
		Yield (%SM)	61.17	61.16	61.17	61.17±0.01
	F=1.96	Yield (%FFB)-Wet	31.21	31.20	31.21	31.21±0.00
	MC=34.3	Yield (%FFB)-Dry	47.50	47.49	47.50	47.50±0.00
13	ACD	Steam mesocarp (g)	20.31	20.07	20.04	
		Oil (g)	12.89	12.76	12.75	
		Yield (%SM)	63.47	63.58	63.61	63.55±0.08
	F=1.9	Yield (%FFB)-Wet	33.40	33.46	33.48	33.45±0.04
	MC=32.6	Yield (%FFB)-Dry	49.56	49.65	49.67	49.63±0.06
14	BCD	Steam mesocarp (g)	20.07	20.00	20.02	
		Oil (g)	12.75	12.70	12.72	
		Yield (%SM)	63.53	63.49	63.55	63.52±0.03
	F=1.83	Yield (%FFB)-Wet	34.72	34.69	34.73	34.71±0.02
	MC=34.5	Yield (%FFB)-Dry	53.01	52.97	53.02	53.00±0.03
15	ABCD	Steam mesocarp (g)	20.22	20.20	20.21	
		Oil (g)	12.54	12.51	12.51	
		Yield (%SM)	62.01	61.93	61.90	61.95±0.06
	F=1.88	Yield (%FFB)-Wet	32.99	32.94	32.92	32.95±0.03
	MC=35.5	Yield (%FFB)-Dry	51.14	51.07	51.04	51.09±0.05

Table A5. Crude palm oil yield from different ripeness fruit from combined of orchard

	Treatment		Dried Mesocarp												$\bar{x}$±SD
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	A	Steam mesocarp (g)	20.25	20.44	20.49	20.62	20.28	20.46	20.05	20.28	20.46	20.01	20.21	20.19	
		Oil (g)	11.30	11.39	11.43	11.47	11.28	11.36	12.35	12.48	12.59	11.33	11.53	11.44	
		Yield (%SM)	55.81	55.73	55.79	55.63	55.62	55.52	61.60	61.54	61.53	56.63	57.08	56.64	57.43±2.54
	F=2	Yield (%FFB)-Wet	27.91	27.87	27.89	27.81	27.81	27.76	30.80	30.77	30.77	28.31	28.54	28.32	28.71±1.27
	MC=30	Yield (%FFB)-Dry	39.86	39.81	39.85	39.73	39.73	39.66	44.00	43.96	43.95	40.45	40.77	40.46	41.02±1.81
2	B	Steam mesocarp (g)	20.08	20.74	20.06	20.41	20.21	20.00	20.05	20.07	20.04	20.21	20.03	20.20	
		Oil (g)	12.71	13.10	12.67	12.89	12.76	12.63	13.65	13.7	13.68	13.24	13.12	13.20	
		Yield (%SM)	63.30	63.16	63.16	63.13	63.13	63.16	68.08	68.26	68.26	65.52	65.52	65.34	65.00±2.16
	F=1.8	Yield (%FFB)-Wet	35.16	35.09	35.09	35.07	35.07	35.09	37.82	37.92	37.92	36.40	36.40	36.30	36.11±1.20
	MC=25	Yield (%FFB)-Dry	46.89	46.79	46.79	46.76	46.76	46.79	50.43	50.56	50.57	48.53	48.53	48.40	48.15±1.60
3	C	Steam mesocarp (g)	20.14	20.22	20.19	20.02	20.01	20.20	20.24	20.05	20.00	20.13	20.30	20.54	
		Oil (g)	14.06	14.13	14.09	13.74	13.67	13.82	15.62	15.51	15.45	15.74	15.82	15.99	
		Yield (%SM)	69.81	69.88	69.79	68.62	68.33	68.41	77.17	77.36	77.25	78.21	77.93	77.81	73.38±4.47
	F=1.6	Yield (%FFB)-Wet	43.63	43.68	43.62	42.89	42.71	42.76	48.23	48.35	48.28	48.88	48.70	48.63	45.86±2.79
	MC=23	Yield (%FFB)-Dry	56.67	56.72	56.65	55.70	55.47	55.53	62.64	62.79	62.70	63.48	63.25	63.16	59.56±3.63

Table A5. *Continued*

	Treatment		Dried Mesocarp											$\bar{x}$±SD
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
4	D	Steam mesocarp (g)	20.05	20.05	20.06	20.10	20.11	20.27	20.00	20.10	20.01	20.00	20.05	20.24	
		Oil (g)	12.25	12.25	12.25	12.29	12.41	12.40	13.91	14.02	13.90	12.31	12.33	12.42	
		Yield (%SM)	61.11	61.11	61.08	61.16	61.70	61.17	69.55	69.75	69.47	61.55	61.48	61.37	63.37±3.75
	F=2.1	Yield (%FFB)-Wet	29.10	29.10	29.09	29.12	29.38	29.13	33.12	33.21	33.08	29.31	29.28	29.22	30.18±1.79
	MC=20	Yield (%FFB)-Dry	36.38	36.38	36.36	36.41	36.73	36.41	41.40	41.52	41.35	36.64	36.60	36.53	37.72±2.23
5	AB	Steam mesocarp(g)	20.27	20.33	20.13	20.14	20.10	20.04	20.27	20.03	20.02	20.24	20.43	20.41	
		Oil (g)	12.39	12.41	12.30	11.60	11.57	11.54	13.63	13.45	13.47	12.44	13.06	13.05	
		Yield (%SM)	61.12	61.04	61.10	57.59	57.57	57.60	67.24	67.15	67.28	61.45	63.92	63.94	62.25±3.69
	F=1.9	Yield (%FFB)-Wet	32.17	32.13	32.16	30.31	30.30	30.31	35.39	35.34	35.41	32.34	33.64	33.65	32.76±1.94
	MC=27.5	Yield (%FFB)-Dry	44.37	44.31	44.36	41.81	41.80	41.81	48.81	48.75	48.84	44.61	46.41	46.42	45.19±2.68
6	AC	Steam mesocarp (g)	20.09	20.12	20.05	20.41	20.17	20.23	20.25	20.11	20.1	20.13	20.31	20.49	
		Oil (g)	12.93	12.95	12.91	12.63	12.48	12.50	14.54	14.48	14.42	13.74	13.80	13.88	
		Yield (%SM)	64.36	64.36	64.39	61.87	61.89	61.80	71.80	72.00	71.74	68.28	67.95	67.76	66.52±3.94
	F=1.8	Yield (%FFB)-Wet	35.76	35.76	35.77	34.37	34.38	34.33	39.89	40.00	39.86	37.93	37.75	37.65	36.95±2.19
	MC=26.5	Yield (%FFB)-Dry	48.65	48.65	48.67	46.77	46.78	46.71	54.27	54.42	54.23	51.61	51.36	51.22	50.28±2.98

Table A5. *Continued*

	Treatment		Dried Mesocarp											$\bar{x}$±SD
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
7	AD	Steam mesocarp (g)	20.15	20.05	20.10	20.10	20.44	20.11	20.05	20	20.02	20.43	20.01	20.23	
		Oil (g)	11.91	11.85	11.85	11.49	11.69	11.49	12.76	12.77	12.75	12.01	11.71	11.86	
		Yield (%SM)	59.11	59.10	58.96	57.17	57.21	57.14	63.64	63.85	63.69	58.79	58.53	58.63	59.65±2.57
	F=2.05	Yield (%FFB)-Wet	28.83	28.83	28.76	27.89	27.91	27.87	31.04	31.15	31.07	28.68	28.55	28.60	29.10±1.25
	MC=25	Yield (%FFB)-Dry	38.44	38.44	38.34	37.18	37.21	37.17	41.39	41.53	41.42	38.23	38.07	38.13	38.80±1.67
8	BC	Steam mesocarp (g)	20.09	20.06	20.22	20.44	20.12	20.11	20.26	20.05	20.01	20.11	20.06	20.00	
		Oil (g)	13.89	13.85	13.99	13.49	13.30	13.29	14.7	14.59	14.59	14.17	14.06	14.02	
		Yield (%SM)	69.14	69.04	69.19	66.02	66.08	66.09	72.56	72.77	72.91	70.47	70.07	70.11	69.54±2.51
	F=1.7	Yield (%FFB)-Wet	40.67	40.61	40.70	38.83	38.87	38.88	42.68	42.80	42.89	41.45	41.22	41.24	40.90±1.48
	MC=24	Yield (%FFB)-Dry	53.51	53.44	53.55	51.10	51.15	51.15	56.16	56.32	56.43	54.54	54.24	54.26	53.82±1.94
9	BD	Steam mesocarp (g)	20.04	20.12	20.22	20.23	20.61	20.43	20.09	20.08	20.04	20.20	20.50	20.44	
		Oil (g)	12.94	12.96	13.01	12.53	12.82	12.63	14.29	14.25	14.26	13.32	13.50	13.45	
		Yield (%SM)	64.57	64.41	64.34	61.92	62.21	61.83	71.13	70.97	71.16	65.94	65.82	65.80	65.84±3.48
	F=1.95	Yield (%FFB)-Wet	33.11	33.03	33.00	31.76	31.90	31.71	36.48	36.39	36.49	33.82	33.76	33.75	33.77±1.78
	MC=22.5	Yield (%FFB)-Dry	42.73	42.62	42.58	40.98	41.16	40.91	47.07	46.96	47.09	43.64	43.56	43.54	43.57±2.30

Table A5. *Continued*

	Treatment		Dried Mesocarp												$\bar{x}$±SD
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
10	CD	Steam mesocarp (g)	20.18	20.12	20.22	20.39	20.26	20.22	20.20	20.03	20.20	20.45	20.55	20.38	
		Oil (g)	13.65	13.53	13.68	13.24	13.19	13.16	14.99	14.82	14.96	14.78	14.83	14.72	
		Yield (%SM)	67.64	67.25	67.66	64.93	65.11	65.09	74.21	73.99	74.06	72.26	72.18	72.22	69.72±3.77
	F=1.85	Yield (%FFB)-Wet	36.56	36.35	36.57	35.10	35.19	35.19	40.11	39.99	40.03	39.06	39.02	39.04	37.68±2.04
	MC=21.5	Yield (%FFB)-Dry	46.58	46.31	46.59	44.71	44.83	44.82	51.10	50.95	51.00	49.76	49.70	49.73	48.01±2.60
11	ABC	Steam mesocarp (g)	20.03	20.04	20.12	20.03	20.32	20.35	20.02	20.05	20.03	20.40	20.64	20.70	
		Oil (g)	14.12	14.12	14.27	13.51	13.65	13.65	15.69	15.7	15.69	14.83	14.98	15.04	
		Yield (%SM)	70.49	70.46	70.92	67.43	67.17	67.06	78.37	78.30	78.33	72.71	72.59	72.64	72.21±4.22
	F=1.8	Yield (%FFB)-Wet	39.16	39.14	39.40	37.46	37.31	37.26	43.54	43.50	43.52	40.39	40.33	40.36	40.12±2.34
	MC=24.3	Yield (%FFB)-Dry	51.74	51.71	52.05	49.49	49.29	49.22	57.52	57.47	57.49	53.36	53.27	53.31	52.99±3.09
12	ABD	Steam mesocarp (g)	20.13	20.06	20.14	20.24	20.41	20.21	20.07	20.06	20.01	20.50	20.42	20.12	
		Oil (g)	12.18	12.17	12.17	11.79	11.87	11.74	13.37	13.31	13.28	12.69	12.68	12.49	
		Yield (%SM)	60.51	60.67	60.43	58.27	58.16	58.10	66.62	66.35	66.37	61.91	62.12	62.08	61.80±3.15
	F=1.96	Yield (%FFB)-Wet	30.87	30.95	30.83	29.73	29.67	29.64	33.99	33.85	33.86	31.59	31.69	31.67	31.53±1.61
	MC=25	Yield (%FFB)-Dry	41.16	41.27	41.11	39.64	39.57	39.52	45.32	45.14	45.15	42.11	42.26	42.23	42.04±2.14

Table A5. *Continued*

	Treatment		Dried Mesocarp												$\bar{x}$±SD
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
13	ACD	Steam mesocarp (g)	20.2	20.22	20.36	20.20	20.34	20.12	20.07	20.01	20.03	20.44	20.32	20.00	
		Oil (g)	13.57	13.55	13.67	13.00	13.09	12.94	14.64	14.53	14.6	14.34	14.21	14.01	
		Yield (%SM)	67.18	67.01	67.14	64.35	64.38	64.31	72.94	72.61	72.89	70.14	69.95	70.04	68.58±3.31
	F=1.9	Yield (%FFB)-Wet	35.36	35.27	35.34	33.87	33.89	33.85	38.39	38.22	38.36	36.92	36.81	36.86	36.09±1.74
	MC=24.3	Yield (%FFB)-Dry	46.71	46.59	46.68	44.74	44.76	44.72	50.72	50.49	50.68	48.77	48.63	48.69	47.68±2.30
14	BCD	Steam mesocarp (g)	20.07	20.01	20.20	20.10	20.06	20.27	20.01	20.00	20.05	20.36	20.22	20.21	
		Oil (g)	14.31	14.29	14.43	13.83	13.82	13.96	15.69	15.65	15.73	15.32	15.22	15.21	
		Yield (%SM)	71.30	71.41	71.44	68.79	68.90	68.88	78.41	78.25	78.45	75.21	75.27	75.26	73.47±3.80
	F=1.83	Yield (%FFB)-Wet	38.96	39.02	39.04	37.59	37.65	37.64	42.85	42.76	42.87	41.10	41.13	41.13	40.14±2.07
	MC=22.7	Yield (%FFB)-Dry	50.38	50.46	50.48	48.61	48.68	48.68	55.41	55.29	55.44	53.15	53.19	53.18	51.91±2.68
15	ABCD	Steam mesocarp (g)	20.09	20.13	20.01	20.48	20.35	20.38	20.01	20.13	20.00	20.32	20.46	20.44	
		Oil (g)	13.18	13.21	13.12	12.95	12.88	12.89	14.16	14.23	14.15	14.01	14.06	14.01	
		Yield (%SM)	65.60	65.62	65.57	63.25	63.29	63.24	70.76	70.69	70.75	68.94	68.75	68.55	67.09±3.00
	F=1.88	Yield (%FFB)-Wet	34.90	34.91	34.88	33.64	33.66	33.64	37.64	37.60	37.63	36.67	36.57	36.46	35.68±1.59
	MC=24.5	Yield (%FFB)-Dry	46.22	46.23	46.19	44.56	44.59	44.56	49.86	49.80	49.85	48.57	48.44	48.30	47.26±2.11

Table A6. Crude palm oil yield from different ripeness fruit from combined of orchard

	Treatment		Undried Mesocarp						$\bar{x}$±SD
			1	2	3	4	5	6	
1	A	Steam mesocarp (g)	20.12	20.32	20.44	20.22	20.21	20.32	
		Oil(g)	10.91	10.96	10.97	11.54	11.53	11.59	
		yield(%SM)	54.22	53.94	53.67	57.07	57.05	57.03	55.50±1.71
	F=2	yield(%FFB)-Wet	27.11	26.97	26.83	28.53	28.52	28.52	27.75±0.86
	MC=40	yield(%FFB)-Dry	45.18	44.95	44.72	47.56	47.54	47.53	46.25±1.43
2	B	Steam mesocarp (g)	20.06	20.12	20.22	20.00	20.02	20.04	
		Oil(g)	11.79	11.81	11.85	12.37	12.39	12.4	
		yield(%SM)	58.79	58.71	58.62	61.84	61.88	61.87	60.28±1.73
	F=1.8	yield(%FFB)-Wet	32.66	32.62	32.56	34.36	34.38	34.37	33.49±0.96
	MC=35	yield(%FFB)-Dry	50.24	50.18	50.10	52.85	52.89	52.88	51.52±1.48
3	C	Steam mesocarp (g)	20.35	20.60	20.22	20.11	20.22	20.10	
		Oil(g)	13.31	13.48	13.27	13.52	13.59	13.51	
		yield(%SM)	65.40	65.45	65.62	67.22	67.21	67.21	66.35±0.95
	F=1.6	yield(%FFB)-Wet	40.87	40.91	41.01	42.01	42.00	42.01	41.47±0.59
	MC=33	yield(%FFB)-Dry	61.01	61.05	61.22	62.71	62.69	62.70	61.90±0.88
4	D	Steam mesocarp (g)	20.24	20.10	20.10	20.01	20.01	20.12	
		Oil(g)	11.89	11.80	11.79	11.48	11.47	11.49	
		yield(%SM)	58.74	58.70	58.66	57.38	57.33	57.11	57.99±0.79
	F=2.1	yield(%FFB)-Wet	27.97	27.95	27.93	27.32	27.30	27.19	27.61±0.37
	MC=30	yield(%FFB)-Dry	39.96	39.93	39.90	39.04	39.00	38.85	39.45±0.54
5	AB	Steam mesocarp (g)	20.24	20.44	20.65	20.26	20.41	20.31	
		Oil(g)	11.67	11.78	11.83	11.98	12.11	12.02	
		yield(%SM)	57.64	57.64	57.28	59.13	59.32	59.18	58.37±0.94
	F=1.9	yield(%FFB)-Wet	30.34	30.34	30.15	31.12	31.22	31.15	30.72±0.49
	MC=37.5	yield(%FFB)-Dry	48.54	48.54	48.24	49.79	49.96	49.84	49.15±0.79
6	AC	Steam mesocarp (g)	20.60	20.44	20.42	20.03	20.11	20.05	
		Oil(g)	12.10	12.08	12.07	11.49	11.53	11.5	
		yield(%SM)	58.74	59.09	59.10	57.36	57.33	57.36	58.16±0.90
	F=1.8	yield(%FFB)-Wet	32.63	32.83	32.83	31.87	31.85	31.86	32.31±0.50
	MC=35	yield(%FFB)-Dry	50.21	50.50	50.51	49.03	49.00	49.02	49.71±0.77

Table A6. *Continued*

	Treatment		Undried Mesocarp						$\bar{x}$±SD
			1	2	3	4	5	6	
7	AD	Steam mesocarp (g)	20.22	20.21	20.22	20.14	20.05	20.10	
		Oil(g)	11.26	11.29	11.27	11.53	11.48	11.50	
		yield(%SM)	55.69	55.86	55.73	57.26	57.26	57.20	56.50±0.81
	F=2.05	yield(%FFB)-Wet	27.16	27.25	27.19	27.93	27.93	27.90	27.56±040
	MC=34	yield(%FFB)-Dry	41.16	41.29	41.19	42.32	42.32	42.28	41.76±0.60
8	BC	Steam mesocarp (g)	20.35	20.33	20.76	20.85	20.05	20.21	
		Oil(g)	12.56	12.59	12.88	12.71	12.25	12.34	
		yield(%SM)	61.73	61.93	62.05	60.96	61.10	61.05	61.47±0.49
	F=1.7	yield(%FFB)-Wet	36.31	36.43	36.50	35.86	35.94	35.91	36.16±0.29
	MC=32.5	yield(%FFB)-Dry	53.79	53.97	54.07	53.12	53.25	53.20	53.57±0.42
9	BD	Steam mesocarp (g)	20.46	20.30	20.00	20.01	20.12	20.22	
		Oil(g)	12.00	11.96	11.89	11.50	11.53	11.58	
		yield(%SM)	58.65	58.91	59.44	57.47	57.31	57.26	58.17±0.95
	F=1.95	yield(%FFB)-Wet	30.08	30.21	30.48	29.47	29.39	29.36	29.83±0.48
	MC=31.5	yield(%FFB)-Dry	43.91	44.10	44.50	43.02	42.90	42.87	43.55±0.71
10	CD	Steam mesocarp (g)	20.53	20.44	20.31	20.05	20.01	20.03	
		Oil(g)	12.97	12.99	12.87	12.08	12.06	12.06	
		yield(%SM)	63.17	63.55	63.36	60.26	60.27	60.20	61.80±1.71
	F=1.85	yield(%FFB)-Wet	34.15	34.35	34.25	32.58	32.58	32.54	33.41±0.92
	MC=36	yield(%FFB)-Dry	53.36	53.68	53.52	50.90	50.91	50.85	52.20±1.44
11	ABC	Steam mesocarp (g)	20.39	20.64	20.69	20.02	20.07	20.09	
		Oil(g)	13.16	13.09	13.13	12.90	12.92	12.91	
		yield(%SM)	64.54	63.41	63.47	64.43	64.38	64.28	64.08±0.50
	F=1.8	yield(%FFB)-Wet	35.85	35.23	35.26	35.79	35.77	35.71	35.60±0.28
	MC=35	yield(%FFB)-Dry	55.16	54.20	54.25	55.06	55.03	54.94	54.77±0.43
12	ABD	Steam mesocarp (g)	20.11	20.50	20.47	20.08	20.05	20.04	
		Oil(g)	12.60	12.69	12.50	12.28	12.26	12.26	
		yield(%SM)	62.66	61.91	61.08	61.17	61.16	61.17	61.52±0.63
	F=1.96	yield(%FFB)-Wet	31.97	31.59	31.16	31.21	31.20	31.21	31.39±0.32
	MC=34.3	yield(%FFB)-Dry	48.66	48.08	47.43	47.50	47.49	47.50	47.78±0.49

Table A6. *Continued*

Treatment			Undried Mesocarp						$\bar{x}$±SD
			1	2	3	4	5	6	
13	ACD	Steam mesocarp (g)	20.24	20.24	20.21	20.31	20.07	20.04	
		Oil(g)	12.70	12.93	12.80	12.89	12.76	12.75	
		yield(%SM)	62.74	63.88	63.32	63.47	63.58	63.61	63.43±0.39
	F=1.9	yield(%FFB)-Wet	33.02	33.62	33.33	33.40	33.46	33.48	33.39±0.20
	MC=32.6	yield(%FFB)-Dry	48.99	49.89	49.45	49.56	49.65	49.67	49.53±0.30
14	BCD	Steam mesocarp (g)	20.23	20.34	20.21	20.07	20.00	20.02	
		Oil(g)	14.19	14.08	14.02	12.75	12.70	12.72	
		yield(%SM)	70.15	69.23	69.37	63.53	63.49	63.55	66.55±3.33
	F=1.83	yield(%FFB)-Wet	38.33	37.83	37.91	34.72	34.69	34.73	36.37±1.82
	MC=34.5	yield(%FFB)-Dry	58.53	57.76	57.87	53.01	52.97	53.02	55.52±2.78
15	ABCD	Steam mesocarp (g)	20.12	20.33	20.21	20.22	20.20	20.21	
		Oil(g)	11.99	12.07	12.03	12.54	12.51	12.51	
		yield(%SM)	59.59	59.38	59.53	62.01	61.93	61.90	60.72±1.34
	F=1.88	yield(%FFB)-Wet	31.70	31.58	31.66	32.99	32.94	32.92	32.30±0.71
	MC=35.5	yield(%FFB)-Dry	49.14	48.97	49.09	51.14	51.07	51.04	50.08±1.11

ภาคผนวก ค.

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสมดุลมวลจากทะลายปาล์มสด

Table A7. ANOVA of mass balance of steamed mesocarp from fresh fruit bunch

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Comparison among A, B, C and D of fresh fruit					
Corrected Model	141.555	5	47.185	9.134	.002
Intercept	105383.014	1	105383.014	20400.011	.002
Fresh fruit	141.555	5	447.185	9.134	.002
Error	61.990	12	5.166		
Total	105586.558	24			
Corrected Total	203.545	23			
Comparison among A, B, C and D of steamed fruit					
Corrected Model	167.403	5	55.801	6.698	.007
Intercept	102689.805	1	102689.805	12326.176	.000
Steamed fruit	167.403	5	55.801	6.698	.007
Error	99.972	12	8.331		
Total	102957.180	24			
Corrected Total	267.375	23			
Comparison among A, B, C and D of steamed mesocarp					
Corrected Model	545.720	3	181.907	17.104	.000
Intercept	46938.306	1	46938.306	4413.412	.000
Steamed mesocarp	545.720	3	181.907	17.104	.000
Error	127.625	12	.10.635		
Total	47611.651	16			
Corrected Total	673.345	15			

A = Unripe, B = Under ripe, C = Ripe, D = Over ripe

ภาคผนวก ง.

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำมันปาล์มดิบ วัตถุดิบจากสวนที่ 1

Table A8. ANOVA of crude palm oil yield extracted from dried mesocarp of different ripeness

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Comparison among A, B, C and D					
Corrected Model	1458.186	3	486.062	503.927	.000
Intercept	53049.845	1	53049.845	5.504	.000
Ripeness	1458.186	3	486.062	503.927	.000
Error	19.291	20	.965		
Total	54527.323	24			
Corrected Total	1477.477	23			
Comparison among A, AB, AC and AD					
Corrected Model	358.938	3	119.646	258.914	.000
Intercept	46592.569	1	46592.569	1.008	.000
Ripeness	358.938	3	119.646	258.914	.000
Error	9.242	20	.462		
Total	46960.749	24			
Corrected Total	368.180	23			
Comparison among B, BA, BC and BD					
Corrected Model	428.090	3	142.697	361.408	.000
Intercept	56014.479	1	56014.479	1.419	.000
Ripeness	428.090	3	142.697	361.408	.000
Error	7.897	20	.395		
Total	56450.466	24			
Corrected Total	435.987	23			

Table A8. *Continued*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Comparison among C, CA, CB and CD					
Corrected Model	419.160	3	139.720	2.0873	.000
Intercept	67150.203	1	67150.203	1.0036	.000
Ripeness	419.160	3	139.720	2.0873	.000
Error	1.339	20	.067		
Total	67570.701	24			
Corrected Total	420.499	23			
Comparison among D, DA, DB and DC					
Corrected Model	342.345	3	114.115	703.130	.000
Intercept	43650.569	1	43650.569	2.690	.000
Ripeness	342.345	3	114.115	703.130	.000
Error	3.246	20	.162		
Total	43996.160	24			
Corrected Total	345.591	23			
Comparison among ABC, ABD, ACD and BCD					
Corrected Model	430.443	3	143.481	1.014	.000
Intercept	57254.155	1	57254.155	4.047	.000
Ripeness	430.443	3	143.481	1.014	.000
Error	.283	20	.014		
Total	57684.881	24			
Corrected Total	430.726	23			

Table A9. ANOVA of crude palm oil yield extracted from undried mesocarp of different ripeness

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Comparison among A, B, C and D					
Corrected Model	777.855	3	259.285	1.3804	.000
Intercept	30507.125	1	30507.125	1.6246	.000
Ripeness	777.855	3	259.285	1.3804	.000
Error	.150	8	.019		
Total	31285.130	12			
Corrected Total	778.005	11			
Comparison among A, AB, AC and AD					
Corrected Model	163.113	3	54.371	1.225	.000
Intercept	27284.403	1	27284.403	6.145	.000
Ripeness	163.113	3	54.371	1.225	.000
Error	.355	8	.044		
Total	27447.871	12			
Corrected Total	163.468	11			
Comparison among B, BA, BC and BD					
Corrected Model	170.137	3	56.712	978.642	.000
Intercept	31266.083	1	31266.083	5.395	.000
Ripeness	170.137	3	56.712	978.642	.000
Error	.464	8	.058		
Total	31436.684	12			
Corrected Total	170.600	11			

Table A9. *Continued*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Comparison among C, CA, CB and CD					
Corrected Model	232.433	3	77.478	2.995	.000
Intercept	37727.260	1	37727.260	1.459	.000
Ripeness	232.433	3	77.478	2.995	.000
Error	.207	8	.026		
Total	37959.900	12			
Corrected Total	232.640	11			
Comparison among D, DA, DB and DC					
Corrected Model	184.866	3	61.622	1.675	.000
Intercept	25119.495	1	25119.495	6.826	.000
Ripeness	184.866	3	61.622	1.675	.000
Error	.294	8	.037		
Total	25304.656	12			
Corrected Total	185.161	11			
Comparison among ABC, ABD, ACD and BCD					
Corrected Model	98.254	3	32.751	50.888	.000
Intercept	33314.833	1	33314.833	5.176	.000
Ripeness	98.254	3	32.751	50.888	.000
Error	5.149	8	0.644		
Total	33418.236	12			
Corrected Total	103.403	11			

ภาคผนวก จ.

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำมันปาล์มดิบ วัตถุดิบจากสวนที่ 2

Table A10. ANOVA of crude palm oil yield extracted from dried mesocarp of different ripeness

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Comparison among A, B, C and D					
Corrected Model	1988.584	3	662.861	1277.325	.000
Intercept	51736.020	1	51736.020	99694.612	.000
Ripeness	1988.584	3	662.866	1277.325	.000
Error	10.379	20	0.519		
Total	53734.983	24			
Corrected Total	1998.963	23			
Comparison among A, AB, AC and AD					
Corrected Model	587.332	3	195.777	1247.856	.000
Intercept	45615.192	1	45615.192	290744.8	.000
Ripeness	587.332	3	195.777	1247.856	.000
Error	3.138	20	0.157		
Total	46205.662	24			
Corrected Total	590.469	23			
Comparison among B, BA, BC and BD					
Corrected Model	343.688	3	114.563	588.713	.000
Intercept	54435.375	1	54435.375	279732.0	.000
Ripeness	343.688	3	114.563	588.713	.000
Error	3.892	20	0.195		
Total	54782.955	24			
Corrected Total	347.580	23			

Table A10. *Continued*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Comparison among C, CA, CB and CD					
Corrected Model	532.046	3	177.349	785.372	.000
Intercept	67653.649	1	67653.649	299597.7	.000
Ripeness	532.046	3	177.349	785.372	.000
Error	4.516	20	0.226		
Total	68190.212	24			
Corrected Total	536.563	23			
Comparison among D, DA, DB and DC					
Corrected Model	481.061	3	160.354	345.457	.000
Intercept	41096.133	1	41096.133	88535.066	.000
Ripeness	481.061	3	160.354	345.457	.000
Error	9.284	20	0.464		
Total	41586.478	24			
Corrected Total	490.345	23			
Comparison among ABC, ABD, ACD and BCD					
Corrected Model	498.008	3	166.003	944.462	0.000
Intercept	56567.547	1	56567.547	321837.8	0.000
Ripeness	498.008	3	166.003	944.462	0.000
Error	3.515	20	0.176		
Total	57069.070	24			
Corrected Total	501.523	23			

Table A11. ANOVA of crude palm oil yield extracted from undried mesocarp of different ripeness

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Comparison among A, B, C and D					
Corrected Model	672.963	3	224.321	77130.433	0.000
Intercept	28167.861	1	28167.861	968522.4	0.000
Ripeness	672.963	3	224.321	77130.433	0.000
Error	0.023	8	0.003		
Total	28840.847	12			
Corrected Total	672.986	11			
Comparison among A, AB, AC and AD					
Corrected Model	137.997	3	45.999	19855.664	0.000
Intercept	24886.699	1	24886.699	685700.7	0.000
Ripeness	137.997	3	45.999	19855.664	0.000
Error	0.019	8	0.002		
Total	25024.715	12			
Corrected Total	138.015	11			
Comparison among B, BA, BC and BD					
Corrected Model	134.256	3	44.752	10132.510	0.000
Intercept	27648.960	1	27648.960	626014.2	0.000
Ripeness	134.256	3	44.752	10132.510	0.000
Error	0.035	8	0.004		
Total	27788.251	12			
Corrected Total	134.291	11			

Table 11. *Continued.*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Comparison among C, CA, CB and CD					
Corrected Model	248.097	3	82.699	354424.9	0.000
Intercept	32985.810	1	32985.810	108600.8	0.000
Ripeness	248.097	3	82.699	354424.9	0.000
Error	0.002	8	0.000		
Total	33233.910	12			
Corrected Total	248.099	11			
Comparison among D, DA, DB and DC					
Corrected Model	85.587	3	28.529	5442.715	0.000
Intercept	22387.105	1	22387.105	427099.0	0.000
Ripeness	85.587	3	28.529	5442.715	0.000
Error	0.042	8	0.005		
Total	22472.738	12			
Corrected Total	85.629	11			
Comparison among ABC, ABD, ACD and BCD					
Corrected Model	61.670	3	20.557	8222.679	0.000
Intercept	29475.314	1	29475.314	10000.7	0.000
Ripeness	61.670	3	20.557	8222.679	0.000
Error	0.020	8	0.003		
Total	29537.005	12			
Corrected Total	61.690	11			

ภาคผนวก ฉ.

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำมันปาล์มดิบ วัตถุดิบรวมสวน

Table A12. ANOVA of crude palm oil yield extracted from dried mesocarp of different ripeness

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Comparison among A, B, C and D					
Corrected Model	3423.836	3	1141.279	885.287	.000
Intercept	104781.747	1	104781.747	8.128	.000
Ripeness	3423.836	3	1141.279	885.287	.000
Error	56.723	44	1.289		
Total	108262.306	48			
Corrected Total	3480.559	47			
Comparison among A, AB, AC and AD					
Corrected Model	930.496	3	310.165	443.906	.000
Intercept	92205.171	1	92205.171	1.320	.000
Ripeness	930.496	3	310.65	443.906	.000
Error	30.744	44	.699		
Total	93166.41	48			
Corrected Total	961.239	47			
Comparison among B, BA, BC and BD					
Corrected Model	765.502	3	255.167	473.557	.000
Intercept	110444.209	1	110444.209	2.050	.000
Ripeness	765.502	3	255.167	473.557	.000
Error	23.709	44	.539		
Total	111233.420	48			
Corrected Total	789.211	47			

Table 12. *Continued.*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Comparison among C, CA, CB and CD					
Corrected Model	934.898	3	311.633	605.821	0.000
Intercept	134803.382	1	134803.382	2.621	0.000
Ripeness	934.898	3	311.633	605.821	0.000
Error	22.633	44	.514		
Total	135760.913	48			
Corrected Total	957.531	47			
Comparison among D, DA, DB and DC					
Corrected Model	817.331	3	272.444	316.640	0.000
Intercept	84727.449	1	84727.449	9.847	0.000
Ripeness	817.331	3	272.444	316.640	0.000
Error	37.859	44	.860		
Total	85582.639	48			
Corrected Total	855.190	47			
Comparison among ABC, ABD, ACD and BCD					
Corrected Model	926.607	3	308.869	2.035	0.000
Intercept	113820.667	1	113820.667	7.501	0.000
Ripeness	926.607	3	308.869	2.035	0.000
Error	6.677	44	.152		
Total	114753.951	48			
Corrected Total	933.284	47			

Table A13. ANOVA of crude palm oil yield extracted from undried mesocarp of different ripeness

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Comparison among A, B, C and D					
Corrected Model	1447.016	3	482.339	353.363	0.000
Intercept	58651.661	1	58651.661	4.297	0.000
Ripeness	1447.016	3	482.339	353.363	0.000
Error	27.300	20	1.365		
Total	60125.978	24			
Corrected Total	1474.316	23			
Comparison among A, AB, AC and AD					
Corrected Model	298.945	3	99.648	66.207	0.000
Intercept	52143.539	1	52143.539	3.464	0.000
Ripeness	298.945	3	99.648	66.207	0.000
Error	30.102	20	1.505		
Total	52472.586	24			
Corrected Total	329.047	23			
Comparison among B, BA, BC and BD					
Corrected Model	373.981	3	124.660	34.856	0.000
Intercept	55075.420	1	55075.420	1.540	0.000
Ripeness	373.981	3	124.660	34.856	0.000
Error	71.528	20	3.576		
Total	55520.929	24			
Corrected Total	445.509	23			

Table 13. *Continued.*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Comparison among C, CA, CB and CD					
Corrected Model	473.227	3	157.742	36.228	0.000
Intercept	70633.500	1	70633.500	1.622	0.000
Ripeness	473.227	3	157.742	36.228	0.000
Error	87.083	20	4.354		
Total	71193.810	24			
Corrected Total	560.310	23			
Comparison among D, DA, DB and DC					
Corrected Model	260.443	3	86.814	34.958	0.000
Intercept	47467.278	1	47467.278	1.911	0.000
Ripeness	260.443	3	86.814	34.958	0.000
Error	49.668	20	2.483		
Total	47777.389	24			
Corrected Total	310.111	23			
Comparison among ABC, ABD, ACD and BCD					
Corrected Model	155.451	3	51.817	15.153	0.000
Intercept	62731.398	1	62731.398	1.834	0.000
Ripeness	155.451	3	51.817	15.153	0.000
Error	68.392	20	3.420		
Total	62955.241	24			
Corrected Total	223.843	23			

ภาคผนวก ช.

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณกรดไขมันอิสระ

Table A14. ANOVA of free fatty acid of crude palm oil from combined orchard

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Comparison among A, B, C, D,AB, AC, AD, BC, BD,CD, ABC, ABD, ACD, BCD and ABCD					
Corrected Model	47.338	14	3.381	590.581	.000
Intercept	1584.734	1	1584.734	276794.8	.000
Free fatty acid	47.338	14	3.381	590.581	.000
Error	.945	165	0.006		
Total	1633.016	180			
Corrected Total	48.282	179			

ภาคผนวก ซ.

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำมันปาล์มดิบชุดทดลองที่ใช้ยืนยันผล

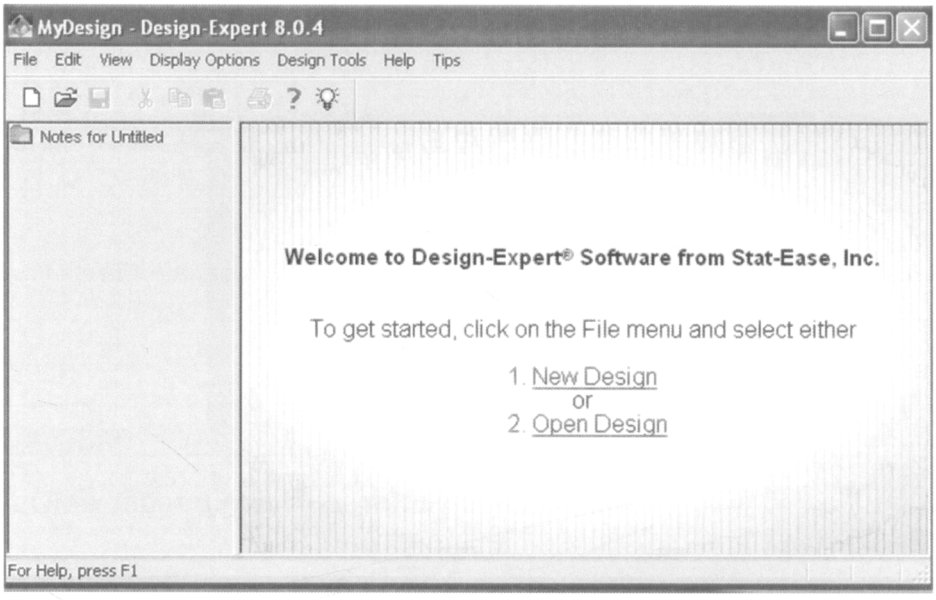
Table A15. ANOVA of crude palm oil from the selected ripeness combination

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Comparison among BC1 BC2 BC3 and BC4					
Corrected Model	.036	3	.012	15.004	.000
Intercept	2164.916	1	2164.916	2.735E6	.000
selected ripeness	.036	3	.012	15.004	.000
Error	.006	8	.001		
Total	2164.958	12			
Corrected Total	.042	11			
Comparison among CD1 and CD2					
	Mean	Std. Deviation	t	df	Sig
Pair CD1-CD2	-0.05	0.026	-3.273	2	0.082
Comparison among ACD BCD1 and BCD2					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.684	2	.342	265.526	.000
Intercept	1783.373	1	1783.373	1.384E6	.000
selected ripeness	.684	2	.342	265.526	.000
Error	.008	6	.001		
Total	1784.065	9			
Corrected Total	.692	8			

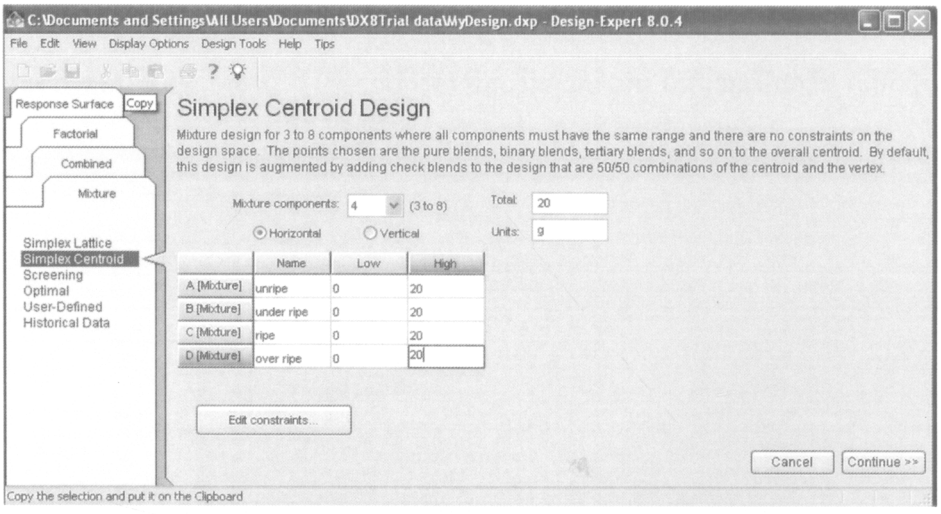
ภาคผนวก ฌ.

รายละเอียดการโดยใช้โปรแกรม Design expert

1. การเข้าสู่ระบบ โดยการเปิดโปรแกรม Design Expert Version 8.0.4 แล้วจะพบกับหน้าจอดังภาพข้างล่าง แล้วเลือก New Design



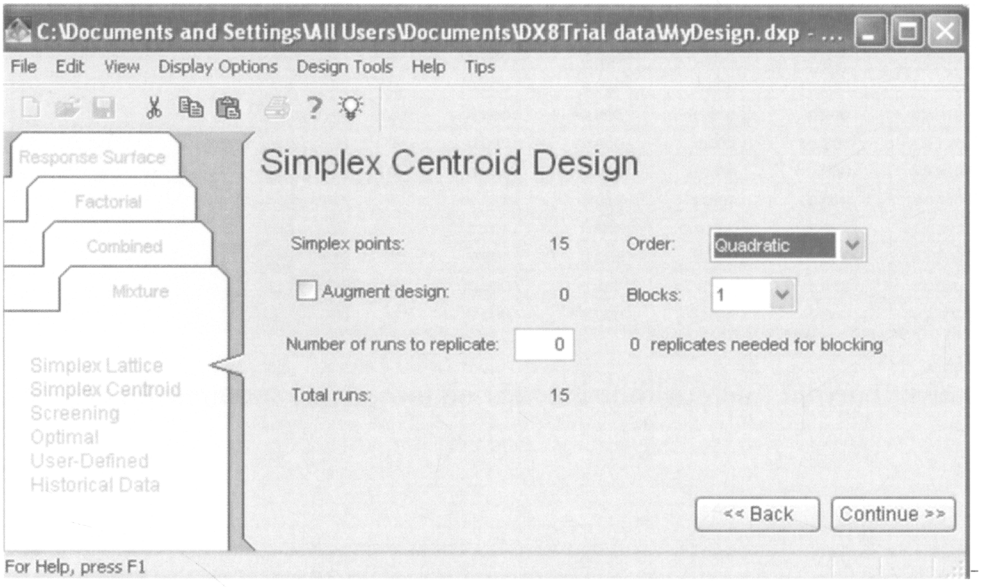
2. การเลือกรูปแบบการทดลอง



2.1 เลือกรูปแบบการทดลองแบบ Mixture Design และเลือก Simplex Centroid

2.2 ส่วนองค์ประกอบของการผสม (Mixture Components) ระดับความสุกของผลปาล์มซึ่งมี 4 ระดับความสุก คือ Unripe, Under ripe, Ripe และ Over ripe แล้วกรอกปริมาณข้อจำกัดขององค์ประกอบของการผสม (Components) คือน้ำหนักของเนื้อปาล์ม 0-20 กรัม แล้ว คลิก Continue

3. การประเมินรูปแบบของการทดลอง

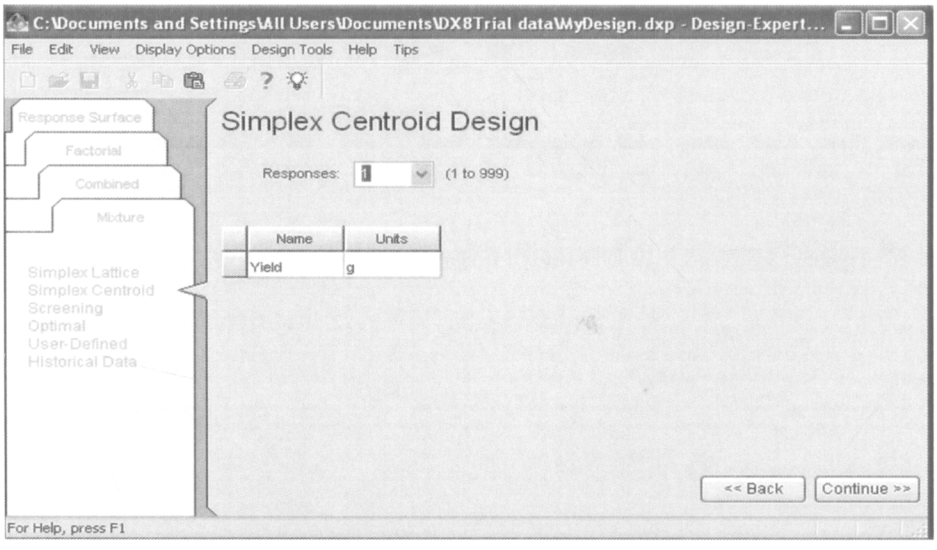


3.1 Order เลือกตามค่าเริ่มต้นของโปรแกรมคือ Quadratic

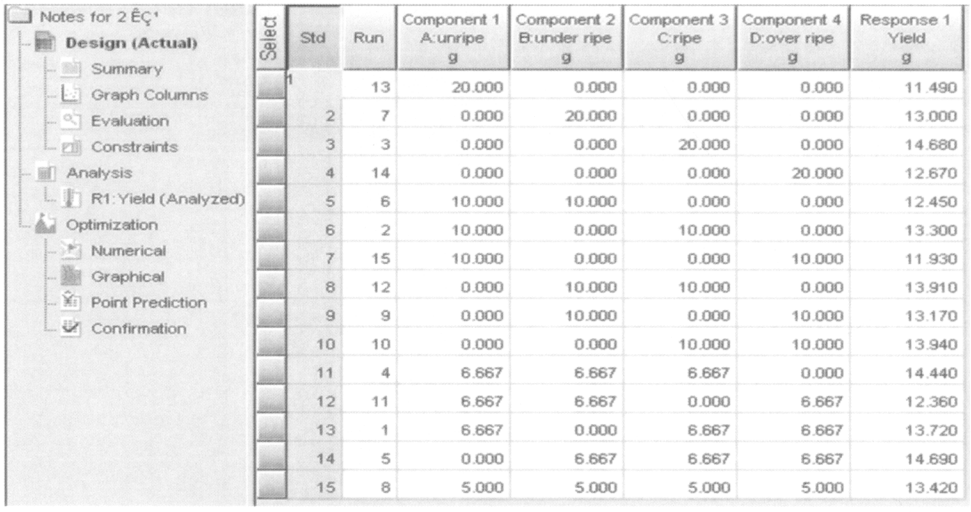
3.2 Number of runs to replicate คือ 0

3.3 จะได้จำนวนชุดการทดลองทั้งหมด 15 ชุดการทดลอง

4. กำหนดสิ่งตอบสนองที่ต้องการ (Response) คือปริมาณน้ำมัน มีหน่วยเป็นกรัม คลิก Continue



5. ชุดการทดลอง (Design) 15 การทดลอง และมีสิ่งตอบสนอง (Response) คือ Yield

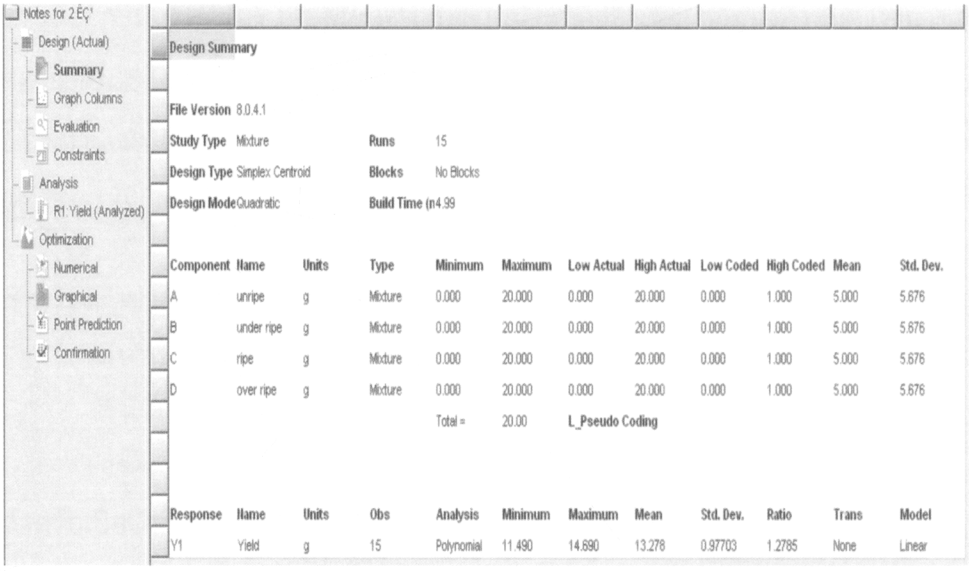


Notes for 2 ÊÇ¹
- Design (Actual)
  - Summary
  - Graph Columns
  - Evaluation
  - Constraints
- Analysis
  - R1: Yield (Analyzed)
- Optimization
  - Numerical
  - Graphical
  - Point Prediction
  - Confirmation

Select	Std	Run	Component 1 A:unripe g	Component 2 B:under ripe g	Component 3 C:ripe g	Component 4 D:over ripe g	Response 1 Yield g
	1	13	20.000	0.000	0.000	0.000	11.490
	2	7	0.000	20.000	0.000	0.000	13.000
	3	3	0.000	0.000	20.000	0.000	14.680
	4	14	0.000	0.000	0.000	20.000	12.670
	5	6	10.000	10.000	0.000	0.000	12.450
	6	2	10.000	0.000	10.000	0.000	13.300
	7	15	10.000	0.000	0.000	10.000	11.930
	8	12	0.000	10.000	10.000	0.000	13.910
	9	9	0.000	10.000	0.000	10.000	13.170
	10	10	0.000	0.000	10.000	10.000	13.940
	11	4	6.667	6.667	6.667	0.000	14.440
	12	11	6.667	6.667	0.000	6.667	12.360
	13	1	6.667	0.000	6.667	6.667	13.720
	14	5	0.000	6.667	6.667	6.667	14.690
	15	8	5.000	5.000	5.000	5.000	13.420

กรอกข้อมูลสิ่งตอบสนอง (Response) คือ ปริมาณน้ำมันที่ได้ (Yield) มีหน่วยเป็นกรัม

6. การสรุปข้อมูลของชุดการทดลอง (Design summary)



Notes for 2 ÊÇ¹
- Design (Actual)
  - Summary
  - Graph Columns
  - Evaluation
  - Constraints
- Analysis
  - R1: Yield (Analyzed)
- Optimization
  - Numerical
  - Graphical
  - Point Prediction
  - Confirmation

Design Summary

File Version 8.0.4.1

Study Type Mixture **Runs** 15

Design Type Simplex Centroid **Blocks** No Blocks

Design Mode Quadratic **Build Time** (n4.99

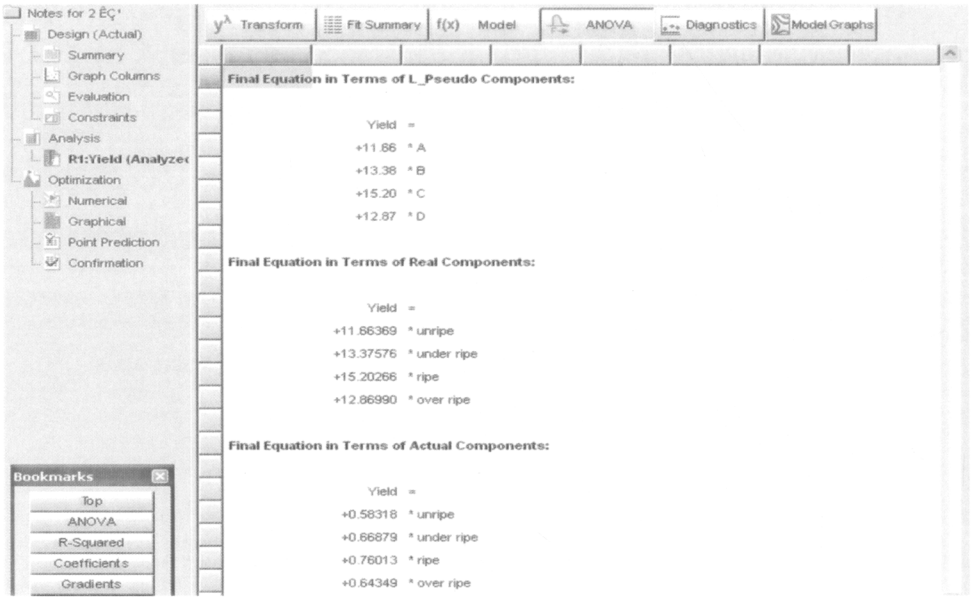
Component	Name	Units	Type	Minimum	Maximum	Low Actual	High Actual	Low Coded	High Coded	Mean	Std. Dev.
A	unripe	g	Mixture	0.000	20.000	0.000	20.000	0.000	1.000	5.000	5.676
B	under ripe	g	Mixture	0.000	20.000	0.000	20.000	0.000	1.000	5.000	5.676
C	ripe	g	Mixture	0.000	20.000	0.000	20.000	0.000	1.000	5.000	5.676
D	over ripe	g	Mixture	0.000	20.000	0.000	20.000	0.000	1.000	5.000	5.676
				Total =	20.00	L_Pseudo Coding					

Response	Name	Units	Obs	Analysis	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.	Ratio	Trans	Model
Y1	Yield	g	15	Polynomial	11.490	14.690	13.278	0.97703	1.2785	None	Linear

6.1 Summary สรุปข้อมูลการจัดชุดการทดลอง ซึ่งแสดงข้อมูลชนิดของ Design คือ Simplex Centroid จำนวน 15 ชุดการทดลอง

6.2 คลิก Analysis

7. การวิเคราะห์ (Analysis) ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนกับระดับความสุกต่อปริมาณน้ำมัน (Yield) จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ 3 สมการ



7.1 สมการ L-pseudo Components ปริมาณน้ำมันที่คำนวณได้มีที่มาจากการแทนค่าจากน้ำหนักของตัวอย่างเนื้อปาล์มนึ่ง (กรัม) โดยเทียบจากสัดส่วนน้ำหนักของเนื้อปาล์มนึ่งทั้งหมด เช่น ปริมาณเนื้อปาล์มนึ่งของปาล์มระดับก่อนสุก (B) = 5.496 กรัม ระดับสุก (C) = 14.504 กรัม หากต้องการทราบค่าปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้ จะต้องแทนค่าปริมาณโดยน้ำหนักของเนื้อปาล์มนึ่งเทียบจากสัดส่วนรวม 1 ส่วน ดังนี้

สำหรับเนื้อปาล์มนึ่ง ระดับก่อนสุก (B) 5.496 กรัม

มีปริมาณเนื้อปาล์มนึ่งน้ำหนักรวม 20 กรัม คิดเป็นสัดส่วน 1 ส่วน

ถ้าใช้เนื้อปาล์มนึ่ง ระดับก่อนสุก (B) 5.496 กรัม

จะคิดเป็น (5.496*1)/20 = 0.275 ส่วน

สำหรับเนื้อปาล์มนึ่ง ระดับสุก (C) 14.504 กรัม

มีปริมาณเนื้อปาล์มนึ่งน้ำหนักรวม 20 กรัม คิดเป็นสัดส่วน 1 ส่วน

ถ้าใช้เนื้อปาล์มนึ่ง ระดับสุก (C) 14.504 กรัม

จะคิดเป็น (14.504*1)/20 = 0.725 ส่วน

จากนั้นนำ B และ C ที่เป็นสัดส่วนจากทั้งหมด 20 ส่วน

โดย B = 0.275 และ C = 0.725

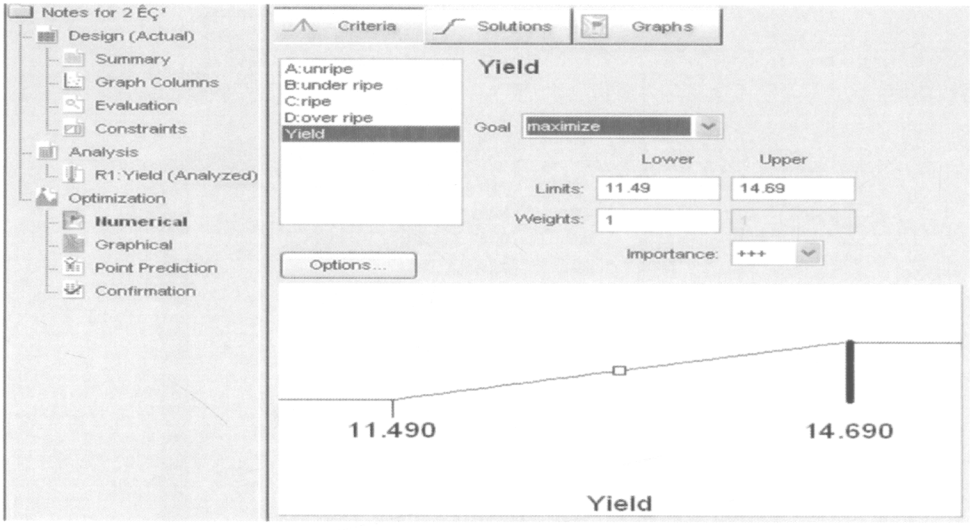
เมื่อแทนค่าในสมการ L-pseudo Components จะได้

Y = 11.66(0)+13.38(0.275)+15.20(0.725)+12.87(0)

7.2 สมการ Real Components เป็นสมการรูปแบบเดียวกันกับสมการ L-preudo Component :เมื่อนำไปใช้จะแทนค่าเช่นเดียวกับ สมการ L-pseudo Components

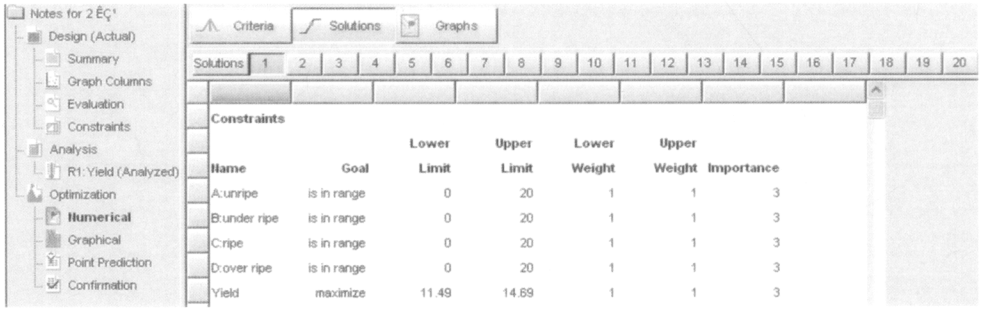
7.3 สมการ Actual Components ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่คำนวณได้มีที่มาจากการแทนค่าปริมาณเนื้อปาล์มนึ่ง (กรัม) โดยใช้น้ำหนักจริงที่ทำการทดลองจากทั้งหมด 20 กรัม

8. การหาสภาวะที่เหมาะสม (Optimization)



8.1 Numerical-Criteria เลือกเป้าหมาย (Goal) ของปัจจัยตอบสนองคือ Maximum Yield และเลือกระดับความสำคัญ (Importance) +++

8.2 Numerical-Solutions เมื่อเลือก Solution จะได้อัตราส่วนในการผสมที่มีปริมาณน้ำมันสูง และมีค่าความน่าเชื่อถือใกล้เคียง 1 มาให้ทั้งหมด 21 แบบดังภาพข้างล่าง



Solutions

Number	unripe	under ripe	ripe	over ripe	Yield	Desirability	
1	0.000	5.496	14.504	0.000	14.701	1.000	Selected
2	0.000	4.847	15.153	0.000	14.760	1.000	
3	0.000	0.000	20.000	0.000	15.203	1.000	
4	0.000	1.556	17.556	0.889	14.957	1.000	
5	0.000	2.058	17.630	0.313	14.978	1.000	
6	0.000	3.410	16.590	0.000	14.891	1.000	
7	0.000	4.327	15.673	0.000	14.807	1.000	
8	0.000	3.735	16.265	0.000	14.861	1.000	
9	0.000	0.364	19.636	0.000	15.169	1.000	
10	0.000	2.738	17.262	0.000	14.953	1.000	
11	0.000	0.000	19.635	0.365	15.160	1.000	
12	0.000	2.197	17.803	0.000	15.002	1.000	
13	0.000	3.064	16.260	0.676	14.844	1.000	
14	0.000	1.164	18.836	0.000	15.096	1.000	
15	0.455	3.519	15.105	0.921	14.693	1.000	
16	0.000	5.178	14.822	0.000	14.730	1.000	
17	0.000	0.000	16.881	3.119	14.839	1.000	
18	0.519	0.000	18.254	1.227	14.968	1.000	
19	1.257	0.000	18.743	0.000	14.980	1.000	
20	1.456	0.000	16.881	1.663	14.751	1.000	
21	0.043	1.323	18.059	0.575	15.007	1.000	