อัตราพันธุกรรมและสหสัมพันธ์ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นและองค์ประกอบผลผลิตในปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา

Heritabilities and Correlations of Vegetative Growth and Yield Component Characters in Tenera Oil Palm

ณัฐพงศ์ สงฤทธิ์

Nuttapong Songrit

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Plant Science
Prince of Songkla University
2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ อัตราพันธุกรรมและสหสัมพันธ์ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นและองค์ประกอบผลผลิตในปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา

ผู้เขียน นายณัฐพงศ์ สงฤทธิ์

สาขาวิชา พืชศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(ศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เอกสมทราเมษฐ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินิจ เสรีประเสริฐ)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย หวังวโรดม)

.....กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เอกสมทราเมษฐ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินิจ เสรีประเสริฐ)

.....กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล เหล่าสุวรรณ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจาการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอแสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

ลงชื่อ.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เอกสมทราเมษฐ์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นายณัฐพงศ์ สงฤทธิ์)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นายณัฐพงศ์ สงฤทธิ์)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ อัตราพันธุกรรมและสหสัมพันธ์ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นและองค์ประกอบผลผลิตในปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา

ผู้เขียน นายณัฐพงศ์ สงฤทธิ์

สาขาวิชา พืชศาสตร์

ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอัตราพันธุกรรมแบบกว้าง และแบบแคบ สหสัมพันธ์ และการวิเคราะห์เส้นทาง ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของปาล์มน้ำมัน โดยทำการศึกษากับปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา อายุ 9 ปี จำนวน 18 คู่ผสม โดยวางแผนการผสมแบบ North Carolina Mating Design I (NCM 1) ใช้ปาล์มน้ำมันแบบพิสิเฟอราเป็นพ่อพันธุ์ จำนวน 2 ต้น ผสมกับช่อดอกตัวเมียของต้นแม่ดูรา จำนวน 9 ต้นที่แตกต่างกัน ซึ่งปลูกที่สถานีวิจัยคลองหอยโข่ง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด ทำการเก็บข้อมูลคู่ผสมละ 6 ซ้ำ ใช้ 1 ต้นต่อซ้ำเพื่อใช้บันทึกข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น และผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมัน รวมระยะเวลาในการเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 12 เดือน ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น และผลผลิตของปาล์มน้ำมันในลูกผสมส่วนใหญ่มีความแปรปรวนทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญอันเนื่องมาจากอิทธิพลของต้นพ่อฟิสิเฟอรา และต้นแม่ดูรา ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (C.V.%) มีค่าอยู่ระหว่าง 3.96 - 35.35 % อัตราพันธุกรรมแบบกว้างของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น และผลผลิตมีค่าปานกลางถึงสูง (h^2_{bs} = 36.10 – 70.69 % และ 31.13 – 87.17 % ตามลำดับ)โดยลักษณะความสูงลำต้น และน้ำหนักทะลายเฉลี่ยมีค่าสูงสุด และอัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น และผลผลิตมีค่าต่ำถึงปานกลาง (h^2_{ns} = 5.25 – 32.31 % และ 0.53 – 29.07 % ตามลำดับ) โดยลักษณะน้ำหนักแห้งลำต้น และเปอร์เซ็นต์กะลา/ผลมีค่าสูงสุด ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ พบว่า ลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นที่มีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ และจีโนไทป์ในทางบวกกับผลผลิตทะลายสด ได้แก่ ความยาวทางใบ, ความสูงลำต้น, พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งใบ (r_p = 0.138, 0.264, 0.196 และ 0.219 ; r_g = 0.185, 0.443, 0.193 และ 0.308 ตามลำดับ) โดยลักษณะความสูงลำต้น และน้ำหนักแห้งใบมีอิทธิพลทางตรงในทางบวกต่อผลผลิตทะลายสดจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ และจีโนไทป์

ลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นที่มีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ และจีโนไทป์ในทางบวกกับน้ำหนักแห้งใบ ได้แก่ ความยาวทางใบ, ความสูงลำต้น, ขนาดลำต้น และพื้นที่ใบ (r_p = 0.768, 0.507, 0.412 และ 0.791 ; r_g = 0.876, 0.682, 0.167 และ 0.915 ตามลำดับ) โดยลักษณะความยาวทางใบ และพื้นที่ใบ มีอิทธิพลทางตรงในทางบวกต่อน้ำหนักแห้งใบจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ และจีโนไทป์ ส่วนลักษณะผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลายที่มีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ และจีโนไทป์ในทางบวกกับผลผลิตน้ำมัน ได้แก่ ผลผลิตทะลายสด, จำนวนทะลาย, น้ำหนักทะลายเฉลี่ย, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย (r_p = 0.658, 0.415, 0.465, 0.591, 0.592, 0.573 และ 0.551 ; r_g = 0.877, 0.538, 0.577, 0.201, 0.774, 0.269 และ 0.196 ตามลำดับ) โดยลักษณะที่มีอิทธิพลทางตรงในทางบวกต่อผลผลิตน้ำมัน ได้แก่ ผลผลิตทะลายสดจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ และจำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ยจากสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ ส่วนลักษณะที่มีอิทธิพลทางตรงในทางบวกต่อผลผลิตทะลายสด ได้แก่ จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ยจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ และจีโนไทป์

Thesis Title	Heritabilities and Correlations of Vegetative Growth and Yield Component Characters in Tenera Oil Palm.
Author	Mr. Nuttapong Songrit
Major Program	Plant Science
Academic Year	2013

Abstract

The objectives of this study were to estimate broad-sense and narrow-sense heritabilities, correlations and associations among characters of 18 crosses of nine-years-old oil palm. Two pisifera palms were chosen as male parents, each was crossed to nine different dura female parents. Eighteen tenera oil palm progenies were obtained from North Carolina Mating Design I (NCM 1). The progenies were grown in a Completely Randomized Design (CRD) with 6 palms per progeny. The data were collected during the period of twelve months at the Klong Hoi Khong Research Station, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Thailand. The variation of progenies due to male and female within male effects showed that most vegetative characters and yield characters were significantly different. Broad-sense heritability values of most vegetative and yield characters were moderate to high (h^2_{bs} = 36.10 – 70.69 % and 31.13 – 87.17 % , respectivery) of which height (H) and average bunch weight (ABW) had the highest values. Narrow-sense heritability values of most vegetative and yield characters were low to moderate (h^2_{ns} = 5.25 – 32.31 % and 0.53 – 29.07 %, respectivery) of which vegetative dry weight (VDW) and shell/fruit (S/F) had the highest values. Phenotypic and genotypic correlations of growth characters with fresh fruit bunch (FFB) such as rachis length (RL), height (H), leaf area (LA) and leaf dry weight (LDW) were high and positive (r_p = 0.138, 0.264, 0.196 and 0.219 ; r_g = 0.185, 0.443, 0.193 and 0.308, respectively). Height (H) and leaf dry weight (LDW) showed high direct effects on fresh fruit bunch (FFB). Growth characters were high and positive for both phenotypic and genotypic correlations with leaf dry weight (LDW) such as

rachis length (RL), height (H), trunk diameter (TD) and leaf area (LA) (r_p = 0.768, 0.507, 0.412 and 0.791 ; r_g = 0.876, 0.682, 0.167 and 0.915, respectively). Rachis length (RL) and leaf area (LA) gave high direct effects on leaf dry weight (LDW). Phenotypic and genotypic correlations of bunch yield and its component with oil yield (OY) such as fresh fruit bunch yield (FFB), bunch number (BN), average bunch weight (ABW), oil/wet mesocarp (O/WM), oil/dry mesocarp (O/DM), oil/fruit (O/F) and oil/bunch (O/B) showed high and positive correlation (r_p = 0.658, 0.415, 0.465, 0.591, 0.592, 0.573 and 0.551 ; r_g = 0.877, 0.538, 0.577, 0.201, 0.774, 0.269 and 0.196, respectively). Path analysis using phenotypic correlations of bunch yield and its component characters had high direct effect via oil yield such as fresh fruit bunch yield (FFB). Path analysis using genotypic correlations of bunch yield and its component characters had high direct effect on oil yield such as bunch number (BN) and average bunch weight (ABW). Part of bunch yield and its components characters showed high direct effects on fresh fruit bunch yield (FFB) such as bunch number (BN) and average bunch weight (ABW) which were calculated from phenotypic and genotypic correlations.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพ	(13)
บทที่	
1. บทนำ	
บทนำต้นเรื่อง	1
ตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์	20
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	21
3. ผล และวิจารณ์	33
4. สรุป	70
เอกสารอ้างอิง	72
ประวัติผู้เขียน	81

รายงานตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติทางเคมีของดินสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน	11
2	แผนการผสมพันธุ์แบบ North Carolina Mating Design I (NCM I) ที่มีต้นพ่อ 2 ต้น และต้นแม่ 3 ต้น	13
3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ	26
4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปาล์มน้ำมัน	27
5	การวิเคราะห์ความแปรปรวน และความแปรปรวนร่วม ของ 2 ลักษณะ (x และ y)	29
6	ปริมาณและการกระจายของฝนระหว่างการทดลองที่ อำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา	34
7	ปริมาณธาตุอาหารในดินของแปลงทดลองสถานีวิจัยคลองหอยโข่ง	35
8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นของปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา	37
9	ค่าเฉลี่ยของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นของปาล์มน้ำมัน	39
10	สหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ (r_p, เหนือแนวทแยง) และสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (r_g, ใต้แนวทแยง) ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น และผลผลิตทะลายสดของปาล์มน้ำมัน	41
11	การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ (r_P)ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นไปยังลักษณะผลผลิตทะลายสดของปาล์มน้ำมัน	43
12	การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (r_g)ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นไปยังลักษณะผลผลิตทะลายสดของปาล์มน้ำมัน	44
13	การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ (r_P)ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นไปยังลักษณะน้ำหนักแห้งใบของปาล์มน้ำมัน	46
14	การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (r_g)ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นไปยังลักษณะน้ำหนักแห้งใบของปาล์มน้ำมัน	47

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	ความแปรปรวนทางพันธุกรรม และอัตราพันธุกรรมของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นของปาล์มน้ำมัน	49
16	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลายของปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา	51
17	ค่าเฉลี่ยของลักษณะผลผลิตน้ำมันและผลผลิตทะลายของปาล์มน้ำมัน	53
18	ค่าเฉลี่ยของลักษณะองค์ประกอบทะลายของปาล์มน้ำมัน	55
19	สหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ (r_p, เหนือแนวทแยง) และสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (r_g, ใต้แนวทแยง)ของลักษณะผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลายของปาล์มน้ำมัน	58
20	การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ (r_p)ของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตไปยังลักษณะผลผลิตน้ำมัน	60
21	การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (r_g)ของลักษณะผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตไปยังลักษณะผลผลิตน้ำมัน	62
22	การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ (r_p)ของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตไปยังลักษณะผลผลิตทะลายสด	64
23	การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (r_g)ของลักษณะผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตไปยังลักษณะผลผลิตทะลายสด	66
24	ความแปรปรวนทางพันธุกรรม และอัตราพันธุกรรมของลักษณะผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลายของปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา	69

รายการภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงความสัมพันธุ์ระหว่างค่ายีโนไทป์ (Genotypic value) ค่าปรับปรุงพันธุ์ (Breeding value) และค่าเบี่ยงเบนเนื่องจากการข่ม (Dominance deviation)	15
2	แสดงสัมประสิทธิ์เส้นทางของตัวแปรอิสระ 3 ตัว	31

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ ปัจจุบันประเทศไทยมีจำนวนเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมันมากกว่า 1.28 แสนครัวเรือน มีพื้นที่เพาะปลูก และพื้นที่ให้ผลผลิตประมาณ 4.28 และ 3.98 ล้านไร่ ตามลำดับ สามารถผลิตน้ำมันปาล์มดิบได้ปีละ 1.9 ล้านตัน ซึ่งช่วยสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรประมาณ 6 หมื่นล้านบาทต่อปี ทั้งนี้ การผลิตน้ำมันปาล์มดิบของไทยในปี 2555 มีแนวโน้มขยายตัวร้อยละ 5 - 7 จากปีก่อนหน้า ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากที่ภาครัฐได้มีการดำเนินยุทธศาสตร์ปาล์มน้ำมันในช่วงปี 2551 - 2555 เพื่อเร่งผลักดันให้เกษตรกรขยายพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมัน เพิ่มผลผลิต และผลิตภาพการผลิตน้ำมันปาล์มดิบเพื่อรองรับกับยุทธศาสตร์พลังงานทดแทน และลดความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นต่อความมั่นคงทางด้านอาหารของประเทศ ประกอบกับราคาผลปาล์มดิบในช่วง 4 ปีที่ผ่านมาปรับตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากเดิมที่มีราคาเฉลี่ยกิโลกรัมละ 4 บาทในปี 2552 ปรับขึ้นเป็นกิโลกรัมละ 6 บาทในปี 2555 (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2556) จึงเป็นแรงจูงใจที่ทำให้เกษตรกรขยายพื้นที่การเพาะปลูกอย่างรวดเร็ว แต่ผลผลิตทะลายสดต่อพื้นที่ที่ให้ผลผลิตยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ สาเหตุที่ให้ผลผลิตต่ำเนื่องจากเกษตรกรปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม พันธุ์ที่ใช้ปลูกเป็นพันธุ์ปลอมหรือพันธุ์ที่ไม่สามารถปรับตัวกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ปลูก การจัดการสวนและการจัดการปุ๋ยไม่เหมาะสมกับความต้องการของปาล์มน้ำมัน ธีระ (2548) รายงานว่า พันธุ์ปาล์มน้ำมันที่ดีต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงพันธุ์ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยระยะเวลาสูง และสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมในแหล่งปลูกนั้นรวมทั้งมีลักษณะทางการเกษตรอื่น ๆ ที่เหมาะสม การปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรจึงต้องใช้การทดสอบลูกผสมสำหรับหาลูกผสมปาล์มน้ำมันที่ให้ผลผลิตสูงและสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ปลูก ซึ่งต้องใช้เวลาและสามารถคาดการณ์ลักษณะของลูกผสมได้ เนื่องจากลักษณะผลผลิตเป็นลักษณะเชิงปริมาณซึ่งมีค่าอัตราพันธุกรรมต่ำ จึงทำให้การคัดเลือกที่ลักษณะนี้โดยตรงทำได้ยาก การหาความสัมพันธ์และการวิเคราะห์เส้นทางของลักษณะทาง

การเกษตรอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับลักษณะผลผลิต และคัดเลือกที่ลักษณะดังกล่าวจะเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้การปรับปรุงพันธุ์ทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมัน ในขั้นตอนของการศึกษาอัตราพันธุกรรมและสหสัมพันธ์ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นและองค์ประกอบผลผลิตในปาล์มน้ำมัน ธีระ (2554) กล่าวว่า เป็นเรื่องสำคัญที่นักปรับปรุงพันธุ์ต้องทราบและมีข้อมูลเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจกำหนดความสำคัญของลักษณะที่ควรใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกเพื่อปรับปรุงพันธุ์ให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมันต่อไปในอนาคต

ตรวจเอกสาร

1. ถิ่นกำเนิดและพันธุกรรม

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq) เป็นพืชยืนต้น ใบเลี้ยงเดียว (monocotyledon) มีโครโมโซม 2n=2x=32 มีการผสมพันธุ์แบบผสมข้ามต้น และสามารถให้ผลผลิตทะลายได้ตลอดทั้งปี โดยเริ่มให้ผลผลิตเมื่อปาล์มมีอายุประมาณ 2 ปีครึ่งหลังจากปลูก โดยเฉลี่ยแล้วแต่ละต้นควรจะให้ผลผลิตอย่างน้อย 1 ทะลาย/ต้น/เดือน และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานมากกว่า 25 ปี (ธีระ, 2554) ปาล์มน้ำมันจัดอยู่ในพืชวงศ์ (family) Arecaceae วงศ์ย่อย (sub - family) Cocosoideae สกุล (genus) *Elaeis* สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

1.1 ***E. guineensis*** มีถิ่นฐานดั้งเดิมอยู่ในป่าร้อนชื้นของประเทศต่างๆที่อยู่ช่วงตะวันตกของทวีปแอฟริกา ปาล์มชนิดนี้เรียกว่า African oil palm จัดเป็นปาล์มน้ำมันชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจซึ่งนิยมปลูกเป็นการค้าในปัจจุบัน ซึ่งพันธุ์ปาล์มชนิดนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ได้แก่ ดูรา เทเนอรา และพิสิเฟอรา โดยอาศัยความแตกต่างของลักษณะความหนาของกะลา (shell) การปรากฏของจุดวงแหวนเส้นใยสีน้ำตาล (brown fibre ring) บริเวณเนื้อปาล์ม (mesocarp) รอบๆกะลา และความหนาของเนื้อปาล์ม Beirnaert และ Vanderweyen (1941) ได้รายงานว่า ความหนาของกะลามีลักษณะการถ่ายทอดทางพันธุกรรมที่ควบคุมด้วยยีนเพียง 1 คู่ ซึ่งเป็นลักษณะเชิงคุณภาพ

1.1.1 **แบบดูรา** ลักษณะกะลาถูกควบคุมด้วยยีนเด่น (Dominant, $Sh^{+}Sh^{+}$) กะลาหนาประมาณ 2 - 8 มิลลิเมตร มีเนื้อปาล์มชั้นนอกบางประมาณ 20 - 65% ของน้ำหนักผล ไม่ปรากฏเส้นใยสีน้ำตาลบริเวณเนื้อปาล์มชั้นนอกรอบๆกะลา ดูราเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตค่อนข้างสูง ปัจจุบันนิยมใช้เป็นแม่พันธุ์สำหรับเพื่อผลิตลูกผสม

1.1.2 **แบบเทเนอรา** ลักษณะกะลาถูกความคุมด้วยยีนพันธุ์ทาง (Heterozy-gous, $Sh^{+}Sh^{-}$) เกิดจากการผสมระหว่างแม่ดูราและพ่อพิสิเฟอรา มีกะลาบางประมาณ 0.5 - 4 มิลลิเมตร มีเนื้อปาล์มชั้นนอก 75 - 85% ของน้ำหนักผล และปรากฏของเส้นใยสีน้ำตาลบริเวณเนื้อปาล์มชั้นนอกรอบๆกะลา ให้ผลผลผลิตทะลายสูง จึงนิยมปลูกเป็นการค้าในปัจจุบัน

1.1.3 **แบบพิสิเฟอรา** ลักษณะกะลาถูกควบคุมด้วยยีนด้อย (Resessive, $Sh^{-}Sh^{-}$) ไม่มีกะลาหรือมีกะลาบางมาก มีเนื้อปาล์มชั้นนอกหนา 95% ของน้ำหนักผล

และปรากฏจุดเส้นใยสีน้ำตาลบริเวณเนื้อปาล์มชั้นนอกรอบๆกะลา มีข้อด้อยคือ ช่อดอกตัวเมียมักเป็นหมัน (abortion) ทำให้ผลฝ่อลีบ ทะลายเล็กเนื่องจากผลไม่พัฒนา ไม่เหมาะที่จะปลูกเป็นการค้า แต่นิยมใช้เป็นต้นพันธุ์สำหรับผลิตพันธุ์ลูกผสม

1.2 ***E. oleifera*** ชื่อเดิมคือ *E. melanoccoca* หรือ *Corozo oleifera* มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในป่าเขตร้อนชื้นของประเทศต่างๆ ที่อยู่ในทวีปอเมริกากลางยาวติดต่อลงมาจนถึงทางตอนเหนือของลุ่มแม่น้ำอะเมซอนของทวีปอเมริกาใต้ เรียกปาล์มน้ำมันชนิดนี้ว่า American oil palm ไม่นิยมปลูกเป็นการค้า เนื่องจากมีการเจริญเติบโตช้า ลักษณะต้นเตี้ย ผลมีขนาดเล็ก มีเปอร์เซ็นต์กรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (unsaturated fatty acid) ค่าไอโอดีนสูง (iodine value) ประมาณ 77 - 78 เปอร์เซ็นต์ (Macfarlane *et al*.,1975) รวมทั้งมีวิตามินเอ และวิตามินอีสูง แต่ให้ผลผลิต และปริมาณน้ำมันน้อยกว่าปาล์มน้ำมัน *E.guineensis* อรรัตน์ และศิริชัย (2547) รายงานว่า ปัจจุบันมีการประโยชน์ในการเป็นเชื้อพันธุกรรมสำหรับปรับปรุงพันธุ์ โดยการผสมข้ามระหว่างชนิดซึ่งสามารถให้ผลผลิตได้

1.3 ***E.odora*** ชื่อเดิมคือ *Barcella odora* พบบริเวณเดียวกับ *E. oleifera* แถบลุ่มแม่น้ำอะเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ ความสำคัญของปาล์มกลุ่มนี้ยังไม่มีรายงานการนำมาใช้ประโยชน์

2. ลักษณะพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน

2.1 ราก

ปาล์มน้ำมันมีระบบรากแบบรากฝอย (fibrous root system) ประกอบด้วยรากชุดต่างๆประมาณ 4 ชุด รากชุดต่างๆทำหน้าที่ช่วยค้ำจุนลำต้น ดูดซับน้ำและอาหาร

รากชุดแรก เกิดบริเวณฐานของลำต้นที่อยู่ใต้ระดับผิวดินเล็กน้อย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 - 10 มม. ความยาวรากมีตั้งแต่สั้นจนยาวถึง 19 ม. มีการเจริญเติบโต 2 แบบ คือ แบบแนวดิ่งลง (vertical descending primary roots) ทำหน้าที่ช่วยคำจุนพยุงลำต้น และแบบแนวระดับ (horizontal primary roots) ทำหน้าที่หลักในการดูดน้ำและธาตุอาหารอยู่ตรงส่วนกลางของราก รากชุดแรกแบบแนวดิ่งลงจะมีปริมาณน้อยกว่ารากชุดแรกแบบแนวระดับ ทำให้รากชุดที่สองที่เกิดจากรากชุดแรกแบบแนวดิ่งลงมีปริมาณน้อยกว่ารากชุดแรกแบบแนวระดับ

(ธีระ, 2554) Hartley (1977) รายงานว่า การแผ่กระจายของรากจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น สภาพของดิน ปริมาณธาตุอาหาร และระดับน้ำใต้ดิน

รากชุดที่สอง มีขนาดเล็กกว่ารากชุดแรกมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 - 4 มม. เป็นรากที่เกิดจากเนื้อเยื่อเพอริไซเคิล (pericycle) ของรากชุดแรก เกิดในแนวระดับมากกว่าในแนวดิ่งลง ทิศทางของการแตกแขนงของรากชุดที่สองมี 2 แบบคือ แบบแนวดิ่งขึ้น (vertical ascending secondary roots) และแบบแนวดิ่งลง (vertical descending secondary roots) การแตกแขนงของรากทั้งสองแบบจะทำมุมตั้งฉากกับรากชุดแรก โดยรากชุดที่สองที่แตกแขนงในแนวดิ่งขึ้นจะพัฒนาขึ้นไปจนถึงผิวดินและมีปริมาณมากกว่าแนวดิ่งลงเล็กน้อย

รากชุดที่สาม (tertiary roots) มีขนาดเล็กกว่ารากชุดที่สอง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 -1.5 มม. ความยาวรากประมาณ 20 ซม. เกิดจากเนื้อเยื่อเพอริไซเคิล (pericycle) ของรากชุดที่สอง มีทิศทางการเจริญเติบโตที่ไม่มีทิศทาง (Jourdan and Rey, 1997)

รากชุดที่สี่ (quaternary roots) มีขนาดเล็กกว่ารากชุดที่สาม มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2 – 0.5 มม. ความยาวรากประมาณ 3 ซม. อาจจะมีหรือไม่มีการเจริญ โดยเกิดจากเนื้อเยื่อเพอริไซเคิล (pericycle) ของรากชุดที่สาม

รากทุกชุดจะไม่มีขนราก (root hairs) โดยปาล์มน้ำมันดูดซับน้ำและธาตุอาหารที่นำมาใช้ประโยชน์ที่ระดับความลึก 30 - 50 เซนติเมตรจากผิวดิน (ธีระ และคณะ, 2548) ธีระ (2554) รายงานว่า ความสามารถของรากในการดูดซับน้ำและอาหารเป็นเรื่องสำคัญมากสำหรับปาล์มน้ำมันซึ่งความสามารถนี้จะสัมพันธ์กับความยาวทั้งหมดของราก/หน่วยปริมาตรดิน อย่างไรก็ตามมีผู้ศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของรากค่อนข้างน้อยเนื่องจากไม่สามารถสังเกตได้จากลักษณะภายนอกได้โดยตรง

2.2 ลำต้น

ลำต้นของปาล์มน้ำมันทำหน้าที่สำคัญในการชูใบให้รับแสงเพื่อสังเคราะห์อาหาร ลำเลียงน้ำและอาหารโดยผ่านทางกลุ่มมัดท่อน้ำ (xylem) และท่ออาหาร (phloem) (ธีระ, 2554) ปาล์มน้ำมันมีลำต้นเดี่ยว ตั้งตรง ลักษณะทรงกระบอก ไม่มีกิ่งก้านสาขา ประกอบด้วย ข้อ (node) และปล้อง (internode) ที่ถี่มาก แต่ละข้อมีหนึ่งทางใบเกิดเวียนรอบลำต้น ในปาล์มที่อายุน้อยกว่า 3 ปีจะสังเกตเห็นทางใบอยู่ติดกับลำต้นมากกว่า 40 ทางใบ การเจริญเติบโตของปาล์มในระยะนี้จะเพิ่มขนาดลำต้น เมื่อปาล์มมีอายุมากกว่า 3 ปี จะเกิดการยืดตัวของปล้องเพื่อเพิ่มความสูงลำต้น โดยทั่วไปความสูงของลำต้นสามารถเพิ่มขึ้นปีละ 35 - 60 เซนติเมตร (ดำรงค์ และ อรษา,

2544) และที่ระยะนี้จะเริ่มมีการตัดแต่งใบ ทำให้สังเกตเห็นฐานใบที่เป็นรอยตัดแต่งติดอยู่รอบๆลำต้น เมื่อปาล์มมีอายุ 12 ปีหรือมากกว่า ฐานใบรอบลำต้นจะร่วงหลุดไป Jacquemard (1979) รายงานว่า การเจริญเติบโตของลำต้นมีความแปรปรวนมาก ขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้งพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม เช่น ในสภาพที่มีร่มเงามากหรือที่อุณหภูมิต่ำ การเจริญเติบโตของใบและลำต้นช้ามาก ในระดับประชากรหนาแน่นหรือต้นปาล์มมีทรงพุ่มที่ติดกันแน่นเมื่ออายุปาล์มประมาณ 7 -8 ปี จะทำให้ต้นปาล์มยืดตัวสูงขึ้นเพื่อแข่งขันการรับแสงในการสร้างอาหารด้วยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยเฉพาะใบที่เกิดใหม่จะสังเกตเห็นว่ามีลักษณะตั้งตรงและทำมุมเฉียงกับลำต้นส่วนยอดน้อยกว่า 45 องศา ใบจะมีลักษณะสีจางเพราะขาดแสง ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการยืดตัวของก้านใบและแกนกลางใบเป็นหลักเพื่อให้ได้รับแสง ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันต่ำมากเนื่องจากช่อดอกเพศเมียไม่สามารถเจริญและพัฒนาออกมาจากซอกใบได้

2.3 ใบหรือทางใบ

ปาล์มน้ำมันมีใบประกอบแบบขนนก ประกอบด้วย ก้านใบ (petiole) แกนกลางใบ (leaf rachis) และใบย่อย (leaf lets) ใบของปาล์มน้ำมันพัฒนาจากตาใบ (leaf bud หรือ primordial) ที่อยู่บริเวณด้านข้างของเนื้อเยื่อเจริญปลายยอดของลำต้น มีประมาณ 40 - 60 ตาใบ (ธีระ, 2554) เมื่อปาล์มน้ำมันโตเต็มที่ทางใบอาจจะยาว 6 - 9 เมตร แต่ละทางใบจะมีใบย่อย 250 - 400 ใบย่อย การเรียงตัวของใบปาล์มเป็นแบบฟิลโลทาซีส (phyllothaxis) โดยใบจะเกิดการเรียงตัวในลักษณะเป็นเกลียวรอบลำต้น (spiral หรือ parastichies) โดยลักษณะการเวียนของใบปาล์มน้ำมันมี 2 แบบ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากรอยแผลที่ฐานใบติดกับลำต้นหลังการตัดแต่งใบของต้นปาล์ม แบบแรกคือ การเกิดใบแบบเวียนซ้าย (left-hand phyllotaxy) แบบที่สองคือ การเกิดใบแบบเวียนขวา (right-hand phyllotaxy) การสังเกตการเวียนของใบจะมีประโยชน์สำหรับการนับใบที่เกิดขึ้นเพื่อทราบตำแหน่งของใบ โดยใบล่างหนึ่งๆจะรองรับใบบนจำนวน 2 ใบ ใบบนหนึ่งที่มีลักษณะการเวียนของใบชัดเจน (เวียนซ้ายหรือขวา) จะนับจำนวนใบห่างจากใบล่างจำนวน 5 ใบ (สมทบ, 2556) การนับอายุของต้นปาล์ม เช่น ชั้นของทางใบมี 3 - 4 ชั้น หมายถึงต้นปาล์มมีอายุ 1 ปี (เอกชัย, 2548) และการเก็บตัวอย่างใบจากใบที่ 17 อย่างถูกต้องเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและการวัดการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันก็จำเป็นต้องสังเกต การเวียนของใบเช่นกัน (Hartley, 1988) Arasu (1970) รายงานว่า ลักษณะทิศทางการเวียนของใบไม่ได้ควบคุมถูกโดยพันธุกรรม แต่อาจเกิดจากปัจจัยอื่นซึ่งยังไม่ทราบสาเหตุแน่ชัด นอกจากนี้ Corley และคณะ (1971) ได้รายงานว่า ใบเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยส่งผลต่อการติดทะลายและขนาดของ

ทะลายเนื่องจากใบเป็นส่วนที่สำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อสร้างอาหารและอาหารจะถูกลำเลียงไปสะสมที่ส่วนต่างๆ ของต้นปาล์ม โดยเฉพาะที่ทะลายปาล์ม

2.4 ช่อดอก

ปาล์มน้ำมันจะเริ่มออกดอกเมื่ออายุประมาณ 2 - 3 ปีหลังปลูกลงแปลง โดยเกิดจากตาดอก (floral bud) ที่อยู่บริเวณซอกใบที่ติดกับต้น แต่ละทางใบจะมีตาดอกอยู่ 1 ตาดอก (ดำรงค์ และ อรษา, 2544) ตาดอกนี้อาจพัฒนาเป็นช่อดอกเพศเมีย (female inflorescences) หรือช่อดอกเพศผู้ (male inflorescences) ก็ได้ บางครั้งช่อดอกตัวผู้และช่อดอกตัวเมียอาจรวมอยู่ในช่อเดียวกันเรียกช่อดอกประเภทนี้ว่า ช่อดอกกระเทย (hermaphrodite inflorescences) ดังนั้นปาล์มน้ำมันจึงเป็นพืชที่มีทั้งช่อดอกเพศเมียหรือช่อดอกเพศผู้บนต้นเดียวกันแต่เกิดในตำแหน่งของทางใบที่ต่างกัน โดยการพัฒนาของช่อดอกตั้งแต่ระยะตาดอก จนถึงระยะเก็บเกี่ยวทะลาย ใช้ระยะเวลาประมาณ 42 - 44 เดือน การกำหนดเพศดอกของช่อดอก ใช้ระยะเวลาประมาณ 12 เดือน ปัจจัยที่มีผลต่อการกำหนดเพศนอกจากลักษณะประจำพันธุ์แล้วยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและการจัดการที่ดีด้วย โดยทั่วไปสัดส่วนเพศระหว่างช่อดอกเพศเมียต่อช่อดอกเพศผู้สำหรับปาล์มที่เริ่มให้ผลผลิต(อายุน้อย) มีประมาณ 3:2 และสัดส่วนนี้จะเปลี่ยนเป็น 1:2 และ 1:3 เมื่อปาล์มมีอายุมากขึ้นตามลำดับ (ธีระ, 2554) การผสมเกสรมีลมและแมลงเป็นพาหะ โดยเฉพาะด้วงงวงปาล์มน้ำมัน (*Elaeidobius kamerunicus*) เป็นแมลงที่มีความสำคัญต่อการช่วยผสมเกสร ซึ่งหลังจากการผสม 5 – 6 เดือน ช่อดอกตัวเมียจะพัฒนาเป็นทะลายที่สุกแก่เต็มที่ (ธีระพงศ์, 2553) Turner และ Gillbanks (1974) รายงานว่า อากาศที่แห้งแล้งยาวนานทำให้การสุกแก่ของผลปาล์มช้าลง และในสภาพที่มีฝนตกสม่ำเสมอตลอดปีจะทำให้ผลปาล์มน้ำมันสุกเร็วกว่าในสภาพแห้งแล้ง

2.5 ทะลายและผล

ทะลายและผลปาล์ม จะสุกพร้อมเก็บเกี่ยวได้หลังที่ช่อดอกตัวเมียได้รับการผสมแล้วเรียบร้อยแล้ว ประมาณ 5.5 -8 เดือน (โดยเฉลี่ยประมาณ 6 เดือน) การสุกของผลจะเริ่มจากส่วนฐานของช่อดอกขึ้นไปส่วนปลาย โดยทั่วไปปาล์มน้ำมันสามารถผลิตทะลายปาล์มได้ไม่ควรต่ำกว่า 12 ทะลาย/ต้น/ปี มีน้ำหนักต่อหนึ่งทะลายประมาณ 10 - 30 กิโลกรัม จำนวนผลทั้งหมดต่อทะลายรวมแล้วประมาณ 500 – 4,000 ผล โดยเฉลี่ยมีจำนวน 1,600 ผล/ทะลาย โดยสังเกตพบว่าปาล์มที่มีอายุน้อยจะมีจำนวนทะลายต่อต้นมากแต่ทะลายจะมีขนาดเล็ก และเมื่อปาล์มมีอายุมากขึ้นจะมีจำนวนทะลายต่อต้นน้อยลงแต่ทะลายจะใหญ่ขึ้น ผลปาล์มมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

2 - 5 เซนติเมตร หรือมากกว่า ขึ้นอยู่กับพันธุ์ น้ำหนักต่อผลประมาณ 3 - 30 กรัม ผลปาล์มไม่มีก้านผล (sessile fruit) มีขนาดรูปร่างแปรปรวนตั้งแต่กลม รูปไข่ ถึงยาวรี (Hartley, 1988) บริเวณส่วนปลายผลมักจะมีส่วนของยอดเกสรเพศเมียลักษณะแห้งแข็งสีดำติดอยู่ขณะที่ผลสุกแก่ ผลปาล์มปกติซึ่งเกิดอยู่ชั้นนอกของช่อดอกย่อย ประกอบด้วย ผนังผลหรือผนังผลชั้นนอก (pericarp หรือ exocarp) เนื้อปาล์มหรือผนังผลชั้นกลาง (pulp หรือ mesocarp) กะลา เยื่อหุ้มเมล็ด เนื้อในเมล็ด และเอ็มบริโอ น้ำมันที่นำมาใช้ประโยชน์สกัดมาจากส่วนของผลปาล์ม 2 ส่วน คือ ส่วนแรกน้ำมันจากเนื้อปาล์ม (mesocarp oil) และส่วนที่สองน้ำมันจากเนื้อในเมล็ด (kernel oil) (ธีระ, 2554)

3.ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโต

การเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันนอกจากจะมีผลมาจากปัจจัยด้านพันธุกรรมแล้ว สภาพแวดล้อมก็เป็นปัจจัยที่สำคัญในการการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน (Hardon *et al*., 1971) ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่สำคัญที่ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตสูง เช่น ลักษณะภูมิอากาศ ภูมิประเทศ และปัจจัยเกี่ยวกับดิน ซึ่งแต่ละปัจจัยมีความเชื่อมโยงซึ่งกันและกัน

3.1 ภูมิอากาศ

3.1.1 ปริมาณและการกระจายตัวของฝน ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ต้องการน้ำมากเพื่อใช้สำหรับเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต พื้นที่ปลูกปาล์มที่เหมาะสมจึงควรมีปริมาณฝนสูงและมีการกระจายของฝนดีตลอดทั้งปี โดยทั่วไปปริมาณฝนที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 2,000 – 2,500 มม./ปี แต่ละเดือนควรมีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 100 มม. และต้องไม่มีสภาพแล้งเกินกว่า 3 เดือน การปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ที่มีปริมาณฝนมากมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันสูง โดยการตอบสนองของปาล์มน้ำมันต่อปริมาณฝนที่ได้รับมักเห็นผลชัดเจนในอีกประมาณ 19 - 22 เดือนข้างหน้า (Hardon and Thomas, 1968)

3.1.2 อุณหภูมิ ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชที่ต้องการอุณหภูมิสูง อุณหภูมิเฉลี่ยที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 29 - 33 °ซ และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ระหว่าง 22 - 24 °ซ (Hartley, 1988) Ferwerda (1977) รายงานว่า อุณหภูมิเฉลี่ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันคือ 27 °ซ โดยอุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุดที่ 22 และ 32 °ซ ตามลำดับ ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 22 °ซ ทำ

ให้การเจริญเติบโตช้าลงเล็กน้อย แต่ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 17 °ซ พบว่าการเจริญเติบโตลดลงประมาณครึ่งหนึ่งของที่อุณหภูมิเฉลี่ย 27 °ซ และการเจริญเติบโตช้ามากที่อุณหภูมิเฉลี่ย 12 °ซ โดยอุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุดที่ 7 และ 17 °ซ ตามลำดับ ปาล์มน้ำมันที่ปลูกในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำจะส่งผลกระทบให้การเจริญเติบโตช้าและให้ผลผลิตต่ำ เช่น มีอัตราการฝ่อของช่อดอก (inflorescence abortion) สูง การสุกแก่ทะลายช้า เป็นต้น (Goh, 2000)

3.1.3 **ปริมาณแสง** ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชที่ไม่ไวต่อแสง ปริมาณแสงที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5 -7 ชม./วัน หรือ 16 - 17 เมกะจูล/ม.^{2}/วัน ตลอดทั้งปี Germer และ Sauerborn (2004) รายงานว่าต้นปาล์มน้ำมันที่ได้รับแสงไม่เพียงพอจะมีผลมากต่อปาล์มน้ำมันโดยเฉพาะในช่วงอายุ 2 -3 ปี จะมีอาการสูงยาว ทรงพุ่มมีขนาดเล็กคล้ายอาการเป็นโรค เมื่อต้นปาล์มน้ำมันมีอายุมากขึ้นอาการดังกล่าวอาจลดลง แต่ทรงพุ่มของต้นปาล์มน้ำมันมีขนาดเล็ก ทางใบแคบมีผลทำให้ผลผลิตลดลง ทำนองเดียวกับ Corley และคณะ (1971) รายงานว่า ใบเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยส่งผลต่อการติดทะลายและขนาดของทะลาย เนื่องจากเป็นส่วนที่สร้างน้ำหนักแห้ง Hartley (1988) รายงานว่าจำนวนชั่วโมงแสงที่ปาล์มน้ำมันได้รับในรอบปีจะมีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับผลผลิตของปาล์มน้ำมันในอีก 28 เดือนข้างหน้า ในปาล์มน้ำมันที่ได้รับแสงน้อยมักทำให้ผลผลิตทะลายลดลง เช่น ในปาล์มน้ำมันที่มีอายุมากและมีการบดบังแสงของใบสูงจะมีผลทำให้การเกิดช่อดอกเพศเมียต่ำ การตัดใบออกบางส่วนเพื่อลดการบดบังแสงจะช่วยเพิ่มการเกิดช่อดอกเพศเมียได้ (ธีระ, 2554)

3.1.4 **ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ** ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชที่ต้องการความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศสูง ซึ่งควรมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ยในรอบปีสูงกว่า 85 % ปกติค่าความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศจะมีความสัมพันธ์กับ อุณหภูมิ แสง และปริมาณน้ำฝน Henson (1991) รายงานว่า ปากใบจะปิดในสภาพที่มีแสงแดดจัด และความชื้นในบรรยากาศอิ่มตัว โดยมีผลทำให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันมีความแปรปรวนสูงได้ถึง 400 กก./ไร่/ปี (พรชัย, 2523)

3.1.5 **ความเร็วลม** ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชที่ไม่ทนต่อลมที่พัดแรง ความเร็วลมที่เหมาะสมควรน้อยกว่า 15 ม./วินาที ความเร็วลมที่เหมาะสมเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วย

เพิ่มประสิทธิภาพในการกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของปาล์มน้ำมัน เนื่องจากความเร็วลมมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิใบ การคายน้ำของใบ และการดูดซับน้ำและธาตุอาหารในดิน

3.2 ภูมิประเทศ

สภาพภูมิประเทศ จะพิจารณาถึงความลาดชันของพื้นที่ปลูก พื้นที่ปลูกที่มีความลาดชันเพิ่มขึ้นจะมีข้อจำกัดในการปฏิบัติงานในพื้นที่สูงทั้งด้านแรงงานและเครื่องมือต่างๆรวมทั้งต้องเพิ่มการจัดการสวนสูงกว่าที่มีความลาดชันน้อย การจำแนกความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกแบ่งเป็น 5 ระยะ (ธีระ, 2554) คือ

1. พื้นที่ที่เหมาะสม มีความลาดชันอยู่ระหว่าง 0 - 12 % หรือ 0-6°
2. พื้นที่ที่เหมาะสมปานกลาง มีความลาดชันอยู่ระหว่าง 12 - 23 % หรือ 6 - 12°
3. พื้นที่ที่เหมาะสมน้อย มีความลาดชันอยู่ระหว่าง 23 - 38 % หรือ 12 - 20°
4. พื้นที่ที่ไม่เหมาะสม มีความลาดชันอยู่ระหว่าง 38 - 50 % หรือ 20 - 26°
5. พื้นที่ที่ไม่เหมาะสมที่สุด มีความลาดชันอยู่ระหว่าง 50 % หรือมากกว่า 26°

3.3 ปัจจัยเกี่ยวกับดิน

ปาล์มน้ำมันสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงได้ในดินหลายชนิด แต่ต้องมีเทคนิคการจัดการสวนปาล์มที่เหมาะสม มีการระบายน้ำดีถึงระบายน้ำได้ปานกลาง ปกติปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชที่ค่อนข้างไม่ทนต่อการท่วมขังของน้ำ ในพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันที่มีการระบายน้ำไม่ดีจะทำให้ผลผลิตลดลง ดังนั้นในพื้นที่ดังกล่าวควรมีการทำระบบการระบายน้ำเพื่อให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น เอกชัย (2548) รายงานว่า ควรมีการจัดการน้ำและความชื้นในดินที่เหมาะสม อนุรักษ์อินทรียวัตถุในบริเวณผิวดิน ปรับปรุงโครงสร้างของดินให้เหมาะสมต่อการระบายน้ำและอากาศ ซึ่งคุณสมบัติของดินที่ปลูกมีความสำคัญมาก โดยปกติดินที่เหมาะสม ในการปลูกปาล์มน้ำมันควรเป็นดินร่วนปนเหนียวที่มีความลึกของชั้นหน้าดินมากกว่า 50 เซนติเมตร ส่วนดินที่ไม่เหมาะสม ได้แก่ ดินทรายซึ่งมีโครงสร้างโปร่งทำให้เก็บความชื้นได้น้อยและมีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก

คุณสมบัติทางเคมีของดินมีอิทธิพลต่อศักยภาพในการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารในดินสูง ดังนั้นจำเป็นที่ต้องให้ปริมาณธาตุอาหารในดิน เพื่อรักษาระดับปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน ดังนั้นในดินที่มีปริมาณธาตุอาหารต่ำจำเป็นที่ต้องเพิ่มธาตุอาหารปุ๋ยในปริมาณที่สูง

เพื่อรักษาระดับผลผลิตที่สูง (Goh *et al.,* 2000) ชัยรัตน์ และคณะ (2553) ได้เสนอข้อมูลการประเมินเบื้องต้นของสมบัติทางเคมีของดินสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีของดินสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน

ธาตุอาหาร	ปริมาณธาตุอาหารในดิน			
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
pH (1:5, ดิน:น้ำ)	<3.5	4	4.2	5.5
อินทรีย์คาร์บอน Organic C (%)	<0.8	1.2	1.5	2.5
ไนโตรเจนทั้งหมด Total N (%)	<0.08	0.12	0.15	0.25
ฟอสฟอรัสทั้งหมด Total P (mg/kg)	<120	200	250	400
ฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ Avail. P (mg/kg)	<8	15	20	25
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ Exch. K (cmol/kg)	<0.08	0.2	0.25	0.3
แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ Exch. Mg (cmol/kg)	<0.08	0.2	0.25	0.3
ทองแดงที่สกัดได้ Avail. Cu (mg/kg)	<4	<5	5	>6
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก CEC (cmol/kg)	<6	12	15	18

หมายเหตุ : mg/kg = ppm และ cmol/kg = meq/100 g

4. ลักษณะผลผลิตของปาล์มน้ำมัน

ลักษณะผลผลิตรวมถึงองค์ประกอบผลผลิตในปาล์มน้ำมัน สามารถแยกออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือผลผลิตทะลาย และผลผลิตน้ำมัน (Corley and Gray, 1976)

4.1 ผลผลิตทะลาย

ผลผลิตทะลายมีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณแสงที่ปาล์มน้ำมันได้รับและประสิทธิภาพการใช้แสงของใบ โดยขึ้นอยู่กับเงื่อนไขสำคัญได้แก่ อายุปาล์ม จำนวนทะลาย การพัฒนาของทะลาย และการสะสมสารสังเคราะห์ในลำต้น ซึ่งเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะองค์ประกอบผลผลิต โดยในระยะแรกที่ปาล์มน้ำมันมีอายุน้อยจะให้ผลผลิตต่ำและจะเพิ่มขึ้นสูงเรื่อยๆ จนถึงอายุระหว่าง 8 – 10 ปี หลังจากนั้นผลผลิตเริ่มลดลง อาจพิจารณาได้จากจำนวนทะลายและน้ำหนักทะลาย ดังนี้

4.1.1 จำนวนทะลาย จำนวนทะลายขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตทางใบ ซึ่งทางใบปาล์มน้ำมันจะเจริญจากส่วนของตายอดของลำต้น การผลิตทางใบจะมีความแปรปรวนขึ้นอยู่กับอายุของปาล์มน้ำมัน โดยปาล์มน้ำมันที่มีอายุ 2 - 4 ปีหลังปลูกในแปลงปลูก จะมีการผลิตทางใบประมาณ 30 – 40 ทางใบ/ปี เมื่ออายุมากขึ้นจะมีการผลิตทางใบประมาณ 18 - 24 ทางใบ/ปี และยังมีปัจจัยอย่างอื่นที่มีผลต่อการผลิตทางใบ เช่น อิทธิพลของสภาพภูมิอากาศ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน การจัดการสวน เป็นต้น (วศะพงศ์, 2553) และจำนวนทะลายยังขึ้นอยู่กับสัดส่วนเพศของปาล์มน้ำมัน (จำนวนช่อดอกตัวเมีย/จำนวนช่อดอกทั้งหมด) ซึ่งสัดส่วนเพศจะลดลงตามอายุ และมีความแตกต่างในแต่ละสภาพแวดล้อม Sparnaaij (1960) ได้รายงานว่า นอกจากปัจจัยสภาพสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนเพศแล้วยังมีอิทธิพลของความแปรปรวนทางพันธุกรรมเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

4.1.2 น้ำหนักทะลาย นักหนักทะลายขึ้นอยู่กับจำนวนช่อดอกย่อย จำนวนดอก/ช่อดอกย่อย สัดส่วนผล/ทะลาย น้ำหนักผล และน้ำหนักทะลายเปล่า (Broekmans, 1957) น้ำหนักทะลายจะเพิ่มขึ้นตามอายุ (Bredas and Scuvie, 1960; Corley and Gray, 1976) จนถึงอายุปาล์มอย่างน้อย 15 ปีหลังจากปลูก และน้ำหนักทะลายส่วนหนึ่ง ขึ้นอยู่กับการติดผลและประสิทธิภาพการถ่ายเรณู Breure และคณะ (1990) ได้รายงานว่า ปาล์มน้ำมันที่ปลูกในระดับความหนาแน่นประชากรสูง จะทำให้น้ำหนักทะลายลดลง เนื่องจากมีจำนวนช่อดอกย่อย/ช่อดอก จำนวนดอก/ช่อดอกย่อย และน้ำหนักแกนทะลายต่ำ นอกจากนี้การตัดใบมากเกินไปก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำหนักทะลายลดลง (Corley and Hew, 1976) เนื่องจากทำให้ปาล์มมีการสังเคราะห์แสงลดน้อยลง โดยจะส่งผลทำให้น้ำหนักผลปาล์มสดลดลงหลังจากที่มีการตัดใบรุนแรงในอีก 3 - 4 เดือนข้างหน้าและภายหลัง 14 เดือน จะพบว่าสัดส่วนดอก/ช่อดอกย่อยลดลงด้วย

4.2 ผลผลิตน้ำมัน

ผลผลิตน้ำมันของต้นปาล์มน้ำมัน ขึ้นอยู่กับน้ำหนักทะลายและเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย ความสัมพันธ์ของลักษณะทั้งสองนี้ พบว่า สัดส่วนน้ำมันต่อทะลายจะสูงและค่อนข้างสูงคงที่เมื่อปาล์มน้ำมันมีน้ำหนักทะลาย 5 กิโลกรัม ขึ้นไป (Corley and Gray, 1976) ซึ่งโดยทั่วไปในปาล์มน้ำมันที่มีอายุน้อยจะมีน้ำหนักทะลายต่ำและเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อปาล์มน้ำมันมีอายุเพิ่มมากขึ้น (Gray, 1969) นอกจากนี้ผลปาล์มน้ำมันที่สุกแก่ไม่เต็มที่จะมีผลกับปริมาณน้ำมันจากเนื้อปาล์ม/ทะลายต่ำ สอดคล้องกับ Gan และคณะ (1995) ได้รายงานว่า การเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มก่อนสุกแก่หรือผลปาล์มดิบ จะทำให้ปริมาณน้ำมันในทะลายลดลงมาก

5. การปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมัน

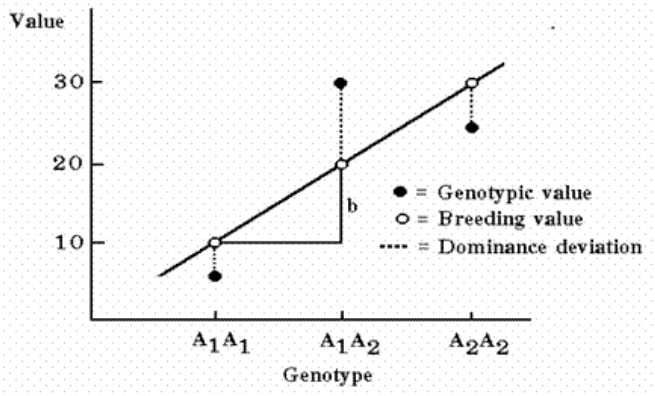
วศะพงศ์ (2553) กล่าวว่าการพัฒนาสายพันธุ์ปาล์มน้ำมันในปัจจุบันและอนาคตมุ่งไปที่ผลผลิตทะลายสด เปอร์เซ็นต์น้ำมัน อัตราการเจริญเติบโตทางลำต้นที่ช้า เพื่อให้ได้สายพันธุ์ที่เป็นต้นเตี้ย และสายพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ของสารอาหารสำคัญสูง เช่น วิตามินและไอโอดีนสูง ซึ่งเป็นส่วนที่จะสร้างมูลค่าให้กับอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน โดยลักษณะต่างๆ ดังกล่าว ต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงพันธุ์ Yusof และคณะ (2000) รายงานว่าการปรับปรุงพันธุ์ในประเทศมาเลเซีย ได้ปรับวิธีการปรับปรุงพันธุ์ซึ่งต่างจากในอดีตเพื่อสร้างลูกผสม DxP และปรับปรุงประชากรพื้นฐานของปาล์มน้ำมันแบบดูรา และเทเนอรา โดยใช้วิธีการปรับปรุงพันธุ์แบบ Modified recurrent selection (MRS) ในการผลิตลูกผสม พบว่า สามารถเพิ่มผลผลิตทะลายสด (FFB) จาก 132 กิโลกรัม/ต้น/ปี เป็น 190 กิโลกรัม/ต้น/ปี และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย (% O/B) จาก 20 % เป็น 25 % ใช้ระยะเวลา 17 ปี (Lee and Toh, 1992) ประกอบด้วยขั้นตอนการทดสอบปาล์มน้ำมันลูกผสมโดยใช้แผนการผสมแบบ North Carolina Mating Design I (NCM I) รูปแบบการผสมคือ การผสมระหว่างต้น (หรือพันธุ์หรือตระกูล) พ่อแม่ โดยสุ่มหรือคัดเลือกตัวอย่างต้นที่ใช้เป็นต้นพ่อเพื่อเก็บเรณูจำนวน m ต้น ต้นพ่อแต่ละต้นนำมาผสมกับต้นแม่จำนวน n ต้น โดยใช้ต้นแม่ไม่ซ้ำกันเลย จำนวนคู่ผสมในชั่วรุ่นลูกที่ได้เท่ากับ mn เช่น m เท่ากับ 2 และ n เท่ากับ 3 ดังนั้นจำนวนคู่ผสมในชั่วรุ่นลูกที่ได้คือ 6 (ตารางที่ 2) เหมาะสำหรับใช้ประเมินความแปรปรวนทางพันธุกรรมในพืชผสมข้ามต้น หรือ พืชที่สามารถใช้เกสรตัวผู้จากต้นเดียวมาผสมกับต้นตัวเมียได้หลายต้น (พีระศักดิ์, 2525)

ตารางที่ 2 แผนการผสมพันธุ์แบบ North Carolina Mating Design I (NCM I) ที่มีต้นพ่อ 2 ต้น และต้นแม่ 3 ต้น

ต้นพ่อ (m)	ต้นแม่ (n)	ลูกผสม
1	3	1 x 3
	4	1 x 4
	5	1 x 5
2	6	2 x 6
	7	2 x 7
	8	2 x 8

ความสำเร็จของการปรับปรุงลักษณะปริมานนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการคัดเลือกพันธุ์ให้ได้เฉพาะต้นที่มีลักษณะดีสำหรับใช้ขยายพันธุ์ต่อซึ่งคือการคัดเลือกต้นที่มีค่าจีโนไทป์ (genotypic value) สูงๆจากกลุ่มของพืชที่มีค่าจีโนไทป์ที่แตกต่างกัน ความแตกต่างระหว่างค่ายีโนไทป์ของลักษณะใดลักษณะหนึ่งนั้น แสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนทางพันธุกรรม (genetic variability) ของลักษณะดังกล่าวในประชากรของพืชที่ใช้คัดเลือกพันธุ์ ชนิด และปริมาณความแปรปรวนทางพันธุกรรมที่วัดในรูปของค่าของวาเรียนซ์ทางพันธุกรรม (genetic variance) ของลักษณะต่างๆที่ประชากรนั้นมีอยู่ เป็นตัวบอกคุณสมบัติของประชากรที่ศึกษาว่าเป็นอย่างไร สำหรับชนิดของวาเรียนซ์นั้นจะจำแนกตามค่าต่างๆที่เป็นส่วนประกอบของค่าจีโนไทป์ของพืชแต่ละต้นในประชากร โดยค่าจีโนไทป์ (genotypic value = G) เป็นค่าที่วัดคุณค่าของจีโนไทป์หรือชุดของยีนที่พืชนั้นมีอยู่ ส่วนประกอบของค่าจีโนไทป์ของแต่ละลักษณะนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนคู่ของยีนควบคุมลักษณะที่สนใจ, ค่าปรับปรุงพันธุ์ (breeding value = A) คือค่าที่แสดงถึงความสามารถในการถ่ายทอดของยีนที่ควบคุมการแสดงออกของลักษณะของพืชจากพ่อแม่ไปสู่ลูกในประชากรของพืชประชากรหนึ่ง ค่าปรับปรุงพันธุ์ของลักษณะที่สนใจของพืชต้นใดต้นหนึ่งจะมีค่าเท่ากับ 2 เท่าของผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของลูกที่เกิดจากการให้พืชต้นนั้น ผสมพันธุ์กับต้นพ่อที่สุ่มมาจากประชากรกับค่าเฉลี่ยของประชากร ส่วนสาเหตุที่ค่าปรับปรุงพันธุ์ของต้นแม่มีค่าเป็น 2 เท่าของค่าที่วัดได้จากต้นลูกนั้นเนื่องมาจากลูกรับยีนมาจากต้นแม่เพียงครึ่งเดียวส่วนอีกครึ่งหนึ่งได้รับมาอย่างสุ่มจากประชากร ค่าปรับปรุงพันธุ์ของลักษณะใดลักษณะหนึ่งของพืชแต่ละต้น ในกรณีของยีนหลายโลไซจะมีค่าเท่ากับผลรวมของค่าเฉลี่ยอิทธิพลของยีน (average effects of its genes) ที่ควบคุมลักษณะที่สนใจ ซึ่งมักถูกเรียกว่า additive effect of genes ดังนั้นค่าปรับปรุงพันธุ์จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า additive genotype (A) สำหรับค่าเฉลี่ยอิทธิพลของการแทนที่ระหว่างยีนที่เป็นคู่กัน (average effect of a gene substitution) นั้นในทางทฤษฎีก็คือค่า b (regression coefficient) ที่หาได้จากเส้นรีเกรสชั่นเส้นตรง (linear regression) ของค่าจีโนไทป์ต่อจำนวนยีน (ภาพที่ 1) พฤติกรรมการแสดงออกของยีนโดยเฉพาะการข่ม (dominance) จะมีผลต่อค่าปรับปรุงพันธุ์ กล่าวคือถ้ายีนไม่แสดงอาการข่ม (no dominance) ค่ายีโนไทป์จะมีค่าเท่ากับค่าปรับปรุงพันธุ์ (G = A) ดังนั้นเส้นตรงรีเกรสชั่นจะเชื่อมระหว่างจุดของค่ายีโนไทป์ที่เป็นพันธุ์แท้ แต่ถ้ายีนแสดงการข่ม (dominance) เช่น ยีน A_2 ข่มยีน A_1 ดังนั้นค่าของยีโนไทป์ที่เป็นพันธุ์ทาง A_1A_2 จะใกล้เคียงกับค่าของยีโนไทป์ที่เป็นพันธุ์แท้ที่เป็นลักษณะเด่น A_2A_2 ดังนั้นผลของการแทนที่ยีน A_1 ด้วยยีน A_2 เมื่อเปลี่ยนจากยีโนไทป์ A_1A_2 ไปเป็น A_2A_2 จะมีค่ามากกว่าเมื่อเปลี่ยนจากยีโนไทป์ A_1A_1 ไปเป็น A_1A_2 (ภาพที่ 1) และค่าเบี่ยงเบนที่เกิดจากการข่ม (dominance deviation = D)

ของยีนคู่ใดคู่หนึ่งคือ ผลต่างระหว่างค่าจีโนไทป์กับค่าปรับปรุงพันธุ์ D = G - A ของพืชแต่ละต้น ซึ่งค่านี้เกิดมาจากปฏิกิริยาระหว่างคู่ของยีนในตำแหน่งเดียวกัน (intralocus interaction) เมื่อพฤติกรรมการแสดงออกของยีนโดยเฉพาะระดับการข่ม (degree of dominace) และอัตราส่วนของยีนมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ายีโนไทป์และค่าปรับปรุงพันธุ์ แล้วก็จะมีอิทธิพลต่อการค่าเบี่ยงเบนที่เกิดจากการข่มด้วย สำหรับความสัมพันธ์ของค่าจีโนไทป์ ค่าปรับปรุงพันธุ์ และค่าเบี่ยงเบนที่เนื่องจากการข่มแสดงให้เห็นในภาพที่ 1 (โครงการมหาวิทยาลัยไซเบอร์ไทย, 2557)



ภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธุ์ระหว่างค่ายีโนไทป์ (Genotypic value) ค่าปรับปรุงพันธุ์(Breeding value) และค่าเบี่ยงเบนเนื่องจากการข่ม (Dominance deviation)

แผนการผสมพันธุ์แบบ North Carolina Mating Design I (NCM I) เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถแยกได้เป็น $\sigma^2_{f/m}$ คือ ความแปรปรวนของลูกอันเนื่องมาจากต้นตัวเมียที่ถูกผสมโดยเกสรของต้นตัวผู้ต้นเดียวกัน σ^2_m คือ ความแปรปรวนของลูกอันเนื่องมาจากความแตกต่างทางพันธุกรรมของต้นตัวผู้ที่ใช้ โดย σ^2_m คือ $\sigma^2_{HS} = 1/4\sigma^2_A$ ดังนั้น $\sigma^2_A = 4\sigma^2_m$, $\sigma^2_D = 4(\sigma^2_{f/m} - \sigma^2_m)$ และอัตราพันธุกรรมแบบแคบ $h^2_{ns} = \sigma^2_A /(\sigma^2_A+\sigma^2_D+\sigma^2_E)$ ดังนั้นการใช้ NCM I สามารถบอกขนาดหรือความสำคัญของ ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากยีนแบบบวก (σ^2_A) และความแปรปรวนอันเนื่องมาจากยีนแบบข่ม (σ^2_D) ได้ (ไพศาล และคณะ, 2547)

ธีระ (2554) กล่าวว่า แผนการผสมพันธุ์แบบ North Carolina Mating Design I (NCM I) เหมาะสำหรับการนำข้อมูลมาใช้กับปาล์มน้ำมันมาก ด้วยเหตุผลที่ว่า สามารถทำได้สะดวกเนื่องจากต้นแม่ที่ใช้ผสมพันธุ์กับเรณูของต้นพ่อต้องการช่อดอกเพศเมียเพียง 1 ช่อดอกเท่านั้น ทำให้สามารถทำการผสมพันธุ์กับต้นแม่ได้ในเวลาที่ใกล้เคียงกัน และได้ทะลายสุกแก่พร้อมกัน ซึ่งจะง่ายต่อการบริหารจัดการเมล็ดพันธุ์และต้นกล้าในระยะต่อไป

6. สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นและผลผลิตในปาล์มน้ำมัน

ลักษณะทางพันธุกรรมหลายลักษณะมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งการที่สองลักษณะมีความสัมพันธ์กัน (หรือเปลี่ยนแปลงไปด้วยกันในตอนคัดเลือก) นั้นมักเกิดจากสาเหตุใหญ่ๆสองประการคือ ประการแรกการที่ยีนคู่เดียวหรือหลายคู่สามารถควบคุมสองลักษณะ (pleiotropy) และประการที่สองยีนที่ควบคุมลักษณะทั้งสองอยู่บนโครโมโซมเดียวกัน (linkage) (พีระศักดิ์ และประเสริฐ, 2548) ดังนั้นถ้าลักษณะทั้งสองมีสหสัมพันธ์กันในทางบวก แสดงว่าถ้าหากคัดเลือกเพื่อเพิ่มลักษณะหนึ่งอีกลักษณะหนึ่งเพิ่มตามไปด้วย หรือถ้าลักษณะทั้งสองมีสหสัมพันธ์กันในทางลบแล้วการเพิ่มลักษณะหนึ่งจะไปลดอีกลักษณะหนึ่ง ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของพืชวัดได้โดยใช้ค่าที่เรียกว่า สหสัมพันธ์ (correlation) ซึ่งสหสัมพันธ์ที่สังเกตได้จากพืชนั้น เป็นสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ (ไพศาล, 2527) โดยสามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วน คือสหสัมพันธ์ทางสภาพแวดล้อม และสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์

สหสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตทางลำต้นและผลผลิต Smith (1993) รายงานว่า มีสหสัมพันธ์ในทางบวกระหว่าง ดัชนีพื้นที่ใบ กับ จำนวนทะลาย เมื่อดัชนีพื้นที่ใบสูงจะส่งผลทำให้ผลผลิตสูงตามไปด้วย ธีรภาพ (2552) ศึกษาสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ และจีโนไทป์ระหว่างลักษณะทางการเกษตรในปาล์มน้ำมัน พบว่า ความยาวใบ มีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ และจีโนไทป์ต่อจำนวนทะลาย (r_P = 0.43 และ r_g = 0.92 ตามลำดับ) และพื้นที่ใบ มีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ และจีโนไทป์ต่อผลผลิต (r_P = 0.51 และ r_g = 1.00 ตามลำดับ) เนื่องจากใบเป็นส่วนในการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อสร้างแป้งและน้ำตาลไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ในลำต้น ที่สำคัญคือนำไปสร้างผลผลิตทะลาย (Hardon *et al*., 1971) ดังนั้นในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิตทะลายอาจพิจารณาได้จากลักษณะพื้นที่ใบ (วศะพงศ์, 2553) สำหรับลักษณะอื่นๆพบว่าเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสหสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตทางลำต้นและผลผลิตในลูกผสมแต่ละคู่ปรากฏว่าให้ผลที่ไม่เหมือนกัน แสดงว่าลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตทางลำต้นลักษณะใดลักษณะหนึ่งจะมีสหสัมพันธ์กับลักษณะผลผลิตลักษณะใดนั้น เป็นผลมาจากลักษณะพันธุกรรมในแต่ละลูกผสมเอง

สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะผลผลิตทะลายต่อผลผลิตน้ำมันในปาล์มน้ำมัน จากการศึกษาของ Okoye และคณะ (2009) พบว่า ผลผลิตทะลายสด และจำนวนทะลายมีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับผลผลิตน้ำมัน (r_P = 0.569 และ 0.724 ตามลำดับ) สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาของ ธีระ และคณะ (2544ก); ประภัสษร (2550) ; วศะพงศ์ (2553) ; สมทบ (2556) ; Okwuagwu และ Tai (1995) และ Okoye และคณะ (2007) ในลักษณะผลผลิตทะลาย

พบว่า ผลผลิตทะลายสดมีสหสัมพันธ์ในทางบวกต่อจำนวนทะลายและน้ำหนักทะลายเฉลี่ย (ธีระ และคณะ, 2544ข; วศะพงศ์ (2553) ; สมทบ (2556) และ Kushairi *et al*., 1993) แต่ระหว่างลักษณะจำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ยมีสหสัมพันธ์ในทางลบต่อกัน (Corley and Tinker, 2003; Okoye *et al*., 2007 ; Okoye *et al*., 2009 และ Van der Vossen, 1974) Hartley (1988) รายงานว่า ผลผลิตทะลายสดมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ ดังนั้นในการปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมันต้องคัดเลือกต้นพันธุ์ที่มีลักษณะดี โดยอาศัยพื้นฐานของผลผลิตทะลายสด และต้องคำนึงถึงจำนวนทะลายและน้ำหนักทะลายเฉลี่ยด้วย เนื่องจากลักษณะดังกล่าวเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเพิ่มสัดส่วนของผลผลิตทะลายสด

สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะองค์ประกอบทะลายในปาล์มน้ำมันต่อผลผลิตน้ำมัน จากการศึกษาที่ผ่านมาของ ธีระ และคณะ (2544ข); ยงยุทธ (2545); ประภัสษร (2550); วศะพงศ์ (2553) ; Kushairi และ Rajanaidu (2000) และ Okoye และคณะ (2009) พบว่า ลักษณะเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย มีสหสัมพันธ์ในทางบวกต่อผลผลิตน้ำมัน ส่วนในลักษณะองค์ประกอบทะลายด้วยกันลักษณะเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย มีความสำคัญมากเนื่องจากมีสหสัมพันธ์กับลักษณะผลผลิตน้ำมัน จากการศึกษาที่ผ่านมาของลักษณะองค์ประกอบทะลายที่มีสหสัมพันธ์ต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย โดย ธีระ และคณะ (2544ข); ยงยุทธ (2545); ประภัสษร (2550); วศะพงศ์ (2553); อุไรวรรณ (2554) และ Okoye และคณะ (2009) พบว่า ลักษณะเปอร์เซ็นต์ผล/ทะลาย เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์เนื้อปาล์ม/ผล มีสหสัมพันธ์ในทางบวกต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย ดังนั้นการปรับปรุงผลผลิตน้ำมัน สามารถพิจารณาจากลักษณะหลักๆ ได้แก่ ผลผลิตทะลาย และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย เนื่องจากลักษณะดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับผลผลิตน้ำมัน และจากการวิเคราะห์เส้นทาง พบว่า ลักษณะที่มีอิทธิพลทางตรงสูงต่อผลผลิตน้ำมันคือ ผลผลิตทะลายสด และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย (วศะพงศ์, 2553 และ Rajanaidu *et al*., 2000) อย่างไรก็ตามการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะนั้นไม่อาจชี้วัดความสำเร็จในแต่ละประชากรได้ จึงควรประเมินอัตราพันธุกรรมของลักษณะทางการเกษตรร่วมด้วย

7. อัตราพันธุกรรมของลักษณะทางการเกษตรในปาล์มน้ำมัน

ค่าอัตราพันธุกรรม (heritability, h^2) ของลักษณะใดลักษณะหนึ่งจะบอกให้ทราบว่าลักษณะใดลักษณะหนึ่งนั้นมีความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะจากพ่อแม่ไปยังลูกหลานได้มากน้อยเพียงใด ดังนั้นค่าอัตราพันธุกรรมจึงเป็นตัวกำหนดความสำเร็จในการปรับปรุงลักษณะใดลักษณะหนึ่งของนักปรับปรุงพันธุ์ เนื่องจากความแปรปรวนอันเนื่องมาจากพันธุกรรมขึ้นอยู่กับ

ความถี่ของยีนและปฏิกิริยาของยีนที่ควบคุมลักษณะที่ต้องการปรับปรุงพันธุ์ ดังนั้นอัตราพันธุกรรมจึงเป็นค่าเฉพาะสำหรับเชื้อพันธุกรรมที่ใช้และสำหรับสภาพแวดล้อมที่ทำการคัดเลือกพันธุ์ ค่าอัตราพันธุกรรมมี 2 แบบ คือ อัตราพันธุกรรมแบบกว้าง (broad sense heritability, h^2_{bs}) เป็นอัตราส่วนของความแปรปรวน อันเนื่องมากจากพันธุกรรมทุกรูปแบบ (V_g) ต่อความแปรปรวนทั้งหมดของลักษณะที่ปรากฏ (V_p) และอัตราพันธุกรรมแบบแคบ (narrow sense heritability, h^2_{ns}) เป็นอัตราส่วนของความแปรปรวน อันเนื่องมาจากพันธุกรรมแบบบวกต่อความแปรปรวนทั้งหมดของลักษณะที่ปรากฏ วิธีการประเมินอัตราพันธุกรรมสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีรีเกรสชัน วิธีคำนวณจากองค์ประกอบของความแปรปรวนทางพันธุกรรมจากแผนการผสมพันธุ์แบบต่างๆ (ธีระ และ วัชรินทร์, 2542)

ค่าอัตราพันธุกรรมในปาล์มน้ำมันที่ได้ในแต่ละประชากรที่ทำการทดลอง จะเป็นค่าเฉพาะในประชากรที่ปรับปรุงพันธุ์อยู่ (วศะพงศ์, 2553) โดยความแตกต่างในประชากรปาล์มน้ำมันและสภาพแวดล้อม ส่งผลให้ค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะเดียวกันมีความแตกต่างกัน (Ooi และ Bin Ngah ,1976) จากการศึกษาอัตราพันธุกรรมในลักษณะการเจริญเติบโตในปาล์มน้ำมัน อังคณา และคณะ (2551) ประเมินอัตราพันธุกรรมแบบกว้างในลักษณะการเจริญเติบโตในประชากรปาล์มน้ำมันชั่วที่ 2 พบว่า ลักษณะความยาวใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งใบ มีอัตราพันธุกรรมต่ำ (h^2_{bs} = 2.40, 1.10 และ 8.30 % ตามลำดับ) ธีรภาพ (2552) ประเมินอัตราพันธุกรรมแบบกว้าง ของลักษณะทางการเกษตรในปาล์มน้ำมัน พบว่า ลักษณะความกว้างใบ ความยาวใบ และความสูงมีค่าอัตราพันธุกรรมปานกลาง (h^2_{bs} อยู่ระหว่าง 56.00 – 67.00 %) วศะพงศ์ (2553) ประเมินอัตราพันธุกรรมแบบกว้างของลักษณะการเจริญเติบโต พบว่า ความยาวใบ และน้ำหนักแห้งใบ มีค่าอัตราพันธุกรรม (h^2_{bs} = 59.84 และ 12.25 % ตามลำดับ) ประภัสษร (2550) ประเมินอัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะการเจริญเติบโต พบว่า ลักษณะพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งใบ ความยาวใบ มีอัตราพันธุกรรมที่ต่ำ (h^2_{ns} = 19.12, 15.37 และ 20.71 % ตามลำดับ)

อัตราพันธุกรรมในลักษณะผลผลิตน้ำมันในปาล์มน้ำมัน วศะพงศ์ (2553) ได้ประเมินค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้างในชั่วรุ่นลูก พบว่า ลักษณะผลผลิตน้ำมันมีอัตราพันธุกรรมสูง (h^2_{bs} = 59.34 %) สมทบ (2556) ได้ประเมินค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้างของปาล์มน้ำมัน 9 พันธุ์ พบว่า ลักษณะผลผลิตน้ำมันมีอัตราพันธุกรรมสูง (h^2_{bs} = 54.24 %) Rafii และคณะ (2002) ได้ประเมินค่าอัตราพันธุกรรมจากการทดสอบลูกผสมปาล์มน้ำมัน พบว่า อัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะผลผลิตน้ำมันของปาล์มน้ำมันแบบพิสิเฟอราและดูรามีค่า 0.16 และ 0.02 %

ตามลำดับ ส่วนอัตราพันธุกรรมอย่างแคบของปาล์มแบบเทเนอรามีค่า 0.21 % (Kushairi, 1992 อ้างโดย Rajanaidu *et al*., 2000)

ลักษณะผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และองค์ประกอบทะลายในปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นลักษณะปริมาณที่ถูกควบคุมด้วยยีนหลายคู่ (Corley and Tinker, 2003) Okuagwu และคณะ (2008) ได้ประเมินอัตราพันธุกรรมแบบกว้างของลักษณะผลผลิตทะลายสด จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย จาก 3 ประชากร พบว่า ทั้ง 3 ประชากรมีอัตราพันธุกรรมที่แตกต่างกัน โดยประชากรกลุ่มที่ 1 มีอัตราพันธุกรรมสูงที่สุดในลักษณะจำนวนทะลาย น้ำหนักทะลายเฉลี่ย และผลผลิตทะลายสด (h^2_{bs} = 78.00, 88.60 และ 70.70 % ตามลำดับ) Musa และคณะ (2004) และ Okoye และคณะ (2009) รายงานว่า ทั้ง 3 ลักษณะ (ผลผลิตทะลายสด จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย) มีอัตราพันธุกรรมที่สูง แต่จากการศึกษาของ วศะพงศ์ (2553) และสมทบ (2556) พบว่าลักษณะน้ำหนักทะลายเฉลี่ยมีอัตราพันธุกรรมต่ำ (h^2_{bs} = 20.88 และ 26.46 % ตามลำดับ) Obisesan และ Fatunla (1982) และ Kushairi และคณะ (1993) พบว่า ผลผลิตทะลายสดมีอัตราพันธุกรรมต่ำ (h^2_{bs} = 31.5 และ 13.0 % ตามลำดับ) Kushairi และ Rajanaidu (2000) พบว่าลักษณะผลผลิตทะลายสดมีอัตราพันธุกรรมต่ำ Hardon (1976) พบว่า ลักษณะน้ำหนักทะลายและจำนวนทะลายมีอัตราพันธุกรรมค่อนข้างต่ำ ในส่วนขององค์ประกอบทะลายนั้น Musa และคณะ (2004) ได้ประเมินอัตราพันธุกรรมแบบกว้างในองค์ประกอบทะลาย พบว่า มีอัตราพันธุกรรมปานกลาง Noh และคณะ (2010) ได้ประเมินอัตราพันธุกรรมแบบกว้างในลักษณะของผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และองค์ประกอบทะลาย พบว่า โดยส่วนใหญ่มีค่าอัตราพันธุกรรมอยู่ในระดับปานกลาง วศะพงศ์ (2553) ได้ประเมินอัตราพันธุกรรมแบบกว้างในลักษณะองค์ประกอบทะลายในชั่วรุ่นลูก พบว่า อัตราพันธุกรรม มีค่าตั้งแต่ต่ำ-สูง (h^2_{bs} = 0 – 60 %) จากงานวิจัยที่ผ่านพบว่าค่าอัตราพันธุกรรมมีความแตกต่างกันในแต่ละงานทดลองซึ่งอาจมีความแปรปรวนได้ตั้งแต่ต่ำถึงสูง ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของพันธุกรรมของเชื้อพันธุ์ สภาพแวดล้อม และปฏิกิริยาระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม (Raffi *et al*., 2002) ในปาล์มน้ำมันเดลีดูรา ซึ่งมีฐานพันธุกรรมของประชากรแคบและมีความแปรปรวนของยีนแบบบวกต่ำ ส่งผลให้ความแปรปรวนของผลผลิตในประชากรต่ำ (Hartley, 1988; Okwuagwu and Tai, 1995) การผสมข้ามระหว่างเดลี ดูรา จากโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์ที่แตกต่างกัน หรือผสมระหว่างเดลี ดูรา กับแอฟริกันเทเนอราที่เกิดจากเดลี ดูรา ผสมกับฟิสิเฟอรา พบว่า มีเฮเทอโรซีส (heterosis) เกิดขึ้นในลักษณะผลผลิตน้ำมัน (Corley and Tinker, 2003) ดังนั้นค่าอัตราพันธุกรรมถือว่ามีความสำคัญต่อการปรับปรุงประชากรนั้นๆ ซึ่งเป็นแนวทางในการปรับปรุงพันธุ์ว่าควรไปในทิศทาง

ใด และลักษณะใดที่มีอัตราพันธุกรรมที่สูงย่อมสามารถปรับปรุงได้เร็วกว่าลักษณะที่อัตราพันธุกรรมต่ำ (วศะพงศ์, 2553)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสหสัมพันธ์ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของปาล์มน้ำมัน

2. เพื่อศึกษาอัตราพันธุกรรมทั้งแบบกว้างและแบบแคบของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของปาล์มน้ำมัน

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความแปรปรวนทางพันธุกรรมทางด้านการเจริญเติบโตทางลำต้นและผลผลิตของปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา ทำการทดลองที่แปลงทดลองสถานีวิจัยคลองหอยโข่ง อำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา ระยะเวลาการดำเนินการวิจัยเริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2553 – พฤศจิกายน 2554 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. วัสดุและอุปกรณ์

1.1 วัสดุพืช

ต้นปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอราซึ่งเกิดจากการผสมระหว่างต้นพ่อ 2 พันธุ์ ผสมกับต้นแม่ที่แตกต่างกัน 9 ต้นต่อต้นพ่อ 1 ต้น ตามแผนการผสมแบบ North Carolina Mating Design I (ลูกผสม 18 คู่ผสม ซึ่งปลูกโดยใช้แผนการทดลองแบบ CRD โดยมีจำนวน 6 ต้นต่อคู่ผสม นับเป็น 6 ซ้ำการทดลอง ลูกผสมนี้มีอายุ 9 ปี)

1.2 อุปกรณ์

1. ป้ายแสดงหน่วยทดลอง
2. กระสอบใส่ทะลายปาล์ม
3. เวอร์เนีย ชนิดดิจิตอล
4. ตลับเมตร
5. สีน้ำมัน
6. มีดคัตเตอร์
7. ขวาน
8. ตู้อบ
9. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
10. เครื่องชั่งทะลาย

11. น้ำมันเบนซิน 91

12. ขวดแก้วแช่ตัวอย่าง

2. วิธีการ

2.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) ใช้พันธุ์ปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา 18 คู่ผสม อายุ 9 ปี การเก็บข้อมูลจะเก็บทุก 3 เดือนต่อครั้ง เป็นจำนวน 4 ครั้ง ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันเก็บข้อมูลทุกครั้ง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ (Duncan's new multiple range test, DMRT)

2.2 การบันทึกข้อมูล

2.2.1 ข้อมูลปริมาณธาตุอาหารในดิน

เก็บข้อมูลดินในพื้นที่แปลงปลูกของสถานีวิจัยคลองหอยโข่งที่ทำการทดลอง โดยเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0 – 30 ซม. เพื่อวิเคราะห์ความเป็นกรด–ด่าง ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก อินทรีย์คาร์บอน และธาตุอาหารหลักในดิน ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียม

2.2.2 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) และการกระจายตัวของฝนรายเดือนบริเวณแปลงปลูก ของสถานีวิจัยคลองหอยโข่ง ปี พ.ศ.2553 – พ.ศ.2554 จากข้อมูลศูนย์อุตุนิยมวิทยา ภาคใต้ฝั่งตะวันออก

2.2.3 ลักษณะการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน

ลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น บันทึกจากทางใบที่ 17 ทำการเก็บข้อมูล เพื่อใช้วิเคราะห์ดังนี้

1. **ความยาวทางใบ** (rachis length, RL) เป็นการวัดความยาวของแกนกลางใบ โดยวัดจากตำแหน่งซึ่งเป็นรอยแยกระหว่างก้านใบกับแกนกลางใบที่อยู่บริเวณโคนใบถึงส่วนปลายของแกนกลางใบ หน่วยวัดเป็นเซนติเมตร

2. **จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น** (foliar increment, FI) เป็นการนับจำนวนใบที่พัฒนาขึ้นใหม่ในแต่ละช่วงเวลาหนึ่งในรอบ 1 ปี

3. **ความสูงลำต้น** (height, H) วัดจากระดับผิวดินบริเวณโคนต้นถึงตำแหน่งรอยต่อระหว่างก้านใบและแกนกลางใบของใบที่ 1 หน่วยวัดเป็นเซนติเมตร

4. **ขนาดลำต้น** (trunk diameter, TD) วัดขนาดรอบลำต้นเหนือระดับผิวดิน 1 เมตร หน่วยวัดเป็นเซนติเมตร

5. **พื้นที่ใบ** (leaf area, LA) ปาล์มอายุมากกว่า 8 ปีขึ้นไป การคำนวณพื้นที่ใบโดยวิธีการของ Hardon และคณะ (1969) ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$LA = 0.57 (n l w)$$

โดย LA คือ พื้นที่ใบ (ซม.^{2})
n คือ จำนวนใบย่อย (จำนวน/ใบ)
l คือ ค่าเฉลี่ยของความยาวใบย่อย (ซม.)
w คือ ค่าเฉลี่ยความกว้างกลางใบย่อย (ซม.)

6. **น้ำหนักแห้งใบ** (leaf dry weight, LDW) สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้ (Corley *et al*., 1971)

$$LDW = 0.1023P + 0.2062$$

โดย LDW คือ น้ำหนักแห้งใบ (กก.)
P คือ ผลคูณของความกว้างโคนก้านใบ (ซม.) และความลึกโคนก้านใบ (ซม.)

7. **น้ำหนักแห้งการเจริญเติบโตทางลำต้น** (vegetative dry weight, VDW) สามารถใช้สมการคำนวณได้ดังนี้ (Corley and Tinker, 2003)

$$VDW = LDW + TDWI$$

โดย VDW = น้ำหนักแห้งการเจริญเติบโตทางลำต้น (กก./ปี)
LDW = น้ำหนักแห้งใบ (กก./ปี)
TDWI = น้ำหนักแห้งลำต้นที่เพิ่มขึ้น (กก./ปี)

ดังนั้น $VDW = (0.1023P + 0.2062) + \{(\pi r^2 h) \times 0.0076t + 0.083\}$

2.2.4 ผลผลิตทะลายของปาล์มน้ำมัน

ทำการเก็บทะลายปาล์มน้ำมันที่มีการสุกแก่เต็มที่จากทุกต้นของแต่ละคู่ผสม ชั่งน้ำหนักทะลายสด เก็บข้อมูลผลผลิต ได้แก่ ผลผลิตทะลายสด (fresh fruit bunch, FFB) จำนวนทะลาย (bunch number, BN) และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย (average bunch weight, ABW) เป็นระยะเวลา 1 ปี (มิถุนายน 2553 – กรกฎาคม 2554)

2.2.5 องค์ประกอบทะลายของปาล์มน้ำมัน

การวิเคราะห์องค์ประกอบทะลายของปาล์มน้ำมันใช้วิธีการที่ใช้ที่ Nigerian Institute for Oil Palm Research (NIFOR) ประเทศไนจีเรีย (Blaak *et al*., 1963) โดยเริ่มจากทำการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันที่สุกแก่เต็มที่ของแต่ละคู่ผสมที่คัดเลือกไว้ (สุ่มต้นปาล์มน้ำมันจำนวน 3 ต้น ต่อคู่ผสม เก็บต้นละ 1 ทะลาย) แล้วชั่งน้ำหนักทะลายสด จากนั้นใช้ขวานสับแยกก้านช่อผลย่อยออกจากแกนทะลาย ชั่งน้ำหนักแกนทะลายสด สุ่มก้านช่อผลย่อยไว้ 10 ก้านช่อผล แล้วชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นทำการแยกผลปาล์มออกจากก้านช่อผล ผลปาล์มที่ได้นำมาแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลปาล์มดี และผลปาล์มลีบ ชั่งน้ำหนักทั้ง 2 ส่วน สุ่มผลดี 10 ผล ชั่งน้ำหนักผลปาล์มสด หลังจากนั้นแยกส่วนของเนื้อปาล์มออกจากผล แล้วชั่งน้ำหนักเนื้อปาล์มสดและเมล็ดปาล์ม (กะลาปาล์มและเนื้อในเมล็ด) นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักเนื้อปาล์มแห้ง และเมล็ดปาล์มแห้ง นำส่วนของเนื้อปาล์มแห้งบดให้ละเอียด แล้วมาวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์น้ำมันต่อเนื้อปาล์มแห้ง โดยสุ่มเนื้อปาล์มแห้งที่บดละเอียดแล้วมาชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นบรรจุลงถุงผ้า ปิดผนึกให้เรียบร้อยแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง นำมาแช่ในน้ำมันเบนซิน นานติดต่อกัน 7 วัน โดยมีการเปลี่ยนน้ำมันเบนซินใหม่ทุกวัน เมื่อครบกำหนด นำถุงผ้าพร้อมเนื้อปาล์มแห้งมาผึ่งในที่ร่มให้แห้ง หลังจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก และบันทึกน้ำหนักเส้นใยแห้งหลังจากแช่น้ำมันเบนซิน ข้อมูลต่างๆที่บันทึกได้ข้างต้นสามารถนำมาคำนวณหาองค์ประกอบทะลายปาล์มน้ำมัน ดังนี้

$$\text{น้ำหนักผลเฉลี่ย (average fruit weight, AFW)} = \frac{\text{น้ำหนักผล (จากตัวอย่างที่สุ่ม)}}{\text{จำนวนผล (จากตัวอย่างที่สุ่ม)}}$$

$$\text{น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย (average kernel weight, AKW)} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อในเมล็ด (จากตัวอย่างที่สุ่ม)}}{\text{จำนวนผล (จากตัวอย่างที่สุ่ม)}}$$

ผล/ทะลาย (fruit/bunch, %F/B) = $\frac{\text{(น้ำหนักทะลาย – น้ำหนักแกนทะลาย)} \times \text{น้ำหนักผลดี (จากตัวอย่างที่สุ่ม)}}{\text{น้ำหนักทะลาย} \quad \text{น้ำหนักผลปาล์มที่ติดก้านผลย่อย}} \times 100$

เนื้อในเมล็ดต่อทะลาย (kernel/bunch, %K/B) = $\frac{\text{\%เนื้อในเมล็ด/ผล} \times \text{\% ผล/ทะลาย}}{100}$

เนื้อปาล์มสดต่อผล (wet mesocarp/fruit, %WM/F) = $\frac{\text{น้ำหนักผล – น้ำหนักเมล็ด}}{\text{น้ำหนักผล}} \times 100$

กะลาต่อผล (shell/fruit, %S/F) = $\frac{\text{น้ำหนักเมล็ด – น้ำหนักเนื้อในเมล็ด}}{\text{น้ำหนักผล}} \times 100$

เนื้อในเมล็ดต่อผล (kernel/fruit, %K/F) = $\frac{\text{น้ำหนักเนื้อในเมล็ด}}{\text{น้ำหนักผล}} \times 100$

น้ำมันต่อเนื้อปาล์มสด (oil/wet mesocarp, %O/WM) = $\frac{\text{น้ำหนักเนื้อปาล์มแห้ง – น้ำหนักเส้นใยแห้งหลังจากแช่น้ำมัน}}{\text{น้ำหนักเนื้อปาล์มสด}} \times 100$

น้ำมันต่อเนื้อปาล์มแห้ง (oil/dry mesocarp, %O/DM) = $\frac{\text{น้ำหนักเนื้อปาล์มแห้ง – น้ำหนักเส้นใยแห้งหลังจากแช่น้ำมัน}}{\text{น้ำหนักเนื้อปาล์มแห้ง}} \times 100$

น้ำมันต่อผล (oil/fruit, %O/F) = $\frac{\text{\% น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด} \times \text{\% เนื้อปาล์มสด/ผล}}{100}$

น้ำมันต่อทะลาย (oil/bunch, %O/B) = $\frac{\text{\% น้ำมัน/ผล} \times \text{\% ผล/ทะลาย}}{100}$

2.2.6 **ผลผลิตน้ำมันปาล์ม**

ผลผลิตน้ำมัน (กิโลกรัม/ต้น/ปี) สามารถคำนวณได้จากผลผลิตทะลายและองค์ประกอบทะลาย ดังสมการนี้

ผลผลิตน้ำมัน (oil yield, kg/palm/year) = $\frac{\text{ผลผลิตทะลายสด} \times \text{\% น้ำมัน/ทะลาย}}{100}$

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

2.3.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา

นำข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตที่ได้จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 18 คู่ผสมมาวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ของ CRD มีตัวแบบดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

เมื่อ Y_{ij} = ค่าสังเกตแต่ละค่าที่ได้จากทรีตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j

μ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดในการทดลอง

T_i = อิทธิพลของทรีตเมนต์ I (คู่ผสมที่ i)

ε_{ij} = ค่าความคลาดเคลื่อน

โดยที่ i = 1,2,…,18

j = 1,2,…,6

ได้ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติดังนี้ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

Source	d.f.	SS	MS	F-test
Treatment	t - 1	SS_1	M_1	M_1/ M_2
Error	t(r - 1)	SS_2	M_2	
Total	tr - 1			

หมายเหตุ MS = mean square, M_1 = Treatment MS, M_2 = Error MS

โดยที่ T = จำนวนทรีตเมนต์ และ r = จำนวนซ้ำ

2.3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางพันธุกรรม

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะต่างๆของปาล์มน้ำมันที่ทำการศึกษาในแผนการผสมแบบ North Carolina Mating Design I สามารถประเมินความแปรปรวนทางพันธุกรรมได้ ตามวิธีของ พีระศักดิ์ (2525)

ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ของแผนการผสมแบบ North Carolina Mating Design I ปลูกทดสอบแบบ CRD

$Y_{ijk} = \mu + M_i + F_{ij} + \varepsilon_{ijk}$

เมื่อ Y_{ijk} = ค่าสังเกตต้นที่ k ของลูกที่เกิดจากตัวตัวผู้ที่ i ต้นตัวเมียที่ j (k = 1,2,…,6)

μ = ค่าเฉลี่ยของประชากรของลูกทั้งหมด

M_i = อิทธิพลของต้นตัวผู้ที่ i (i = 1,2)

F_{ij} = อิทธิพลของต้นตัวเมียที่ j ที่ผสมกับต้นตัวผู้ที่ i (j = 1,2,…,9)

ε_{ijk} = ค่าความคลาดเคลื่อน

ได้ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังนี้ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปาล์มน้ำมัน

Source	d.f.	MS	EMS
Male effects	m-1	M_{11}	$\sigma^2_e + r\sigma^2_{f/m} + r\,n\sigma^2_m$
Female within male	m(n-1)	M_{12}	$\sigma^2_e + r\sigma^2_{f/m}$
Error	mn(r-1)	M_{13}	σ^2_e

เมื่อ m = จำนวนต้นพ่อ n = จำนวนต้นแม่ r = จำนวนซ้ำ

MS = mean squared และ EMS = expectation of mean squared

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถนำไปหาองค์ประกอบความแปรปรวนต่างๆได้ดังนี้

σ^2_m = (M11-M12) / rn

$\sigma^2_{f/m}$ = (M12-M13) / r

โดยที่ σ^2_m = ความแปรปรวนของลูกอันเนื่องมาจากความแตกต่างทางพันธุกรรมของต้นตัวผู้ที่ใช้

$\sigma^2_{f/m}$ = ความแปรปรวนของลูกอันเนื่องมาจากต้นตัวเมียที่ถูกผสมโดยเกสรของต้นตัวผู้ต้นเดียวกัน

จากนั้นสามารถประมาณค่า σ^2_A และ σ^2_D ได้ โดยที่

$$\sigma^2_A = 4\sigma^2_m$$

$$\sigma^2_D = 4(\sigma^2_{f/m} - \sigma^2_m)$$

โดย

σ^2_A = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากยีนแบบบวก

σ^2_D = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากยีนแบบข่ม

2.3.3 การประเมินอัตราพันธุกรรม

1) อัตราพันธุกรรมแบบกว้าง (h^2_{bs})

เป็นอัตราส่วนของความแปรปรวน อันเนื่องมากจากพันธุกรรมทุกรูปแบบ (V_g) ต่อความแปรปรวนทั้งหมดของลักษณะที่ปรากฏ (V_p) ซึ่งอาจเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (ธีระ, 2554)

$$h^2_{bs} = V_g / V_p$$

หรือ $$= V_g / (V_g + V_e + V_{ge})$$

เมื่อ V_g = ความแปรปรวนเนื่องมากจากพันธุกรรมทุกรูปแบบ (แบบบวก แบบข่ม และอีพิสทาซีส รวมทั้งปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างแบบต่างๆ

V_p = ความแปรปรวนทั้งหมด หรือความแปรปรวนของลักษณะพืชที่ปรากฏ

V_e = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม

V_{ge} = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม มีค่าเท่ากับศูนย์ในกรณีที่มีเพียงสภาพแวดล้อมเดียว

2) อัตราพันธุกรรมแบบแคบ (h^2_{ns})

เป็นอัตราส่วนของความแปรปรวน อันเนื่องมาจากพันธุกรรมแบบบวกต่อความแปรปรวนทั้งหมดของลักษณะที่ปรากฏ (ธีระ, 2554)

$$h^2_{ns} = V_a / V_p$$
$$= V_a / (V_g + V_e + V_{ge})$$
$$= V_a / (V_a + V_d + V_i + V_e)$$

เมื่อ V_a = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากพันธุกรรมแบบบวก

V_d = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากพันธุกรรมแบบข่ม

V_i = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากพันธุกรรมอีพิสทาซีส ในการวิจัยนี้สมมุติให้ vi = 0

V_e = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากสิ่งแวดล้อม

2.3.4 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์

การหาสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ และจีโนไทป์ ของลักษณะทางการเจริญเติบโต และผลผลิต โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนและวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Dabholkar, 1992) ดังที่แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน และความแปรปรวนร่วม ของ 2 ลักษณะ (x และ y)

Source	df	MS		MCP	EMS	EMCP
		x	y			
Treatment	t-1	M_2*	M_2	M_2*M_2	$\sigma_E^2+r\sigma_T^2$	$\sigma_{E^*E}+r\sigma_{T^*T}$
Error	t(r-1)	M_1*	M_1	M_1*M_1	σ_E^2	σ_{E^*E}
Total	tr-1					

หมายเหตุ: MCP = Mean Cross Product และ EMCP = Expected Mean Cross Product

โดยที่ $\sigma^2_{E^*} = M^*_1$ $\sigma^2_{T^*} = (M^*_2 - M^*_1)/r$

$\sigma^2_E = M_1$ $\sigma^2_T = (M_2 - M_1)/r$

$\sigma_{E^*E} = M^*_1 M_1$ $\sigma_{T^*T} = (M^*_2 M_2 - M^*_1 M_1)/r$

Phenotypic variance (σ^2_p) หาได้จาก

$$\sigma^2_p = \sigma^2_T + \sigma^2_E$$

$$\sigma^2_{p^*} = \sigma^2_{T^*} + \sigma^2_{E^*}$$

Phenotypic covariance (σ_{p^*p}) หาได้จาก

$$\sigma_{p^*p} = \sigma_{T^*T} + \sigma_{E^*E}$$

2.3.4.1 สหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ (r_p) คำนวณได้จากสูตร

$$r_P = \frac{(\sigma_{T^*T} + \sigma_{E^*E})}{\sqrt{(\sigma^2_{T^*} + \sigma^2_{E^*})(\sigma^2_T + \sigma^2_E)}}$$

2.3.4.2 สหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (r_g) คำนวณได้จากสูตร

$$r_g = \frac{\sigma_{T^*T}}{\sqrt{\sigma^2_{T^*} + \sigma^2_T}}$$

2.3.5 การวิเคราะห์เส้นทาง

การศึกษาสหสัมพันธ์เป็นการศึกษาลักษณะแต่ละคู่ว่ามีความสัมพันธ์กันในทิศทางใดเท่านั้น ซึ่งเป็นการบอกถึงอิทธิพลโดยรวม แต่ความจริงแล้วอาจมีอิทธิพลของตัวแปรอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง การวิเคราะห์เส้นทาง (path analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของตัวแปรสาเหตุต่างๆ เพื่อดูว่ามีอิทธิพลทางตรง และอิทธิพลทางอ้อม ผ่านทางตัวแปรอิสระตัวอื่นมากน้อยอย่างไร โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์รีเกรสชันเส้นตรงที่มีตัวแปรอิสระหลายตัว (Multiple regression) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันของตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันบางส่วน (partial regression coefficient) ซึ่งหากทำการแปลงค่าตัวแปรอิสระและตัวแปiตามเป็นตัวแปรมาตรฐาน (standardized) ก่อนทำการวิเคราะห์จะได้ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันที่เรียกว่า ค่ารีเกรสชันบางส่วนมาตรฐาน (standardized partial regression coefficient, b´) ความเชื่อมโยงระหว่างค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันบางส่วนกับค่าสัมประสิทธิ์บางส่วนมาตรฐานเป็นไปตามสูตร ดังนี้ (สุรพล, 2536)

$$b' = \frac{b(s_x)}{s_y}$$

โดยที่ b' คือ ค่ารีเกรสชันบางส่วนมาตรฐาน

b คือ ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันบางส่วน

s_x คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรอิสระ (X)

s_y คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรตาม (Y)

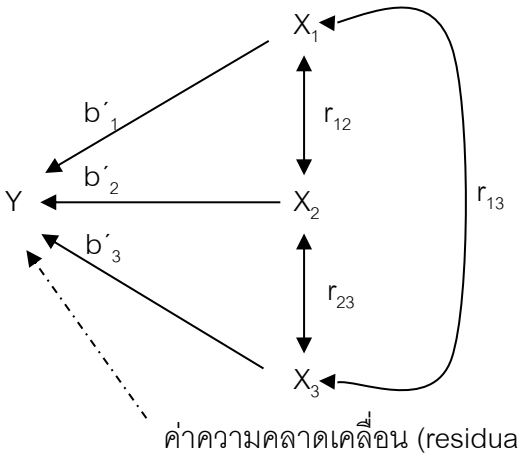
ค่า b' ของตัวแปรอิสระต่างๆ แต่ละตัวกับตัวแปรตาม คือ สัมประสิทธิ์เส้นทาง จากภาพที่ 1 เป็นรูปแบบความสัมพันธ์ ของการวิเคราะห์เส้นทาง เมื่อมีตัวแปรอิสระ 3 ตัว คือ X_1 , X_2 และ X_3 กับตัวแปรตาม Y

ความสัมพันธ์ในรูปสมการปกติ (normal equation) คือ

$$r_{1y} = r_{11}b'_1 + r_{12}b'_2 + r_{13}b'_3$$

$$r_{2y} = r_{21}b'_1 + r_{22}b'_2 + r_{23}b'_3$$

$$r_{3y} = r_{31}b'_1 + r_{32}b'_2 + r_{33}b'_3$$



ภาพที่ 2 แสดงสัมประสิทธิ์เส้นทางของตัวแปรอิสระ 3 ตัว

โดยที่ b'_1 , b'_2 และ b'_3 คือ ค่ารีเกรสชันบางส่วนมาตรฐาน ของ X_1 , X_2 และ X_3 กับ Y ตามลำดับ r_{12}, r_{13} และ r_{23} คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง X_1 กับ X_2 , X_1 กับ X_3 และ X_2 กับ X_3 ตามลำดับ r_{1y}, r_{2y} และ r_{3y} คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง X_1, X_2 และ X_3 กับ Y ตามลำดับ

เมื่อ $r_{11,}\ r_{22}$ และ r_{33} คือ ค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวมันเอง ดังนั้น จึงมีค่าเท่ากับ 1 ในขณะที่ $r_{12} = r_{21}, r_{13} = r_{31}$ และ $r_{23} = r_{32}$

ค่าความคลาดเคลื่อน = $1- R^2$ (เมื่อ R^2 คือสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ)

โดย R^2 = $r_{1y}b'_1+r_{2y}b'_2+r_{3y}b'_3$

สมการข้างต้นสามารถเขียนในรูปเมทริกซ์ (Matrix) ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} r_{1y} \\ r_{2y} \\ r_{3y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b'_1 \\ b'_2 \\ b'_3 \end{bmatrix}$$

หรือใช้สัญลักษณ์แทนว่า $R_{xy} = R_{xx} \cdot B$

โดย $$R_{xy} = \begin{bmatrix} r_{1y} \\ r_{2y} \\ r_{3y} \end{bmatrix} : R_{xx} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} : B = \begin{bmatrix} b'_1 \\ b'_2 \\ b'_3 \end{bmatrix}$$

ดังนั้น $B = (R_{xx})^{-1} \cdot R_{xy}$

เมื่อ $(R_{xx})^{-1}$ คือ ค่า inverse ของ R_{xx}

และเมื่อคำนวณค่า b' ได้แล้ว ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระต่างๆ แต่ละตัว กับตัวแปรตามได้ดังนี้

ความสัมพันธ์ระหว่าง X_1 กับ Y

อิทธิพลทางตรงของ X_1 ต่อ Y = b'_1

อิทธิพลทางอ้อมของ X_1 ต่อ Y ผ่าน X_2 = $r_{12}b'_2$

อิทธิพลทางอ้อมของ X_1 ต่อ Y ผ่าน X_3 = $r_{13}b'_3$

อิทธิพลรวมของ X_1 ต่อ Y = r_{1y}

ความสัมพันธ์ระหว่าง X_2 กับ Y และ X_3 กับ Y อธิบายได้ในทำนองเดียวกับ X_1

บทที่ 3

ผล และวิจารณ์

1. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลดิน

1.1 ปริมาณและการกระจายของฝนระหว่างการทดลอง

ปริมาณและการกระจายของฝนระหว่างการทดลองปี พ.ศ.2552 - 2554 อำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา พบว่า ในปี พ.ศ. 2552, 2553 และ 2554 มีปริมาณฝน 1,203, 1,201.30 และ 1,615.70 มม./ปี ตามลำดับ (ตารางที่ 6) โดยเดือนพฤศจิกายนในปี พ.ศ. 2552 มีปริมาณฝนสูงสุด และเดือนธันวาคมในปี พ.ศ. 2553 และ 2554 มีปริมาณฝนสูงสุด ส่วนจำนวนวันฝนตก มีจำนวน 41, 58 และ 66 วัน ตามลำดับ ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าทั้งปริมาณฝนและการกระจายตัวของฝนระหว่างการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสมต่อการปลูกปาล์มน้ำมัน โดยทั่วไปปริมาณฝนที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 2,000 - 2,500 มม./ปี และมีการกระจายตัวของฝนตลอดทั้งปี โดยแต่ละเดือนควรมีปริมาณฝนมากกว่า 100 มม.

ตารางที่ 6 ปริมาณและการกระจายของฝนระหว่างการทดลองที่ อำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา

Month	year 2009		year 2010		year 2011	
	Rain fall	Distribution of rain fall	Rain fall	Distribution of rain fall	Rain fall	Distribution of rain fall
January	47.5	4	52.3	2	166	7
February	0	0	0	0	0	0
March	103.3	5	0	0	178.7	8
April	18.9	3	0	0	114.7	3
May	86	8	74.7	2	10	1
June	0	0	32.8	2	0	0
July	62.9	2	88.9	4	7.6	1
August	8.2	1	61.5	4	122.8	9
September	14.5	1	77.3	5	143.6	4
October	41.5	2	345.5	9	73.9	6
November	812.6	13	180.4	13	347.3	12
December	7.6	2	287.9	17	451.1	15
Total	1,203.00	41	1,201.30	58	1,615.70	66

หมายเหตุ : Rain fall = ปริมาณฝน (มม./เดือน) Distribution of rain fall = การกระจายตัวของฝน (วัน/เดือน)

ที่มา : ศูนย์อุตุนิยมวิทยา ภาคใต้ฝั่งตะวันออก (2556)

1.2 ข้อมูลดินปริมาณธาตุอาหารในดิน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินของแปลงทดลองสถานีวิจัยคลองหอยโข่ง (ตารางที่ 7) พบว่า ความเป็นกรดด่าง มีค่าเท่ากับ 7.47, ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก มีค่าเท่ากับ 4.16 มิลลิอีควิวาเลนท์/100 กรัม, อินทรีย์คาร์บอน มีค่าเท่ากับ 0.75 %, ไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 0.03 %, ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ มีค่าเท่ากับ 1.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียม มีค่าเท่ากับ 0.03 มิลลิอีควิวาเลนท์/100 กรัม จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว พบว่าสมบัติดินของแปลงทดลองมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณธาตุอาหารดิน โดยการให้ปุ๋ยในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 7 ปริมาณธาตุอาหารในดินของแปลงทดลองสถานีวิจัยคลองหอยโข่ง

Soil properties[2]	0 - 30 cm	Level[1]
pH (1:5 H_2O)	7.47	4
CEC (meq/100g)	4.16	1
Organic carbon (%)	0.75	1
Total N (%)	0.03	1
Available P (mg/kg)	1.8	1
K (meq/100g)	0.03	1

หมายเหตุ : [1] Level (1 = ต่ำมาก, 2 = ต่ำ, 3 = ปานกลาง และ 4 = สูง) เทียบกับตารางที่ 1

[2] pH = ปฏิกิริยากรด – ด่าง CEC = ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

Organic carbon = อินทรีย์คาร์บอน Total N = ไนโตรเจนทั้งหมด

Available P = ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ K = โพแทสเซียม

2. ลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นของปาล์มน้ำมัน

2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นของปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา 18 คู่ผสม (ตารางที่ 8) พบว่า อิทธิพลของต้นพ่อมีผลทำให้ลักษณะความยาวทางใบ, ขนาดลำต้น, พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งลำต้น มีความแตกต่างทางสถิติ ในขณะที่จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น, ความสูงลำต้น และน้ำหนักแห้งใบ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนอิทธิพลของต้นแม่ที่ผสมกับต้นพ่อเดียวกัน พบว่า ทุกลักษณะมีความแตกต่างทางสถิติ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของลักษณะต่างๆมีค่าอยู่ระหว่าง 6.83 – 29.27 % ลักษณะที่เกิดจากความแปรปรวนอันเนื่องมาจากต้นแม่ที่ผสมกับต้นพ่อเดียวกัน ได้แก่ จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น, ความสูงลำต้น และน้ำหนักแห้งใบ แสดงว่าลักษณะดังกล่าวมียีนที่แสดงผลแบบข่มมากกว่ายีนที่แสดงผลแบบบวก

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นของปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา

Characters[1]	Mean Square (MS)			
	between M[2]	between F/M[3]	Error	C.V.(%)[4]
df	1	16	90	
RL	14008.30**	3993.80**	1252.90	6.83
FI	21.33ns	13.39*	6.85	10.02
H	780.72ns	7842.99**	1698.35	10.75
TD	2175.76*	885.85**	368.54	7.97
LA	3.69*	3.71**	0.95	12.91
LDW	0.02ns	0.68**	0.19	15.40
VDW	124.84**	26.59*	14.39	29.27

หมายเหตุ : [1]RL = ความยาวทางใบ (ซม.), FI = จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น (ใบ/ปี), H = ความสูงลำต้น (ซม), TD = ขนาดลำต้น (ซม.), LA = พื้นที่ใบ (ตร.ม.), LDW = น้ำหนักแห้งใบ (กก.) และ VDW = น้ำหนักแห้งลำต้น (กก.)

[2]between M = อิทธิพลระหว่างต้นพ่อ

[3]between F/M = อิทธิพลระหว่างต้นแม่ที่ผสมกับต้นพ่อเดียวกัน

*,** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $p \leq 0.05$ และ $p \leq 0.01$ ตามลำดับ

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ [4]C.V.(%) = ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน

2.2 ค่าเฉลี่ยของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นของปาล์มน้ำมัน

ค่าเฉลี่ยของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นของปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา 18 คู่ผสม (ตารางที่ 9) พบว่า ความยาวทางใบ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 466.88 – 565.58 ซม. โดยคู่ผสมที่ 11 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด และคู่ผสมที่ 2 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 23.17 – 29.17 ใบ/ปี โดยคู่ผสมที่ 3 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด และคู่ผสมที่ 6 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด ความสูงลำต้น มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 323.06 – 431.67 ซม. ขนาดลำต้น มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 220.50 – 266.88 ซม. โดยคู่ผสมที่ 9 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด และคู่ผสมที่ 14 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด พื้นที่ใบ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5.75 – 8.73 ตร.ม. โดยคู่ผสมที่ 15 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด และคู่ผสมที่ 2 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด น้ำหนักแห้งใบ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.26 – 3.42 กก. โดยคู่ผสมที่ 11 มีค่าเฉลี่ยสูงสุด และคู่ผสมที่ 2 มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด น้ำหนักแห้งลำต้น มีค่าอยู่ระหว่าง 9.85 – 18.26 กก. โดยคู่ผสมที่ 9 มีค่าเฉลี่ยสูงสุด และคู่ผสมที่ 14 มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด

จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอราทั้ง 18 คู่ผสม สามารถเติบโตได้ดีในพื้นที่ปลูกที่มีสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ และมีการกระจายตัวของฝนและปริมาณฝนที่ต่ำด้วย

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นของปาล์มน้ำมัน

Progenies	Characters[1]						
	RL	FI	H	TD	LA	LDW	VDW
1	486.25 ab	26.50 abc	351.83	238.71 ab	6.27 ab	2.61 ab	15.88 ab
2	466.88 b	23.83 bc	323.06	222.58 b	5.75 b	2.26 b	11.77 ab
3	509.63 ab	29.17 a	369.08	247.63 ab	6.86 ab	2.62 ab	14.52 ab
4	512.00 ab	25.33 abc	381.92	251.88 ab	7.83 ab	2.75 ab	13.84 ab
5	490.83 ab	25.83 abc	382.21	250.83 ab	6.93 ab	2.51 ab	11.25 ab
6	540.58 ab	23.17 c	377.67	236.96 ab	8.29 ab	3.17 ab	14.05 ab
7	524.71 ab	25.50 abc	414.54	237.46 ab	8.15 ab	3.32 ab	12.52 ab
8	498.92 ab	26.00 abc	402.92	254.63 ab	7.91 ab	2.91 ab	14.23 ab
9	528.83 ab	25.83 abc	423.83	266.88 a	8.44 ab	3.11 ab	18.26 a
10	536.33 ab	28.00 abc	422.54	232.50 ab	7.51 ab	2.75 ab	12.60 ab
11	565.58 a	25.50 abc	431.67	234.83 ab	8.49 a	3.42 a	13.27 ab
12	558.46 ab	25.00 abc	394.79	230.58 ab	8.05 ab	3.05 ab	11.71 ab
13	524.33 ab	25.00 abc	426.17	224.29 ab	7.57 ab	2.55 ab	11.60 ab
14	514.13 ab	26.33 abc	396.42	220.50 b	7.27 ab	2.70 ab	9.85 b
15	553.38 ab	26.50 abc	393.33	258.58 ab	8.73 a	3.18 ab	16.47 ab
16	517.75 ab	26.83 abc	326.08	240.83 ab	7.39 ab	2.77 ab	10.13 b
17	519.67 ab	28.50 ab	356.67	244.25 ab	7.66 ab	2.77 ab	10.17 b
18	474.00 ab	27.50 abc	327.79	240.38 ab	7.09 ab	2.34 ab	11.19 ab

หมายเหตุ : [1]RL = ความยาวทางใบ (ซม.), FI = จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น (ใบ/ปี), H = ความสูงลำต้น (ซม), TD = ขนาดลำต้น (ซม.), LA = พื้นที่ใบ (ตร.ม.), LDW = น้ำหนักแห้งใบ (กก.) และ VDW = น้ำหนักแห้งลำต้น (กก.)

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

2.3 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น และผลผลิตทะลายสดของปาล์มน้ำมัน

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น และผลผลิตทะลายสด (ตารางที่ 10) พบว่า ลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นส่วนใหญ่มีสหสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลผลิตทะลายสด ได้แก่ ความยาวทางใบ, ความสูงลำต้น พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งใบ (r_p = 0.138, 0.264, 0.196 และ 0.219 ตามลำดับ) สอดคล้องกับสมทบ (2556) ได้รายงานว่าลักษณะความยาวทางใบ, ความสูงลำต้น และพื้นที่ใบ มีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับผลผลิตทะลายสด (r_p = 0.36, 0.42 และ 0.42 ตามลำดับ) ลักษณะที่มีสหสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำหนักแห้งใบ ได้แก่ ความยาวทางใบ, ความสูงลำต้น ขนาดลำต้น และพื้นที่ใบ (r_p = 0.768, 0.507, 0.412 และ 0.791 ตามลำดับ) โดยลักษณะดังกล่าวมีสหสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งกันและกัน(r_p อยู่ระหว่าง 0.252 ถึง 0.750) สอดคล้องกับรายงานของธีรภาพ และธีระ(2553) รายงานว่า ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางลำต้นในทางบวกเหล่านี้บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในกระบวนการสร้างอาหารจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบ และสะสมอาหารในส่วนต่างๆที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ของลักษณะการเจริญเติบโต และผลผลิตทะลายสด (ตารางที่ 10) พบว่า ทุกลักษณะมีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับน้ำหนักทะลายสด ได้แก่ ความยาวทางใบ, จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น, ความสูงต้น, ขนาดลำต้น, พื้นที่ใบ, น้ำหนักแห้งใบ และน้ำหนักแห้งลำต้น (r_g = 0.185, 0.289, 0.443, 0.193, 0.308, 0.322 และ 0.297 ตามลำดับ) แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของลักษณะดังกล่าวจะส่งผลให้ผลผลิตทะลายสดเพิ่มขึ้นด้วย ลักษณะที่มีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับน้ำหนักแห้งลำต้น ได้แก่ ความยาวทางใบ, ความสูงลำต้น, ขนาดลำต้น, พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งใบ (r_g = 0.089, 0.265, 0.753, 0.286 และ 0.353 ตามลำดับ) แสดงว่าการสะสมน้ำหนักแห้งลำต้นนั้นเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของลักษณะความยาวทางใบ, ความสูงลำต้น, ขนาดลำต้น, พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งใบ ซึ่งลักษณะดังกล่าวมีสหสัมพันธ์ในทางบวกซึ่งกันและกัน (r_g อยู่ระหว่าง 0.167 ถึง 0.915) ส่วนลักษณะขนาดลำต้นมีสหสัมพันธ์ในทางลบกับความยาวทางใบ และความสูงลำต้น (r_g = -0.107 และ -0.056 ตามลำดับ) และลักษณะจำนวนใบที่เพิ่มขึ้นมีสหสัมพันธ์ในทางลบกับลักษณะ ความยาวทางใบ และความสูงลำต้น (r_g = -0.136 และ -0.193 ตามลำดับ) แสดงว่าหากต้องการคัดเลือกเพื่อปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมันให้มีลักษณะทางใบสั้นและต้นเตี้ยอาจพิจารณาได้จากการสร้างจำนวนใบในรอบปี

ตารางที่ 10 สหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ (r_p, เหนือแนวทแยง) และสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (r_g, ใต้แนวทแยง) ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นและผลผลิตทะลายสดของปาล์มน้ำมัน

Characters[1]	RL	FI	H	TD	LA	LDW	VDW	FFB
RL	-	-0.066	0.494**	0.252**	0.750**	0.768**	0.318**	0.138**
FI	-0.136	-	-0.079	0.053	-0.083	-0.167	-0.036	0.147
H	0.753	-0.193	-	0.300**	0.566**	0.507**	0.387**	0.264**
TD	-0.107	0.478	-0.056	-	0.445**	0.412**	0.552**	-0.003
LA	0.871	-0.182	0.703	0.370	-	0.791**	0.372**	0.196*
LDW	0.867	-0.275	0.682	0.167	0.915	-	0.447**	0.219*
VDW	0.089	-0.128	0.265	0.753	0.286	0.353	-	0.120
FFB	0.185	0.289	0.443	0.193	0.308	0.322	0.297	-

หมายเหตุ : [1]RL = ความยาวทางใบ (ซม.), FI = จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น (ใบ/ปี), H = ความสูงลำต้น (ซม), TD = ขนาดลำต้น (ซม.), LA = พื้นที่ใบ (ตร.ม.), LDW = น้ำหนักแห้งใบ (กก.) และ VDW = น้ำหนักแห้งลำต้น (กก.)

2.4 การวิเคราะห์เส้นทางของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น

2.4.1 การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ และสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นไปยังลักษณะผลผลิตทะลายสด

การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ (ตารางที่ 11) พบว่า ลักษณะจำนวนใบที่เพิ่มขึ้น, ความสูงลำต้น, พื้นที่ใบ, น้ำหนักแห้งใบ และน้ำหนักแห้งลำต้น มีอิทธิพลทางตรงในทางบวกต่อผลผลิตทะลายสด มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางเท่ากับ 0.224, 0.231, 0.086, 0.312 และ 0.068 ตามลำดับ ส่วนลักษณะความยาวทางใบ และขนาดลำต้น มีอิทธิพลทางตรงในทางลบต่อลักษณะผลผลิตทะลายสด มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางเท่ากับ -0.229 และ -0.231 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น พบว่า ลักษณะความสูงลำต้น, พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งใบ มีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อผลผลิตทะลายสด ดังนั้นลักษณะที่ควรถูกพิจารณาเพื่อใช้ในการปรับปรุงลักษณะผลผลิตทะลายสด คือ ความสูงลำต้น, พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งใบ

การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (ตารางที่ 12) พบว่า ลักษณะจำนวนใบที่เพิ่มขึ้น, ความสูงลำต้น, ขนาดลำต้น และน้ำหนักแห้งใบ มีอิทธิพลทางตรงในทางบวกสูงต่อผลผลิตทะลายสด มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางเท่ากับ 0.252, 0.933, 0.513 และ 1.235 ตามลำดับ แต่ลักษณะความยาวทางใบ, พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งลำต้น มีอิทธิพลทางตรงในทางลบสูงต่อลักษณะผลผลิตทะลายสด มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางเท่ากับ -0.632, -0.955 และ -0.410 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น พบว่า ลักษณะจำนวนใบที่เพิ่มขึ้น, ความสูงลำต้น, ขนาดลำต้น และน้ำหนักแห้งใบ มีสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ในทางบวกสูงต่อผลผลิตทะลายสด ดังนั้นลักษณะที่ควรถูกพิจารณาเพื่อใช้ในการปรับปรุงลักษณะผลผลิตทะลายสด คือ จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น, ความสูงลำต้น, ขนาดลำต้น และน้ำหนักแห้งใบ

ตารางที่ 11 การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ (r_P)ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นไปยังลักษณะผลผลิตทะลายสดของปาล์มน้ำมัน

Characters[1]	Correlation coefficient	Direct effect	Indirect effect						
			RL	FI	H	TD	LA	LDW	VDW
RL	0.138**	-0.229	-	-0.015	0.114	-0.058	0.065	0.240	0.022
FI	0.147	0.224	0.015	-	-0.018	-0.012	-0.007	-0.052	-0.002
H	0.264**	0.231	-0.113	-0.018	-	-0.069	0.049	0.158	0.026
TD	-0.003	-0.231	-0.058	0.012	0.069	-	0.038	0.129	0.037
LA	0.196*	0.086	-0.171	-0.018	0.131	-0.103	-	0.247	0.025
LDW	0.219*	0.312	-0.176	-0.037	0.117	-0.095	0.068	-	0.030
VDW	0.120	0.068	-0.073	-0.008	0.089	-0.128	0.032	0.139	-

หมายเหตุ : [1]RL = ความยาวทางใบ (ซม.), FI = จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น (ใบ/ปี), H = ความสูงลำต้น (ซม), TD = ขนาดลำต้น (ซม.), LA = พื้นที่ใบ (ตร.ม.), LDW = น้ำหนักแห้งใบ (กก.) และ VDW = น้ำหนักแห้งลำต้น (กก.)

*,** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $p \leq 0.05$ และ $p \leq 0.01$ ตามลำดับ

ตารางที่ 12 การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (r_g)ของลักษณะการเจริญเติบโตไปยังลักษณะผลผลิตทะลายสดของปาล์มน้ำมัน

Characters[1]	Correlation coefficient	Direct effect	Indirect effect						
			RL	FI	H	TD	LA	LDW	VDW
RL	0.185	-0.632	-	-0.034	0.703	-0.055	-0.832	1.071	-0.037
FI	0.289	0.252	0.086	-	-0.180	0.245	0.174	-0.340	0.052
H	0.443	0.933	-0.476	-0.048	-	-0.029	-0.671	0.843	-0.109
TD	0.193	0.513	0.068	0.120	-0.053	-	-0.353	0.207	-0.309
LA	0.308	-0.955	-0.550	-0.046	0.656	0.190	-	1.131	-0.117
LDW	0.322	1.235	-0.548	-0.069	0.637	0.086	-0.874	-	-0.145
VDW	0.297	-0.410	-0.056	-0.032	0.247	0.386	-0.273	0.436	-

หมายเหตุ : [1]RL = ความยาวทางใบ (ซม.), FI = จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น (ใบ/ปี), H = ความสูงลำต้น (ซม), TD = ขนาดลำต้น (ซม.), LA = พื้นที่ใบ (ตร.ม.), LDW = น้ำหนักแห้งใบ (กก.) และ VDW = น้ำหนักแห้งลำต้น (กก.)

2.4.2 การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ และสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น ไปยังน้ำหนักแห้งใบ

การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ (ตารางที่ 13) พบว่า ลักษณะความยาวทางใบ, ความสูงลำต้น, ขนาดลำต้น และพื้นที่ใบ มีอิทธิพลทางตรงในทางบวกต่อน้ำหนักแห้งใบ มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง เท่ากับ 0.418, 0.030, 0.128 และ 0.395 ตามลำดับ ส่วนลักษณะจำนวนใบที่เพิ่มขึ้น มีอิทธิพลทางตรงในทางลบต่อน้ำหนักแห้งใบ มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางเท่ากับ -0.111 เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น พบว่า ลักษณะความยาวทางใบ, ความสูงลำต้น, ขนาดลำต้น และพื้นที่ใบ มีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อน้ำหนักแห้งใบ ดังนั้นลักษณะที่ควรถูกพิจารณาเพื่อใช้ในการปรับปรุงลักษณะน้ำหนักแห้งใบ คือ ความยาวทางใบ, ความสูงลำต้น, ขนาดลำต้น และพื้นที่ใบ

การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (ตารางที่ 14) พบว่า ลักษณะความยาวทางใบ และพื้นที่ใบ มีอิทธิพลทางตรงในทางบวกสูงต่อน้ำหนักแห้งใบมีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง เท่ากับ 0.161 และ 0.815 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ของลักษณะความยาวทางใบ และพื้นที่ใบ พบว่า มีสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ในทางบวกสูงต่อน้ำหนักแห้งใบเช่นกัน ส่วนลักษณะความสูงลำต้น และขนาดลำต้น มีอิทธิพลทางตรงในทางลบสูงต่อน้ำหนักแห้งลำต้น มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง เท่ากับ -0.031 และ -0.085 สาเหตุที่ลักษณะความสูงลำต้น และขนาดลำต้น ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ในทางบวกต่อน้ำหนักแห้งใบ แต่กลับมีอิทธิพลทางตรงในทางลบต่อน้ำหนักแห้งใบ เพราะตัวแปรส่วนใหญ่ที่มีอิทธิพลทางอ้อมที่ผ่านทางลักษณะความยาวทางใบ และพื้นที่ใบมีอิทธิพลในทางบวก เมื่อรวมอิทธิพลทั้งหมดที่ผ่านลักษณะความยาวทางใบ และพื้นที่ใบแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะความยาวทางใบ และพื้นที่ใบ ต่อน้ำหนักแห้งใบจึงเป็นไปในทางบวก ดังนั้นลักษณะที่ควรถูกพิจารณาเพื่อใช้ในการปรับปรุงลักษณะน้ำหนักแห้งใบ คือ ความยาวทางใบ และพื้นที่ใบ

ตารางที่ 13 การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ (r_P)ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นไปยังลักษณะน้ำหนักแห้งใบของปาล์มน้ำมัน

Characters[1]	Correlation coefficient	Direct effect	Indirect effect				
			RL	FI	H	TD	LA
RL	0.768**	0.418	-	0.007	0.015	0.032	0.296
FI	-0.167	-0.111	-0.027	-	-0.002	0.007	-0.033
H	0.507**	0.030	0.206	0.009	-	0.038	0.224
TD	0.412**	0.128	0.105	-0.006	0.009	-	0.176
LA	0.791**	0.395	0.313	0.009	0.017	0.057	-

หมายเหตุ : [1]RL = ความยาวทางใบ (ซม.), FI = จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น (ใบ/ปี), H = ความสูงลำต้น (ซม), TD = ขนาดลำต้น (ซม.) และ LA = พื้นที่ใบ (ตร.ม.)

** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $p \leq 0.01$

ตารางที่ 14 การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (r_g)ของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นไปยังลักษณะน้ำหนักแห้งใบของปาล์มน้ำมัน

Characters	Correlation coefficient	Direct effect	Indirect effect				
			RL	FI	H	TD	LA
RL	0.867	0.161	-	0.010	-0.023	0.009	0.710
FI	-0.275	-0.070	-0.022	-	0.006	-0.041	-0.148
H	0.682	-0.031	0.121	0.014	-	0.005	0.573
TD	0.167	-0.085	-0.017	-0.034	0.002	-	0.302
LA	0.915	0.815	0.140	0.013	-0.022	-0.032	-

หมายเหตุ : [1]RL = ความยาวทางใบ (ซม.), FI = จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น (ใบ/ปี), H = ความสูงลำต้น (ซม), TD = ขนาดลำต้น (ซม.) และ LA = พื้นที่ใบ (ตร.ม.)

2.5 การประมาณความแปรปรวนทางพันธุกรรมและอัตราพันธุกรรมของลักษณะการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน

ผลการประมาณความแปรปรวนอันเนื่องมาจากยีนแบบบวก (σ^2_A) แสดงผลแบบข่ม (σ^2_D) และความแปรปรวนทั้งหมด (σ^2_P) ของลักษณะต่างๆที่ทำการศึกษา (ตารางที่ 15) พบว่า ลักษณะที่มียีนที่แสดงผลแบบข่มมากกว่ายีนที่แสดงผลแบบบวก ได้แก่ ความยาวทางใบ, จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น, และขนาดลำต้น ซึ่งมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1085.45, 3.77 และ 249.32 ตามลำดับ แสดงว่าความแปรปรวนอันเนื่องมาจากยีนแบบข่ม (σ^2_D) มีความสำคัญมากกว่ายีนแบบบวก (σ^2_A) ในการกำหนดลักษณะเหล่านี้ สอดคล้องกับ ประภัสษร (2550) ได้รายงานว่า ลักษณะส่วนใหญ่ที่ถูกควบคุมด้วยยีนที่แสดงผลแบบข่มสูงกว่ายีนที่แสดงผลแบบบวก เช่น พื้นที่ใบ, น้ำหนักแห้งใบ, ความยาวใบ, ผลผลิตทะลายสด, จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย

ผลการประมาณอัตราพันธุกรรมแบบกว้างของลักษณะต่างๆ (ตารางที่ 15) พบว่า อัตราพันธุกรรมแบบกว้างมีค่าปานกลางถึงสูง โดยลักษณะความสูงลำต้นมีค่าสูงสุด h^2_{bs} = 70.69 เปอร์เซ็นต์

ค่าการประมาณอัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะต่างๆ (ตารางที่ 15) พบว่า ลักษณะส่วนใหญ่มีค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบต่ำถึงปานกลาง ได้แก่ ความยาวทางใบ, จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น, ขนาดลำต้น และ น้ำหนักแห้งลำต้น (h^2_{ns} เท่ากับ 24.08, 5.25, 13.39 และ 32.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ซึ่งมีสาเหตุมาจากสายพันธุ์พ่อและสายพันธุ์แม่มีการถ่ายทอดอัตราพันธุกรรมของการเจริญเติบโตต่ำแต่มีอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้องสูง สอดคล้องกับประภัสษร(2550) รายงานว่า อัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะการเจริญเติบโตและผลผลิตที่มีค่าอัตราพันธุกรรมอย่างแคบต่ำ ได้แก่ พื้นที่ใบ, น้ำหนักแห้งใบ, ความยาวใบ, จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 19.12, 15.73, 20.71 และ 0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งอัตราพันธุกรรมของลักษณะต่างๆ อาจแปรปรวนได้ตั้งแต่ต่ำถึงสูง ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของพันธุกรรมของเชื้อพันธุ์ สภาพแวดล้อม และปฏิกิริยาระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อม (Raffi *et al.,* 2002)

ตารางที่ 15 ความแปรปรวนทางพันธุกรรม และอัตราพันธุกรรมของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นของปาล์มน้ำมัน

Characters[1]	σ^2_A	σ^2_D	σ^2_G	σ^2_E	σ^2_P	h^2_{bs} (%)	h^2_{ns} (%)
RL	741.81	1085.45	1827.27	1252.9	3080.17	59.32	24.08
FI	0.59	3.77	4.36	6.85	11.21	38.87	5.25
H	N/A	4619.56	4096.43	1698.35	5794.78	70.69	N/A
TD	95.55	249.32	344.87	368.54	713.41	48.34	13.39
LA	N/A	1.84	1.84	0.95	2.79	65.81	N/A
LDW	N/A	0.38	0.33	0.19	0.52	63.56	N/A
VDW	7.28	0.86	8.13	14.39	22.53	36.10	32.31

หมายเหตุ : N/A = not applicable

σ^2_A = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากยีนแบบบวก σ^2_D = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากยีนแบบข่ม

σ^2_G = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากพันธุกรรม σ^2_E = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม

σ^2_P = ความแปรปรวนทั้งหมด h^2_{bs} = อัตราพันธุกรรมแบบกว้าง h^2_{ns} = อัตราพันธุกรรมแบบแคบ

[1]RL = ความยาวทางใบ (ซม.) FI = จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น (ใบ/ปี) H = ความสูงลำต้น (ซม)

TD = ขนาดลำต้น (ซม.) LA = พื้นที่ใบ (ตร.ม.) LDW = น้ำหนักแห้งใบ (กก.)

VDW = น้ำหนักแห้งลำต้น (กก.)

3. ลักษณะผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลายของปาล์มน้ำมัน

3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลายของปาล์มน้ำมัน

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะผลผลิตน้ำมัน (ตารางที่ 16) พบว่า อิทธิพลของต้นพ่อไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่อิทธิพลของต้นแม่ที่ผสมกับต้นพ่อเดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติ มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของลักษณะเท่ากับ 35.35 %

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะผลผลิตทะลาย (ตารางที่ 16) พบว่า อิทธิพลของต้นแม่ที่ผสมกับต้นพ่อเดียวกันมีความแตกต่างทางสถิติในทุกลักษณะได้แก่ ผลผลิตทะลายสด, จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย ส่วนอิทธิพลของต้นพ่อ พบว่า จำนวนทะลายและน้ำหนักทะลายเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ แต่ผลผลิตทะลายสดไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน อยู่ระหว่าง 12.28 – 24.80 % แสดงว่าลักษณะผลผลิตทะลายสดมียีนที่แสดงผลแบบข่มมากกว่ายีนที่แสดงผลแบบบวก

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะองค์ประกอบทะลาย (ตารางที่ 16) พบว่า อิทธิพลของต้นพ่อส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยลักษณะที่มีความแตกต่างทางสถิติ คือ เปอร์เซ็นต์เนื้อปาล์มสด/ผล, เปอร์เซ็นต์กะลา/ผล, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย ส่วนอิทธิพลของต้นแม่ที่ผสมกับต้นพ่อเดียวกัน พบว่า ลักษณะที่มีความแตกต่างทางสถิติ ได้แก่ น้ำหนักผลเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์กะลา/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง ส่วนลักษณะอื่นๆไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน อยู่ระหว่าง 5.65-32.62 % จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าลักษณะที่มีความแตกต่างทางสถิติเฉพาะอิทธิของต้นพ่อ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์เนื้อปาล์มสด/ผล, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย แสดงว่าลักษณะดังกล่าวมียีนที่แสดงผลแบบบวกสูง

ตารางที่ 16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลายของปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา

Characters[1]	Mean Square (MS)			
	between M[2]	between F/M[3]	Error	C.V.(%)[4]
df	1	16	36	
Oil yield	47.94^{ns}	409.00*	206.314	35.35
Bunch yield				
FFB	2008.24^{ns}	5143.50**	1337.60	24.80
BN	35.85*	16.70**	6.59	24.54
ABW	19.51*	18.65**	3.06	12.28
Bunch components				
AFW	4.56^{ns}	19.43*	8.21	18.16
AKW	0.12^{ns}	0.12^{ns}	0.08	28.93
%F/B	17.14^{ns}	26.24^{ns}	16.70	5.65
%K/B	1.16^{ns}	3.53^{ns}	2.38	32.62
%WM/F	49.98*	22.36^{ns}	11.91	3.96
%S/F	24.70**	7.41*	3.19	28.42
%K/F	4.37^{ns}	6.00^{ns}	4.48	32.38
%O/WM	386.83^{ns}	146.14^{ns}	94.05	21.89
%O/DM	45.69^{ns}	106.43*	53.71	11.13
%O/F	386.99*	135.18^{ns}	83.19	23.51
%O/B	242.91*	82.36^{ns}	47.67	24.52

หมายเหตุ : [1]FFB = ผลผลิตทะลาย (กก./ต้น/ปี) BN = จำนวนทะลาย (ทะลาย/ ปี) ABW = น้ำหนักทะลายเฉลี่ย (กก./ทะลาย)
AFW = น้ำหนักผลเฉลี่ย (กรัม) AKW = น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย (กรัม) F/B = ผล/ทะลาย
K/B = เนื้อในเมล็ด/ทะลาย WM/F = เนื้อปาล์มสด/ผล S/F = กะลา/ผล
K/F = เนื้อในเมล็ด/ผล O/WM = น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด O/DM = น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง
O/F = น้ำมัน/ผล O/B = น้ำมัน/ทะลาย
[2]between M = อิทธิพลระหว่างต้นพ่อ [3]between F/M = อิทธิพลระหว่างต้นแม่ที่ผสมกับต้นพ่อเดียวกัน
*,** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $p \leq 0.05$ และ $p \leq 0.01$ ตามลำดับ
ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ [4]C.V.(%) = ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน

3.2 ค่าเฉลี่ยของลักษณะผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลายของปาล์มน้ำมัน

3.2.1 ลักษณะผลผลิตน้ำมัน และลักษณะผลผลิตทะลาย

ค่าเฉลี่ยของลักษณะผลผลิตน้ำมันของแต่ละคู่ผสม (ตารางที่ 17) พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 20.55 - 60.85 กก./ต้น/ปี โดยคู่ผสมที่ 8 มีผลผลิตน้ำมันสูงที่สุด คือ 60.85 กก./ต้น/ปี รองลงมาคือ คู่ผสมที่ 12 และ17 มีผลผลิตน้ำมัน 55.65 และ 52.75 กก./ต้น/ปี ตามลำดับ ลักษณะผลผลิตทะลายสด พบว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 88.43 - 251.54 กก./ต้น/ปี โดยคู่ผสมที่ 8 ให้ผลผลิตทะลายสดสูงที่สุด คือ 251.54 กก./ต้น/ปี รองลงมาคือคู่ผสมที่ 10 และ 11 มีผลผลิตทะลายสด 195.93 และ 183.95 กก./ต้น/ปี ตามลำดับ จำนวนทะลาย มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5.50 - 15.00 ทะลาย/ปี โดยคู่ผสมที่ 10 มีจำนวนทะลายสูงที่สุด คือ 15.00 ทะลาย/ปี รองลงมาคือ คู่ผสมที่ 1 และ 18 มีจำนวนทะลาย 13.50 และ 13.00 ทะลาย/ปี ตามลำดับ และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 10.25 - 21.40 กก./ทะลาย โดยคู่ผสมที่ 8 มีน้ำหนักทะลายเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 21.40 กก./ทะลาย รองลงมาคือคู่ผสมที่ 5 และ 6 มีน้ำหนักทะลาย 16.30 และ 15.90 กก./ทะลาย ตามลำดับ

จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาลักษณะผลผลิตน้ำมัน และลักษณะผลผลิตทะลายของปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา 18 คู่ผสม ในทุกลักษณะ พบว่า คู่ผสมที่ 8 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดใน 3 ลักษณะได้แก่ ผลผลิตน้ำมัน, ผลผลิตทะลายสด และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย และเมื่อพิจารณาถึงลักษณะการเจริญเติบโต (ตารางที่ 9) พบว่า คู่ผสมที่ 8 มีค่าดัชนีทะลายสูงสุดเช่นกัน ดังนั้นอาจอธิบายได้ว่าลักษณะผลผลิตน้ำมัน, ผลผลิตทะลายสด และน้ำหนักทะลายเฉลี่ยมีสหสัมพันธ์ต่อดัชนีทะลาย

ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ยของลักษณะผลผลิตน้ำมันและผลผลิตทะลายของปาล์มน้ำมัน

Progenies	Oil Yield (kg/palm/year)	Bunch yield[1]		
		FFB (kg/palm/year)	BN (no./year)	ABW (kg/bunch)
1	43.30 ab	154.61 ab	13.50 ab	11.43 b
2	45.68 ab	127.88 ab	10.00 ab	12.66 b
3	23.33 ab	125.26 ab	9.00 ab	13.75 ab
4	43.40 ab	124.13 ab	10.67 ab	12.05 b
5	29.43 ab	89.48 b	5.50 b	16.30 ab
6	27.13 ab	88.43 b	5.50 b	15.90 ab
7	49.87 ab	156.10 ab	10.67 ab	14.62 ab
8	60.85 a	251.54 a	12.00 ab	21.40 a
9	51.19 ab	155.02 ab	10.00 ab	15.54 ab
10	43.78 ab	195.93 ab	15.00 a	13.09 ab
11	37.07 ab	183.95 ab	12.00 ab	15.29 ab
12	55.65 ab	172.76 ab	11.00 ab	15.67 ab
13	43.26 ab	124.37 ab	8.50 ab	14.66 ab
14	35.12 ab	126.26 ab	9.50 ab	13.28 ab
15	30.38 ab	148.06 ab	11.50 ab	12.89 ab
16	20.55 b	97.35 b	9.50 ab	10.25 b
17	52.75 ab	178.12 ab	11.50 ab	15.68 ab
18	38.67 ab	155.40 ab	13.00 ab	12.02 b

หมายเหตุ : Oil Yield = ผลผลิตน้ำมัน (กก./ต้น/ปี), [1]FFB = ผลผลิตทะลาย (กก./ต้น/ปี), BN = จำนวนทะลาย (ทะลาย/ ปี) และ ABW = น้ำหนักทะลายเฉลี่ย (กก./ทะลาย)

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

3.2.2 ลักษณะองค์ประกอบทะลาย

ค่าเฉลี่ยของลักษณะองค์ประกอบทะลายของแต่ละคู่ผสม (ตารางที่ 18) พบว่าลักษณะ เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 30.77 – 54.82 % และ 52.89 – 72.56 % ตามลำดับ โดยพบว่าคู่ผสมที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้งสูงที่สุด คือ 54.82 และ 72.56 % รองลงมาคือคู่ผสมที่ 9 และ 13 ส่วนเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 26.38 – 48.42 % และ 19.99 – 36.02 % ตามลำดับ โดยคู่ผสมที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลายสูงที่สุดเช่นกัน คือ 48.42 และ 36.02 % ตามลำดับ รองลงมาคือคู่ผสมที่ 9 และ 4 นอกจากนี้คู่ผสมที่ 9 ยังมีน้ำหนักผลเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์น้ำปาล์มสด/ผล สูงที่สุด น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.80 – 1.47 % โดยคู่ผสมที่ 15 มีน้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 1.14 กรัม รองลงมาคือคู่ผสมที่ 1 และ 10 มีน้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย 1.32 และ 1.20 กรัม ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ผล/ทะลายและเปอร์เซ็นต์กะลา/ผล มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 66.24 – 75.56 % และ 3.35 – 10.11 % ตามลำดับ โดยพบว่าคู่ผสมที่ 18 มีเปอร์เซ็นต์ผล/ทะลายและเปอร์เซ็นต์กะลา/ผลสูงที่สุด คือ 75.56 และ 10.11 % ตามลำดับ รองลงมาคือคู่ผสมที่ 14 และ 15 เปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ทะลาย และเปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ผล มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.83 – 6.43 % และ 3.98 – 8.81 % ตามลำดับ โดยพบว่าคู่ผสมที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ทะลาย และเปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ผลสูงที่สุด คือ 6.43 และ 8.81 % ตามลำดับ รองลงมาคือคู่ผสมที่ 15

ตารางที่ 18 ค่าเฉลี่ยของลักษณะองค์ประกอบทะลายของปาล์มน้ำมัน

Progenies	Bunch components[1]										
	AFW (g)	AKW (g)	%F/B	%K/B	%WM/F	%S/F	%K/F	%O/WM	%O/DM	%O/F	%O/B
1	15.79 [ab]	1.32	73.59	6.43	83.29	7.90 [ab]	8.81	45.70	66.33	38.23	28.21
2	17.17 [ab]	0.89	74.55	4.03	88.11	6.48 [ab]	5.40	54.82	72.56	48.42	36.02
3	15.25 [ab]	1.20	74.34	5.97	85.66	6.34 [ab]	8.00	30.77	52.89	26.38	19.99
4	17.36 [ab]	0.86	75.08	3.85	91.55	3.35 [b]	5.10	50.73	66.33	46.46	34.85
5	18.24 [ab]	0.86	70.96	3.48	89.48	5.71 [ab]	4.82	51.21	67.00	45.72	32.64
6	12.06 [b]	0.88	75.35	5.59	86.14	6.47 [ab]	7.39	47.35	66.89	40.78	30.72
7	11.64 [b]	0.84	73.17	5.58	86.50	5.87 [ab]	7.63	50.82	71.00	44.05	32.22
8	16.32 [ab]	0.83	68.26	3.50	90.76	4.11 [b]	5.13	39.76	66.44	35.85	24.42
9	20.78 [a]	0.84	70.66	2.83	91.78	4.23 [b]	3.98	51.56	71.44	47.32	33.46
10	16.02 [ab]	1.20	67.90	5.06	85.53	7.01 [ab]	7.46	38.74	65.11	33.33	22.99
11	11.78 [b]	0.80	68.34	4.69	85.98	7.16 [ab]	6.86	34.36	64.22	29.67	20.12
12	13.34 [ab]	0.83	72.58	4.46	86.09	7.64 [ab]	6.27	48.49	69.44	42.04	31.00
13	18.71 [ab]	0.88	73.89	3.58	90.48	4.64 [ab]	4.89	51.15	72.00	46.56	34.37
14	13.81 [ab]	0.93	75.53	5.18	86.04	7.10 [ab]	6.85	42.70	70.44	36.68	27.72
15	16.96 [ab]	1.47	73.04	6.36	83.00	8.28 [ab]	8.72	33.94	54.11	28.11	20.39
16	15.56 [ab]	0.94	66.24	4.08	88.66	5.17 [ab]	6.17	35.81	56.22	31.90	20.99
17	17.25 [ab]	1.17	72.73	5.08	87.51	5.52 [ab]	6.97	47.99	67.56	42.41	30.79
18	15.96 [ab]	1.13	75.56	5.40	82.67	10.11 [a]	7.22	41.38	65.22	34.33	26.01

หมายเหตุ : [1]AFW = น้ำหนักผลเฉลี่ย (กรัม), AKW = น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย (กรัม), F/B = ผล/ทะลาย, K/B = เนื้อในเมล็ด/ทะลาย, WM/F = เนื้อปาล์มสด/ผล, S/F = กะลา/ผล, K/F = เนื้อในเมล็ด/ผล O/WM = น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด, O/DM = น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง, O/F = น้ำมัน/ผล และ O/B = น้ำมัน/ทะลาย

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

3.3 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของลักษณะผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลายของปาล์มน้ำมัน

3.3.1 สหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ที่มีผลต่อลักษณะผลผลิตน้ำมัน

ลักษณะผลผลิตทะลายที่มีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลผลิตน้ำมัน (ตารางที่ 19) คือ ผลผลิตทะลายสด, จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_p) เท่ากับ 0.658, 0.415 และ 0.465 ตามลำดับ โดยผลผลิตทะลายสดมีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับจำนวนทะลายและน้ำหนักทะลายเฉลี่ย (r_p = 0.787 และ 0.447 ตามลำดับ) แต่จำนวนทะลายและน้ำหนักทะลายเฉลี่ยมีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ในทางลบต่อกัน (r_p = -0.181) แสดงว่าจำนวนทะลายและน้ำหนักทะลายเฉลี่ยเป็นอิสระต่อกันและมีอิทธิพลของการแข่งกันในการใช้สารอาหารซึ่งได้จากการสังเคราะห์แสงของใบที่ชดเชยกัน ความสัมพันธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาที่เคยรายงานมาก่อน (ธีระพงศ์ และคณะ, 2538; ธีระ และคณะ, 2544ก; อังคณา และคณะ, 2552; ธีรภาพ, 2552; วศะพงศ์, 2553; Obisesan and Fatunla, 1982; Okwuagwu *et al*., 2008; Okoye *et al*., 2009)

ลักษณะองค์ประกอบทะลายมีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลผลิตน้ำมัน (ตารางที่ 19) คือ เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_p) เท่ากับ 0.591, 0.592, 0.573 และ 0.551 ตามลำดับ แต่ลักษณะเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย มีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ในทางลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับลักษณะน้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย, เปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ทะลาย และเปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ผล (r_p อยู่ระหว่าง -0.327 - -0.552) ซึ่งทั้ง 3 ลักษณะ (น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย, เปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ทะลาย และเปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ผล) มีสหสัมพันธ์ในทางลบกับผลผลิตน้ำมันเช่นกัน

3.3.2 สหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ที่มีผลต่อลักษณะผลผลิตน้ำมัน

ลักษณะผลผลิตทะลายที่มีสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ในทางบวกสูงกับลักษณะผลผลิตน้ำมัน (ตารางที่ 19) คือ ผลผลิตทะลายสด, จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (r_g) เท่ากับ 0.877, 0.538 และ 0.577 ตามลำดับ โดยลักษณะผลผลิตทะลายสดมีสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ในทางบวกต่อกับจำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย (r_g) เท่ากับ 0.697 และ 0.556 ตามลำดับ แต่จำนวนทะลายและน้ำหนักทะลายเฉลี่ยมีสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ในทางลบ (r_g = -0.209) ส่วนลักษณะผลผลิตทะลายที่มีสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ในทางบวกกับลักษณะองค์ประกอบทะลาย คือ น้ำหนักทะลายเฉลี่ยมีสหสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์เนื้อปาล์มสด/ผล, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย (r_g อยู่ระหว่าง 0.059 - 0.611) จำนวนทะลายมีสหสัมพันธ์กับ น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย, เปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ทะลาย, เปอร์เซ็นต์กะลา/ผล และเปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ดต่อผล มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (r_g อยู่ระหว่าง 0.330 – 0.621) ผลผลิตทะลายสด มีสหสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์เนื้อปาล์มสด/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง (r_g) เท่ากับ 0.158 และ 0.246 ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 ลักษณะ (ผลผลิตทะลายสด, จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย) มีสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ในทางลบกับลักษณะองค์ประกอบทะลาย คือ น้ำหนักผลเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์ผล/ทะลาย (r_g) อยู่ระหว่าง -0.011 – -0.539

ลักษณะองค์ประกอบทะลายที่มีสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ในทางบวกกับลักษณะผลผลิตน้ำมัน (ตารางที่ 19) คือ น้ำหนักผลเฉลี่ย, เปอร์เซ็นต์เนื้อปาล์มสด/ผล, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (r_g) เท่ากับ 0.225, 0.467, 0.201, 0.774, 0.269 และ 0.196 ตามลำดับ ซึ่งลักษณะดังกล่าวมีสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ในทางบวกต่อกัน (r_g อยู่ระหว่าง 0.183 – 1.031) แต่เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย มีสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ในทางลบกับ น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย, เปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ทะลาย, เปอร์เซ็นต์กะลา/ผล และเปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ผล (r_g อยู่ระหว่าง -0.159 – -1.036) ส่วนเปอร์เซ็นต์เนื้อปาล์มสด/ผล มีสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ในทางลบกับ น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย, เปอร์เซ็นต์ผล/ทะลาย, เปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ทะลาย, เปอร์เซ็นต์กะลา/ผล และเปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ผล มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (r_g อยู่ระหว่าง -0.667 – 0.999)

ตารางที่ 19 สหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ (r_p, เหนือแนวทแยง) และสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (r_g, ใต้แนวทแยง) ของลักษณะผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลายของปาล์มน้ำมัน

Characters	Oil Yield[1]	Bunch yield[2]			Bunch component[3]										
		FFB	BN	ABW	AFW	AKW	%F/B	%K/B	%WM/F	%S/F	%K/F	%O/WM	%O/DM	%O/F	%O/B
Oil Yield	-	0.658**	0.415**	0.465**	0.122	-0.175	0.068	-0.215	0.205	-0.151	-0.217	0.591**	0.592**	0.573**	0.551**
FFB	0.877	-	0.787**	0.447**	0.006	0.216	-0.327*	0.112	-0.193	0.161	0.185	-0.161	0.021	-0.184	-0.233
BN	0.538	0.697	-	-0.181	0.032	0.364**	-0.269*	0.244	-0.366**	0.344**	0.313*	-0.260	-0.111	-0.302*	-0.330**
ABW	0.577	0.556	-0.209	-	-0.018	-0.211	-0.156	-0.214	0.226	-0.214	-0.193	0.165	0.195	0.188	0.144
AFW	0.225	-0.116	-0.106	-0.011	-	0.096	-0.051	-0.518**	0.507**	-0.391**	-0.518**	0.161	0.027	0.239	0.216
AKW	-0.512	-0.206	0.621	-0.857	0.268	-	-0.012	0.760**	-0.693**	0.462**	0.780**	-0.400**	-0.421**	-0.482**	-0.458**
%F/B	-0.346	-0.539	-0.221	-0.353	-0.053	0.693	-	0.196	-0.008	-0.013	0.029	0.267*	0.242	0.241	0.432**
%K/B	-0.658	-0.310	0.374	-0.728	-0.581	0.604	0.984	-	-0.877**	0.588**	0.985**	-0.381**	-0.327*	-0.501**	-0.436**
%WM/F	0.467	0.158	-0.401	0.611	0.486	-0.667	-0.879	-0.984	-	-0.897**	-0.898**	0.423**	0.341**	0.558**	0.521**
%S/F	-0.359	-0.118	0.330	-0.501	-0.372	0.719	0.851	0.976	-0.999	-	0.610**	-0.323*	-0.243	-0.448**	-0.417**
%K/F	-0.671	-0.233	0.534	-0.817	-0.701	0.563	0.926	0.991	-0.995	0.989	-	-0.434**	-0.368**	-0.552**	-0.517**
%O/WM	0.201	-0.339	-0.417	0.066	0.569	-0.708	0.666	-0.677	0.573	-0.388	-0.924	-	0.842**	0.987**	0.970**
%O/DM	0.774	0.246	-0.006	0.424	0.183	-1.036	0.225	-0.794	0.434	-0.159	-0.956	0.850	-	0.824**	0.819**
%O/F	0.269	-0.272	-0.422	0.144	0.610	-0.712	0.443	-0.764	0.679	-0.517	-0.985	0.991	0.830	-	0.978**
%O/B	0.196	-0.340	-0.414	0.059	0.503	-0.536	0.545	-0.509	0.461	-0.327	-0.713	1.031	0.799	0.996	-

หมายเหตุ : [1]Oil Yield = ผลผลิตน้ำมัน (กก./ต้น/ปี), [2]FFB = ผลผลิตทะลาย (กก./ต้น/ปี), BN = จำนวนทะลาย (ทะลาย/ ปี), ABW = น้ำหนักทะลายเฉลี่ย (กก./ทะลาย), [3] AFW = น้ำหนักผลเฉลี่ย (กรัม), AKW = น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย (กรัม), F/B = ผล/ทะลาย, K/B = เนื้อในเมล็ด/ทะลาย, WM/F = เนื้อปาล์มสด/ผล, S/F = กะลา/ผล, K/F = เนื้อในเมล็ด/ผล, O/WM = น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด, O/DM = น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง, O/F = น้ำมัน/ผล และ O/B = น้ำมัน/ทะลาย *,** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $p \leq 0.05$ และ $p \leq 0.01$ ตามลำดับ

3.4 การวิเคราะห์เส้นทางของลักษณะผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลายของปาล์มน้ำมัน

3.4.1 การวิเคราะห์เส้นทางของลักษณะผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลาย ไปยังผลผลิตน้ำมัน

1) การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์

ลักษณะผลผลิตทะลาย (ตารางที่ 20) พบว่า ผลผลิตทะลายสดมีอิทธิพลทางตรงสูงต่อลักษณะผลผลิตน้ำมัน มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางเท่ากับ 1.281 แต่จำนวนทะลายและน้ำหนักทะลายเฉลี่ย มีอิทธิพลทางตรงในทางลบต่อผลผลิตน้ำมัน มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางเท่ากับ -0.368 และ -0.269 ตามลำดับ ส่วนอิทธิพลทางอ้อมพบว่า ลักษณะจำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย มีอิทธิพลทางอ้อมผ่านทางผลผลิตทะลายไปยังผลผลิตน้ำมัน มีค่าอิทธิพลทางอ้อมเท่ากับ 1.009 และ 0.573 ตามลำดับ แต่ผลผลิตทะลายมีอิทธิพลทางอ้อมผ่านทางลักษณะองค์ประกอบทะลายไปยังผลผลิตน้ำมันต่ำ

ลักษณะองค์ประกอบทะลาย (ตารางที่ 20) พบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด มีอิทธิพลทางตรงสูงสุดต่อผลผลิตน้ำมัน มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางเท่ากับ 1.160 รองลงมาคือ เปอร์เซ็นต์ผล/ทะลาย, เปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง เท่ากับ 0.516, 0.316 และ 0.076 ตามลำดับ ส่วนอิทธิพลทางอ้อมพบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย มีอิทธิพลทางอ้อมผ่านทาง เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสดไปยังลักษณะผลผลิตน้ำมัน (ค่าอิทธิพลทางอ้อมอยู่ระหว่าง 0.977 – 0.145)

ลักษณะผลผลิตทะลายและองค์ประกอบทะลายที่มีอิทธิพลทางตรงต่อลักษณะผลผลิตน้ำมัน เมื่อพิจารณาคู่กับสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ พบว่า ผลผลิตทะลายสด และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด มีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลผลิตน้ำมัน (r_P = 0.658 และ 0.591 ตามลำดับ) ดังนั้นลักษณะที่ควรใช้พิจารณาในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำมันจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ ได้แก่ ผลผลิตทะลายสด และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด

ตารางที่ 20 การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ (r_p)ของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตไปยังลักษณะผลผลิตน้ำมัน

Characters[1]	Correlation coefficient	Direct effect	Indirect effect													
			FFB	BN	ABW	AFW	AKW	%F/B	%K/B	%WM/F	%S/F	%K/F	%O/WM	%O/DM	%O/F	%O/B
FFB	0.658**	1.281	-	-0.290	-0.120	0.000	-0.023	-0.169	-0.160	0.348	-0.169	0.058	-0.187	-0.005	-0.014	0.106
BN	0.415**	-0.368	1.009	-	0.049	0.000	-0.038	-0.139	-0.349	0.661	-0.360	0.099	-0.302	0.028	-0.023	0.150
ABW	0.465**	-0.269	0.573	0.066	-	0.000	0.022	-0.081	0.306	-0.409	0.224	-0.061	0.191	-0.049	0.014	-0.065
AFW	0.122	-0.014	0.008	-0.012	0.005	-	-0.010	-0.026	0.741	-0.915	0.410	-0.164	0.186	-0.007	0.018	-0.098
AKW	-0.175	-0.105	0.277	-0.134	0.057	-0.001	-	-0.006	-1.088	1.250	-0.484	0.246	-0.464	0.105	-0.037	0.209
%F/B	0.068	0.516	-0.419	0.099	0.042	0.001	0.001	-	-0.281	0.015	0.014	0.009	0.309	-0.060	0.018	-0.197
%K/B	-0.215	-1.431	0.143	-0.090	0.058	0.007	-0.080	0.101	-	1.583	-0.617	0.311	-0.442	0.081	-0.038	0.198
%WM/F	0.205	-1.805	-0.247	0.135	-0.061	-0.007	0.073	-0.004	1.255	-	0.940	-0.283	0.490	-0.085	0.042	-0.237
%S/F	-0.151	-1.048	0.206	-0.127	0.057	0.006	-0.048	-0.007	-0.842	1.618	-	0.192	-0.375	0.061	-0.034	0.190
%K/F	-0.217	0.316	0.237	-0.115	0.052	0.007	-0.082	0.015	-1.409	1.620	-0.639	-	-0.504	0.092	-0.042	0.235
%O/WM	0.591**	1.160	-0.206	0.096	-0.044	-0.002	0.042	0.138	0.545	-0.763	0.339	-0.137	-	-0.210	0.075	-0.441
%O/DM	0.592**	-0.249	0.027	0.041	-0.052	0.000	0.044	0.125	0.468	-0.615	0.255	-0.116	0.977	-	0.063	-0.373
%O/F	0.573**	0.076	-0.235	0.111	-0.051	-0.003	0.051	0.125	0.717	-1.007	0.470	-0.174	1.145	-0.205	-	-0.445
%O/B	0.551**	-0.455	-0.298	0.121	-0.039	-0.003	0.048	0.223	0.623	-0.940	0.438	-0.163	1.125	-0.204	0.074	-

หมายเหตุ : [1]FFB = ผลผลิตทะลาย (กก./ต้น/ปี), BN = จำนวนทะลาย (ทะลาย/ ปี), ABW = น้ำหนักทะลายเฉลี่ย (กก./ทะลาย), AFW = น้ำหนักผลเฉลี่ย (กรัม),AKW = น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย (กรัม), F/B = ผล/ทะลาย, K/B = เนื้อในเมล็ด/ทะลาย, WM/F = เนื้อปาล์มสด/ผล, S/F = กะลา/ผล, K/F = เนื้อในเมล็ด/ผล, O/WM = น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด,O/DM = น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง, O/F = น้ำมัน/ผล และ O/B = น้ำมัน/ทะลาย ** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $p \leq 0.01$

2) การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์

ลักษณะผลผลิตทะลาย (ตารางที่ 21) พบว่า จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ยมีอิทธิพลทางตรงสูงต่อลักษณะผลผลิตน้ำมัน มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง เท่ากับ 1.759 และ 1.289 ตามลำดับ แต่ผลผลิตทะลายมีอิทธิพลทางตรงในทางลบต่อผลผลิตน้ำมัน มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางเท่ากับ -1.202 ส่วนอิทธิพลทางอ้อมพบว่า ผลผลิตทะลายสด มีอิทธิพลทางอ้อมในทางบวกผ่านทาง จำนวนทะลาย, น้ำหนักทะลายเฉลี่ย, น้ำหนักผลเฉลี่ย, เปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ทะลาย, เปอร์เซ็นต์เนื้อปาล์มสด/ผล, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลายไปยังผลผลิตน้ำมัน

ลักษณะองค์ประกอบทะลาย (ตารางที่ 21) พบว่า เปอร์เซ็นต์เนื้อปาล์มสด/ผล มีอิทธิพลทางตรงสูงสุดต่อลักษณะผลผลิตน้ำมัน มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง เท่ากับ 5.058 รองลงมาคือ เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง เท่ากับ 4.482 ส่วนอิทธิพลทางอ้อม พบว่า ลักษณะต่างๆ ในองค์ประกอบทะลาย มีอิทธิพลทางอ้อมในทางบวก และทางลบผ่านทางลักษณะจำนวนทะลาย, น้ำหนักทะลายเฉลี่ย, เปอร์เซ็นต์เนื้อปาล์มสด/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด ไปยังผลผลิตน้ำมัน

ลักษณะผลผลิตทะลายและลักษณะองค์ประกอบทะลายที่มีอิทธิพลทางตรงต่อผลผลิตน้ำมัน เมื่อพิจารณาคู่กับสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ พบว่า จำนวนทะลาย, น้ำหนักทะลายเฉลี่ย ,เปอร์เซ็นต์เนื้อปาล์มสด/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด มีสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ในทางบวกสูงกับผลผลิตน้ำมัน (r_g = 0.538, 0.577, 0.467 และ 0.201 ตามลำดับ) ดังนั้นลักษณะที่ควรใช้พิจารณาในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำมันจากสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ ได้แก่ จำนวนทะลาย, น้ำหนักทะลายเฉลี่ย, เปอร์เซ็นต์เนื้อปาล์มสด/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด

ตารางที่ 21 การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (r_g) ของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตไปยังลักษณะผลผลิตน้ำมัน

Characters[1]	Correlation coefficient	Direct effect	Indirect effect													
			FFB	BN	ABW	AFW	AKW	%F/B	%K/B	%WM/F	%S/F	%K/F	%O/WM	%O/DM	%O/F	%O/B
FFB	0.877	-1.202	-	1.226	0.717	0.011	-0.049	-0.040	0.492	0.799	-0.328	-0.578	-1.520	0.063	1.278	0.008
BN	0.538	1.759	-0.838	-	-0.269	0.010	0.147	-0.016	-0.594	-2.028	0.918	1.325	-1.868	-0.002	1.985	0.010
ABW	0.577	1.289	-0.668	-0.367	-	0.001	-0.203	-0.026	1.155	3.090	-1.393	-2.027	0.297	0.109	-0.678	-0.001
AFW	0.225	-0.096	0.140	-0.186	-0.014	-	0.063	-0.004	0.921	2.458	-1.035	-1.739	2.551	0.047	-2.870	-0.012
AKW	-0.512	0.236	0.248	1.093	-1.104	-0.026	-	0.051	-0.958	-3.374	2.000	1.397	-3.173	-0.266	3.350	0.012
%F/B	-0.346	0.074	0.649	-0.389	-0.455	0.005	0.164	-	-1.561	-4.446	2.367	2.298	2.986	0.058	-2.083	-0.013
%K/B	-0.658	-1.586	0.373	0.658	-0.938	0.056	0.143	0.073	-	-4.977	2.715	2.459	-3.035	-0.204	3.595	0.012
%WM/F	0.467	5.058	-0.190	-0.705	0.787	-0.047	-0.158	-0.065	1.561	-	-2.779	-2.469	2.569	0.111	-3.197	-0.011
%S/F	-0.359	2.781	0.142	0.580	-0.646	0.036	0.170	0.063	-1.548	-5.053	-	2.454	-1.739	-0.041	2.434	0.008
%K/F	-0.671	2.481	0.280	0.939	-1.053	0.067	0.133	0.069	-1.572	-5.033	2.751	-	-4.141	-0.246		0.017
%O/WM	0.201	4.482	0.408	-0.733	0.085	-0.055	-0.167	0.049	1.074	2.899	-1.079	-2.293	-	0.218	-4.665	-0.024
%O/DM	0.774	0.257	-0.295	-0.010	0.547	-0.018	-0.245	0.017	1.259	2.194	-0.443	-2.372	3.811	-	-3.908	-0.019
%O/F	0.269	-4.706	0.327	-0.742	0.186	-0.058	-0.168	0.033	1.212	3.436	-1.438	-2.445	4.443	0.213	-	-0.023
%O/B	0.196	-0.023	0.408	-0.727	0.076	-0.048	-0.127	0.040	0.807	2.330	-0.910	-1.769	4.619	0.205	-4.686	-

หมายเหตุ : [1]FFB = ผลผลิตทะลาย (กก./ต้น/ปี), BN = จำนวนทะลาย (ทะลาย/ ปี), ABW = น้ำหนักทะลายเฉลี่ย (กก./ทะลาย), AFW = น้ำหนักผลเฉลี่ย (กรัม),AKW = น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย (กรัม), F/B = ผล/ทะลาย, K/B = เนื้อในเมล็ด/ทะลาย, WM/F = เนื้อปาล์มสด/ผล, S/F = กะลา/ผล, K/F = เนื้อในเมล็ด/ผล, O/WM = น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด,O/DM = น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง, O/F = น้ำมัน/ผล และ O/B = น้ำมัน/ทะลาย

3.4.2 การวิเคราะห์เส้นทางของลักษณะผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลาย ไปยังผลผลิตทะลาย

1) การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์

ลักษณะผลผลิตทะลาย (ตารางที่ 22) พบว่า จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย มีอิทธิพลทางตรงสูงต่อผลผลิตทะลาย มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง เท่ากับ 0.884 และ 0.604 ตามลำดับ ซึ่งจำนวนทะลายมีอิทธิพลทางอ้อมในทางลบต่อผลผลิตทะลาย ผ่านทางน้ำหนักทะลายเฉลี่ย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ยมีอิทธิพลทางอ้อมในทางลบต่อผลผลิตทะลาย ผ่านทางจำนวนทะลาย โดยทั้ง 2 ลักษณะ (จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย) มีอิทธิพลทางอ้อมผ่านทางลักษณะองค์ประกอบทะลายต่ำ

ลักษณะองค์ประกอบทะลาย (ตารางที่ 22) พบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด มีอิทธิพลทางตรงสูงสุดต่อผลผลิตทะลาย มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง เท่ากับ 0.145 รองลงมาคือ เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางเท่ากับ 0.103

ลักษณะผลผลิตทะลายและลักษณะองค์ประกอบทะลายที่มีอิทธิพลทางตรงต่อผลผลิตทะลาย เมื่อพิจารณาคู่กับสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ พบว่า จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย มีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลผลิตทะลาย (r_p = 0.787 และ 0.447 ตามลำดับ) ส่วนลักษณะองค์ประกอบทะลายมีสหสัมพันธ์กับผลผลิตทะลายต่ำมาก ดังนั้นลักษณะที่ควรใช้พิจารณาในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิตทะลายจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ ได้แก่ จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย

ตารางที่ 22 การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์ (r_p) ของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตไปยังลักษณะผลผลิตละลายสด

Characters[1]	Correlation coefficient	Direct effect	Indirect effect												
			BN	ABW	AFW	AKW	%F/B	%K/B	%WM/F	%S/F	%K/F	%O/WM	%O/DM	%O/F	%O/B
BN	0.787**	0.884	-	-0.109	-0.001	0.023	-0.014	0.000	1.168	-0.637	-0.574	-0.038	-0.011	0.033	0.063
ABW	0.447**	0.604	-0.160	-	0.001	-0.013	-0.008	0.000	-0.722	0.396	0.354	0.024	0.020	-0.021	-0.027
AFW	0.006	-0.031	0.028	-0.011	-	0.006	-0.003	0.000	-1.618	0.725	0.951	0.023	0.003	-0.026	-0.041
AKW	0.216	0.064	0.322	-0.128	-0.003	-	-0.001	0.001	2.211	-0.856	-1.432	-0.058	-0.043	0.053	0.087
%F/B	-0.327*	0.051	-0.238	-0.094	0.002	-0.001	-	0.000	0.027	0.024	-0.052	0.039	0.025	-0.027	-0.082
%K/B	0.112	0.001	0.215	-0.129	0.016	0.048	0.010	-	2.799	-1.090	-1.808	-0.055	-0.034	0.055	0.083
%WM/F	-0.193	-3.190	-0.324	0.137	-0.016	-0.044	0.000	-0.001	-	1.662	1.648	0.061	0.035	-0.062	-0.099
%S/F	0.161	-1.854	0.304	-0.129	0.012	0.029	-0.001	0.001	2.860	-	-1.119	-0.047	-0.025	0.050	0.079
%K/F	0.185	-1.836	0.276	-0.117	0.016	0.050	0.001	0.001	2.864	-1.130	-	-0.063	-0.038	0.061	0.098
%O/WM	-0.161	0.145	-0.230	0.100	-0.005	-0.025	0.014	0.000	-1.348	0.599	0.797	-	0.087	-0.109	-0.185
%O/DM	0.021	0.103	-0.098	0.118	-0.001	-0.027	0.012	0.000	-1.088	0.450	0.675	0.122	-	-0.091	-0.156
%O/F	-0.184	-0.111	-0.267	0.114	-0.008	-0.031	0.012	0.000	-1.780	0.831	1.014	0.143	0.085	-	-0.186
%O/B	-0.233	-0.190	-0.292	0.087	-0.007	-0.029	0.022	0.000	-1.662	0.774	0.949	0.141	0.084	-0.108	-

หมายเหตุ : [1]BN = จำนวนทะลาย (ทะลาย/ ปี), ABW = น้ำหนักทะลายเฉลี่ย (กก./ทะลาย), AFW = น้ำหนักผลเฉลี่ย (กรัม), AKW = น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย (กรัม), F/B = ผล/ทะลาย, K/B = เนื้อในเมล็ด/ทะลาย, WM/F = เนื้อปาล์มสด/ผล, S/F = กะลา/ผล, K/F = เนื้อในเมล็ด/ผล, O/WM = น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด,O/DM = น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง, O/F = น้ำมัน/ผล และ O/B = น้ำมัน/ทะลาย

*,** = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $p \leq 0.05$ และ $p \leq 0.01$ ตามลำดับ

2) การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์

ลักษณะผลผลิตทะลาย (ตารางที่ 23) พบว่า จำนวนทะลายและน้ำหนักทะลายเฉลี่ยมีอิทธิพลทางตรงสูงต่อผลผลิตทะลาย มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง เท่ากับ 0.748 และ 0.587 ตามลำดับ ส่วนอิทธิพลทางอ้อม พบว่า จำนวนทะลายและน้ำหนักทะลายมีอิทธิพลทางอ้อมในทางลบซึ่งกันและกัน โดยลักษณะดังกล่าว มีอิทธิพลทางอ้อมในทางบวก และทางลบผ่านทางลักษณะองค์ประกอบทะลาย ได้แก่ น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย, เปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ทะลาย, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย ไปยังผลผลิตทะลาย

ลักษณะองค์ประกอบทะลาย (ตารางที่ 23) พบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย มีอิทธิพลทางตรงสูงสุดต่อผลผลิตทะลาย มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางเท่ากับ 1.315 รองลงมาคือ เปอร์เซ็นต์ผล/ทะลาย มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง เท่ากับ 1.263

ลักษณะผลผลิตทะลายและลักษณะองค์ประกอบทะลายที่มีอิทธิพลทางตรงต่อผลผลิตทะลาย เมื่อพิจารณาคู่กับสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ พบว่า จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย มีสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ในทางบวกสูงกับผลผลิตทะลาย (r_g = 0.697 และ 0.556 ตามลำดับ) ส่วนลักษณะองค์ประกอบทะลายมีสหสัมพันธ์กับผลผลิตทะลายต่ำมาก ดังนั้น ลักษณะที่ควรใช้พิจารณาในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิตทะลายจากสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ ได้แก่ จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย

ตารางที่ 23 การวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ (r_g)ของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตไปยังลักษณะผลผลิตละลายสด

Characters[1]	Correlation coefficient	Direct effect	Indirect effect												
			BN	ABW	AFW	AKW	%F/B	%K/B	%WM/F	%S/F	%K/F	%O/WM	%O/DM	%O/F	%O/B
BN	0.697	0.748	-	-0.123	0.013	0.114	0.123	0.473	0.364	-0.217	-0.840	-0.141	-0.001	0.728	-0.544
ABW	0.556	0.587	-0.156	-	0.001	-0.158	0.196	-0.920	-0.555	0.329	1.286	0.022	0.094	-0.249	0.078
AFW	-0.116	-0.123	-0.079	-0.007	-	0.049	0.030	-0.734	-0.441	0.244	1.103	0.193	0.041	-1.052	0.661
AKW	-0.206	0.184	0.464	-0.503	-0.033	-	-0.384	0.763	0.606	-0.472	-0.886	-0.240	-0.230	1.229	-0.704
%F/B	-0.539	-0.555	-0.166	-0.207	0.007	0.128	-	1.243	0.798	-0.558	-1.457	0.225	0.050	-0.764	0.717
%K/B	-0.310	1.263	0.280	-0.428	0.072	0.111	-0.546	-	0.894	-0.640	-1.560	-0.229	-0.176	1.318	-0.669
%WM/F	0.158	-0.909	-0.300	0.359	-0.060	-0.123	0.488	-1.243	-	0.656	1.566	0.194	0.096	-1.172	0.606
%S/F	-0.118	-0.656	0.247	-0.294	0.046	0.132	-0.472	1.233	0.908	-	-1.557	-0.131	-0.035	0.892	-0.430
%K/F	-0.233	-1.574	0.399	-0.480	0.086	0.104	-0.514	1.252	0.904	-0.649	-	-0.313	-0.212	1.700	-0.937
%O/WM	-0.339	0.338	-0.312	0.039	-0.070	-0.130	-0.370	-0.856	-0.521	0.255	1.454	-	0.189	-1.711	1.355
%O/DM	0.246	0.222	-0.004	0.249	-0.023	-0.191	-0.125	-1.003	-0.394	0.105	1.505	0.288	-	-1.433	1.050
%O/F	-0.272	-1.726	-0.315	0.085	-0.075	-0.131	-0.246	-0.965	-0.617	0.339	1.551	0.335	0.184	-	1.309
%O/B	-0.340	1.315	-0.309	0.035	-0.062	-0.099	-0.303	-0.643	-0.419	0.215	1.122	0.349	0.177	-1.718	-

หมายเหตุ : [1]BN = จำนวนทะลาย (ทะลาย/ ปี), ABW = น้ำหนักทะลายเฉลี่ย (กก./ทะลาย), AFW = น้ำหนักผลเฉลี่ย (กรัม),AKW = น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย (กรัม), F/B = ผล/ทะลาย, K/B = เนื้อในเมล็ด/ทะลาย, WM/F = เนื้อปาล์มสด/ผล, S/F = กะลา/ผล, K/F = เนื้อในเมล็ด/ผล, O/WM = น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด,O/DM = น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง, O/F = น้ำมัน/ผล และ O/B = น้ำมัน/ทะลาย

3.5 การประมาณความแปรปรวนทางพันธุกรรม และอัตราพันธุกรรมของลักษณะผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลาย

ผลการประมาณความแปรปรวนอันเนื่องมาจากยีนแบบบวก (σ^2_A) แสดงผลแบบข่ม (σ^2_D) และความแปรปรวนทั้งหมด (σ^2_P) ของลักษณะต่างๆที่ทำการศึกษา (ตารางที่ 24) พบว่า ทุกลักษณะมียีนที่แสดงผลแบบข่มมากกว่ายีนที่แสดงผลแบบบวก ยกเว้นลักษณะเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย แสดงว่าความแปรปรวนดังกล่าวได้รับอิทธิพลมาจากพันธุกรรมของต้นพ่อพันธุ์

ผลการประมาณอัตราพันธุกรรมแบบกว้างของลักษณะต่างๆ (ตารางที่ 24) พบว่า ลักษณะผลผลิตทะลาย, จำนวนทะลาย, น้ำหนักทะลายเฉลี่ย, น้ำหนักผลเฉลี่ย, น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย, เปอร์เซ็นต์ผล/ทะลาย, เปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ทะลาย, เปอร์เซ็นต์เนื้อปาล์มสด/ผล, เปอร์เซ็นต์กะลา/ผล, เปอร์เซ็นต์เนื้อในเมล็ด/ผล, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด,เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย มีอัตราพันธุกรรมแบบกว้างระดับปานกลางถึงสูง h^2_{bs} อยู่ระหว่าง 31.13 - 87.17% โดยลักษณะผลผลิตน้ำมันมีอัตราพันธุกรรมสูง h^2_{bs} = 56.71 % ลักษณะน้ำหนักทะลายเฉลี่ยมีค่าสูงสุด h^2_{bs} = 87.17 % รองลงมาได้แก่ ผลผลิตทะลายสด และจำนวนทะลาย เท่ากับ 79.14 และ 67.16 % ตามลำดับ) สอดคล้องกับ วศะพงศ์ (2553) ได้รายงานว่า อัตราพันธุกรรมแบบกว้างของลักษณะผลผลิตน้ำมันผลผลิตทะลายสด และจำนวนทะลาย มีค่าสูง h^2_{bs} = 59.34, 72.29 และ 57.11 % ตามลำดับ

ผลการประมาณอัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะต่างๆ (ตารางที่ 24) พบว่า ลักษณะจำนวนทะลาย, น้ำหนักทะลายเฉลี่ย, น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย, เปอร์เซ็นต์เนื้อปาล์มสด/ผล, เปอร์เซ็นต์กะลา/ผล, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย มีค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบต่ำ h^2_{ns} อยู่ระหว่าง 0.27 – 29.07% โดยลักษณะเปอร์เซ็นต์กะลา/ผล มีค่าสูงสุด h^2_{ns} = 29.07 % รองลงมาได้แก่ เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล เท่ากับ 25.32 และ 24.46 % ตามลำดับ) ซึ่งมีสาเหตุมาจากสายพันธุ์พ่อและสายพันธุ์แม่มีการถ่ายทอดอัตราพันธุกรรมของการเจริญเติบโตต่ำ Corley และ Tinker (2003) รายงานว่า อัตราพันธุกรรมของลักษณะเชิงปริมาณในปาล์มน้ำมัน เช่น ผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบผลผลิต โดยทั่วไปมีค่าต่ำเนื่องจากลักษณะดังกล่าวมียีนควบคุมจำนวนมาก และมีอิทธิพลของสภาพแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้องสูง

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้างและแบบแคบ พบว่า ค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้างสูงแต่มีอัตราพันธุกรรมแบบแคบต่ำมาก แสดงว่าลักษณะนั้นอาจมีการแสดงออกของยีนแบบเด่นสูงหรือมีความแปรปรวนทางพันธุกรรมแบบไม่เป็นผลบวกสูง (non-additive genetic variance) ดังนั้นการพัฒนาพันธุ์เพื่อปรับปรุงลักษณะดังกล่าวอาจต้องมุ่งเน้นในการพัฒนาเป็นพันธุ์ลูกผสม (ธีระ, 2554)

ตารางที่ 24 ความแปรปรวนทางพันธุกรรม และอัตราพันธุกรรมของลักษณะผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลายของปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา

Characters	σ^2_A	σ^2_D	σ^2_G	σ^2_E	σ^2_P	h^2_{bs} (%)	h^2_{ns} (%)
Oil Yield[1]	N/A	323.74	270.25	206.31	476.56	56.71	N/A
Bunch yield[2]							
FFB	N/A	5539.02	5074.53	1337.60	6412.13	79.14	N/A
NB	2.84	10.64	13.48	6.59	20.07	67.16	14.13
ABW	0.13	20.66	20.79	3.06	23.85	87.17	0.53
Bunch components[3]							
AFW	N/A	17.16	14.96	8.21	23.17	64.57	N/A
AKW	0.00	0.05	0.05	0.08	0.13	38.21	0.27
%F/B	N/A	14.08	12.73	16.70	29.42	43.26	N/A
%K/B	N/A	1.88	1.53	2.38	3.91	39.11	N/A
%WM/F	4.09	9.84	13.93	11.91	25.84	53.93	15.84
%S/F	2.56	3.06	5.62	3.19	8.81	63.82	29.07
%K/F	N/A	2.27	2.03	4.48	6.51	31.13	N/A
%O/WM	35.66	33.79	69.45	94.05	163.50	42.48	21.81
%O/DM	N/A	79.30	70.30	53.71	124.01	56.69	N/A
%O/F	37.31	32.01	69.32	83.19	152.51	45.45	24.46
%O/B	23.78	22.47	46.26	47.67	93.93	49.25	25.32

หมายเหตุ : N/A = not applicable

σ^2_A = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากยีนแบบบวก σ^2_D = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากยีนแบบข่ม

σ^2_G = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากพันธุกรรม σ^2_E = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม

σ^2_P = ความแปรปรวนทั้งหมด h^2_{bs} = อัตราพันธุกรรมแบบกว้าง h^2_{ns} = อัตราพันธุกรรมแบบแคบ

[1]Oil yield = ผลผลิตน้ำมัน (กก./ต้น/ปี), [2]FFB = ผลผลิตทะลาย (กก./ต้น/ปี), BN = จำนวนทะลาย (ทะลาย/ ปี), ABW = น้ำหนักทะลายเฉลี่ย (กก./ทะลาย), [3]AFW = น้ำหนักผลเฉลี่ย (กรัม), AKW = น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย (กรัม), F/B = ผล/ทะลาย, K/B = เนื้อในเมล็ด/ทะลาย, WM/F = เนื้อปาล์มสด/ผล, S/F = กะลา/ผล, K/F = เนื้อในเมล็ด/ผล, O/WM = น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด, O/DM = น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง, O/F = น้ำมัน/ผล O/B = น้ำมัน/ทะลาย

บทที่ 4

สรุป

1. ความแปรปรวนของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น และผลผลิต

อิทธิพลของต้นพ่อ มีผลต่อลักษณะความยาวทางใบ, ขนาดลำต้น, พื้นที่ใบ, น้ำหนักแห้งลำต้น, จำนวนทะลาย, น้ำหนักทะลายเฉลี่ย, เปอร์เซ็นต์เนื้อปาล์มสด/ผล, เปอร์เซ็นต์กะลา/ผล, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย

อิทธิพลของต้นแม่ที่ผสมกับต้นพ่อเดียวกัน มีผลต่อลักษณะ ความยาวทางใบ, จำนวนใบที่เพิ่มขึ้น, ความสูงลำต้น, ขนาดลำต้น, พื้นที่ใบ, น้ำหนักแห้งใบ, น้ำหนักแห้งลำต้น, ผลผลิตน้ำมัน, ผลผลิตทะลายสด, จำนวนทะลาย, น้ำหนักทะลายเฉลี่ย, น้ำหนักผลเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์กะลา/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง

2. สหสัมพันธ์ และการวิเคราะห์เส้นทางระหว่างลักษณะต่าง ๆ

2.1 ลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น

ลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น ที่มีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์และจีโนไทป์ในทางบวกกับลักษณะผลผลิตทะลายสด ได้แก่ ความยาวทางใบ, ความสูงลำต้น, พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งใบ เมื่อวิเคราะห์เส้นทางพบว่า ลักษณะความสูงลำต้น และน้ำหนักแห้งใบ มีอิทธิพลทางตรงในทางบวกต่อผลผลิตทะลายสดจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์และจีโนไทป์ นอกจากนี้ลักษณะความสูงลำต้น ยังมีอิทธิพลทางอ้อมผ่านทางน้ำหนักแห้งใบไปยังผลผลิตทะลายสด ดังนั้นลักษณะที่ควรถูกพิจารณาเพื่อใช้ในการปรับปรุงลักษณะผลผลิตทะลายสด คือ ความสูงลำต้น และน้ำหนักแห้งใบ

ลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น ที่มีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์และจีโนไทป์ในทางบวกกับลักษณะน้ำหนักแห้งใบ ได้แก่ ความยาวทางใบ, ความสูงลำต้น, ขนาดลำต้น และพื้นที่ใบ เมื่อวิเคราะห์เส้นทางพบว่า ลักษณะความยาวทางใบ และพื้นที่ใบ มีอิทธิพลทางตรงในทางบวกต่อน้ำหนักแห้งใบจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์และจีโนไทป์ ดังนั้นลักษณะที่ควรถูกพิจารณาเพื่อใช้ในการปรับปรุงลักษณะน้ำหนักแห้งใบ คือ ความยาวทางใบ และพื้นที่ใบ

2.2 ลักษณะผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลายของปาล์มน้ำมัน

ลักษณะผลผลิตทะลายและองค์ประกอบทะลาย ที่มีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์และจีโนไทป์ในทางบวกกับผลผลิตน้ำมัน คือ ผลผลิตทะลายสด, จำนวนทะลาย, น้ำหนักทะลายเฉลี่ย, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มแห้ง, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย เมื่อวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์และจีโนไทป์ไปยังผลผลิตน้ำมัน พบว่า ลักษณะผลผลิตทะลายสด มีอิทธิพลทางตรงในทางบวกสูงต่อผลผลิตน้ำมันจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์, ลักษณะจำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย มีอิทธิพลทางตรงสูงในทางบวกสูงต่อลักษณะผลผลิตน้ำมันจากสหสัมพันธ์ทางจีโนไทป์ และลักษณะเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด มีอิทธิพลทางตรงในทางบวกสูงสุดต่อผลผลิตน้ำมันจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์และจีโนไทป์ ดังนั้นลักษณะที่ควรถูกพิจารณาเพื่อใช้ในการปรับปรุงลักษณะผลผลิตน้ำมัน คือ ผลผลิตทะลายสด, จำนวนทะลาย, น้ำหนักทะลายเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด

ลักษณะผลผลิตทะลายและองค์ประกอบทะลาย ที่มีสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์และจีโนไทป์ในทางบวกกับผลผลิตทะลายสด คือ จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย ส่วนลักษณะองค์ประกอบทะลายมีสหสัมพันธ์กับผลผลิตทะลายต่ำมาก เมื่อวิเคราะห์เส้นทางจากสหสัมพันธ์ทางฟีโนไทป์และทางจีโนไทป์ของลักษณะผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลายไปยังผลผลิตทะลายสด พบว่า ลักษณะที่มีอิทธิพลทางตรงในทางบวกที่ส่งผลต่อผลผลิตทะลาย คือ จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย ดังนั้นลักษณะที่ควรถูกพิจารณาเพื่อใช้ในการปรับปรุงลักษณะผลผลิตทะลายสด คือ จำนวนทะลาย และน้ำหนักทะลายเฉลี่ย

3. การประมาณความแปรปรวนทางพันธุกรรม และอัตราพันธุกรรม

การประมาณความแปรปรวนทางพันธุกรรม อัตราพันธุกรรมแบบกว้าง และอัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น ผลผลิตน้ำมัน ผลผลิตทะลาย และองค์ประกอบทะลายของปาล์มน้ำมัน พบว่า ลักษณะโดยส่วนใหญ่มียีนที่แสดงผลแบบข่มมากกว่ายีนที่แสดงผลแบบบวก ยกเว้นลักษณะน้ำหนักแห้งลำต้น, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/เนื้อปาล์มสด, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ผล และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลาย ลักษณะอัตราพันธุกรรมแบบกว้าง พบว่า มีค่าปานกลางถึงสูง โดยลักษณะความสูงลำต้น และน้ำหนักทะลายเฉลี่ยมีค่าสูงสุด ลักษณะอัตราพันธุกรรมแบบแคบ พบว่า โดยส่วนใหญ่มีค่าต่ำถึงปานกลาง โดยลักษณะน้ำหนักแห้งลำต้น และเปอร์เซ็นต์กะลา/ผลมีค่าสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

โครงการมหาวิทยาลัยไซเบอร์ไทย. 2557. วาเรียนซ์ทางพันธุกรรม (genetic variance). เข้าถึงได้จาก : http://goo.gl/pS7ZKi (เข้าถึงเมื่อ 10 พฤษภาคม 2557).

ชัยรัตน์ นิลนนท์, ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ธีรพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ และปราณี สุวรรณรัตน์. 2553. หลักสำคัญของการจัดการสวนปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ. สงขลา : คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ดำรงค์ พงศ์มานะวุฒิ และอรษา เสือทิม. 2544. ปาล์มน้ำมันกับการคัดเลือกพันธุ์ลูกผสม. กสิกร 74 : 30-45.

ธีรภาพ แก้วประดับ. 2552. อัตราพันธุกรรม และสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้น และผลผลิตในปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.). วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัญฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2554. การปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพฯ : โอ เอส พริ้นติ้ง เฮาส์.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2548. เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน. สงขลา : Neo Point.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และ วัชรินทร์ ชุ้นสุวรรณ. 2542. หลักการปรับปรุงพันธุ์พืช. สงขลา: ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนนท์, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ และสมเกียรติ สีสนอง. 2548. เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน. สงขลา : คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, นิทัศน์ สองศรี, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ, ชัยรัตน์ นิลนนท์ และยงยุทธ เชื้อมงคล. 2544ก. การกระจายตัว สหสัมพันธ์ และอัตราการถ่ายถอดทางพันธุกรรมของลักษณะต่างๆในลูกชั่วที่ 2 ของปาล์มน้ำมัน. วารสารสงขลานครินทร์ วทท. (ฉบับพิเศษ: ปาล์มน้ำมัน) 23: 705–715.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, นิทัศน์ สองศรี, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ, ชัยรัตน์ นิลนนท์ และยงยุทธ เชื้อมงคล. 2544ข. สหสัมพันธ์ การวิเคราะห์เส้นทาง และอัตราการถ่ายทอดทางพันธุกรรมสำหรับลักษณะทางการเกษตรของปาล์มน้ำมัน. วารสารสงขลานครินทร์ วทท. (ฉบับพิเศษ: ปาล์มน้ำมัน) 23: 619–704.

ธีระพงศ์ จันทรนิยม. 2553. คู่มือการปลูกปาล์มน้ำมันแบบก้าวหน้า. กรุงเทพฯ : วิจิตภัณฑ์ปาล์มออยล์.

ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ, ชัยรัตน์ นิลนนท์ และธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2538. ความแปรปรวนในการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน. วารสารสงขลานครินทร์ วทท. 17 : 251–259.

ประภัสษร เพชรโพธิ์. 2550. องค์ประกอบความแปรปรวนทางพันธุกรรมของลักษณะการเจริญเติบโตและผลผลิตในปาล์มน้ำมัน. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัญฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. 2523. ปาล์มน้ำมัน. สงขลา : ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์. 2525. พันธุศาสตร์ปริมาณที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืช. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์ และประเสริฐ ฉัตรวชิระวงษ์. 2548. พันธุศาสตร์เชิงปริมาณที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืช. นครปฐม : ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2527. หลักการปรับปรุงพันธุ์พืช. สงขลา : คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ไพศาล เหล่าสุวรรณ, อารีย์ วรัญญูวัฒก์ และปิยะดา ทิพยผ่อง. 2547. หลักการปรับปรุงพันธุ์พืช. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ยงยุทธ เชื้อมงคล. 2545. ความแปรปรวนของลักษณะต่าง ๆ ในประชากรชั่วที่ 2 ของปาล์มน้ำมัน. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วศะพงศ์ เอกสมทราเมษฐ์. 2553. การตอบสนองของพันธุ์ปาล์มน้ำมันในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. 2556. ธุรกิจปาล์มน้ำมันหลังก้าวเข้าสู่AEC. เข้าถึงได้จาก : http://goo.gl/w9dSZq (เข้าถึงเมื่อ 17 ตุลาคม 2556).

ศูนย์อุตุนิยมวิทยา ภาคใต้ฝั่งตะวันออก. 2556. ข้อมูลสถิติอุตุนิยมวิทยา จังหวัดสงขลา. เข้าถึงได้จาก : http://goo.gl/pFEC7t (เข้าถึงเมื่อ 17 ตุลาคม 2556).

สมทบ เวทโอสถ. 2556. การศึกษาศักยภาพของปาล์มน้ำมันพันธุ์การค้าในจังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุรพล อุปดิสสกุล. 2536. สถิติการวางแผนการทดลอง เล่ม 1. กรุงเทพฯ : สหมิตรออฟเซท.

อรรัตน์ วงศ์ศรี และศิริชัย มามีวัฒนะ. 2547. พันธุ์ปาล์มน้ำมัน และการปรับปรุงพันธุ์. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ดอกเบี้ย.

อังคณา โชติวัฒนศักดิ์, ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และนิทัศน์ สองศรี. 2551. ลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นและองค์ประกอบผลผลิตในประชากรลูกชั่วที่ 2 ของปาล์มน้ำมัน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39 : 61–64.

อังคณา โชติวัฒนศักดิ์, ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และนิทัศน์ สองศรี. 2552. สหสัมพันธ์ อิทธิพลทางตรง และอัตราพันธุกรรมของลักษณะทางการเกษตรในประชากรชั่วที่ 2 ของปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.). วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 40 : 25–34.

อุไรวรรณ ละอองศรี. 2554. ความแปรปรวนของลักษณะผลปาล์มและองค์ประกอบผลผลิตของปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.). วิทยาศาสตรมหาบัญฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เอกชัย พฤกษ์อำไพ. 2548. คู่มือปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพฯ : เพ็ท–แพล้น พับลิชชิ่ง.

Arasu, N.T. 1970. Foliar spiral and yield in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Malaysian Agricultural Journal 47 : 409-415.

Beirnaert, A. and Vanderweyen, R. 1941. Contribution a l'etude genetque et biomrique des varietes d' *Elaeis guineensis* Jacq. Serie Science 27 : 1-101.

Blaak, G., Sparnaaij, L.D. and Menendez, T. 1963. Breeding and inheritance in the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Journal of the West African Institute for Oil Palm Research 4 : 146–155.

Bredas, J. and Scuvie, L. 1960. Apercu des influences climatiques sur les cycles de production du palmier a huile. Oleagineux 15 : 211-222.

Breure, C.J., Menendez, T. and Powell, M.S. 1990. The effect of planting density on the yield components of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Experimental Agriculture 26 : 117-124.

Broekmans, A.F.M. 1957. Growth flowering and yield of the oil palm in Nigeria. Journal of the West African Institute for Oil Palm Research 2 : 187–220.

Corley, R.H.V. and Gray, B.S. 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.

Corley, R.H.V. and Hew, C.K. 1976. Pruning. *In* Oil Palm Research. (eds. Corley, R.H.V., Hardon, J.J. and Wood, B.J.), pp. 370-313. Amsterdam : Elsevier.

Corley, R.H.V. and Tinker, P.B. 2003. The Oil Palm 4th ed. Miami : Blackwell.

Corley, R.H.V., Hardon, J.J. and Tan, G.Y. 1971. Analysis of growth the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). I. Estimation of growth parameter and application in breeding. Euphytica 20 : 307-315.

Dabholkar, A.R. 1992. Element of Biometrical Genetic. Vol. I. New Delhi : Concept Publishing Company.

Ferwerda, J.D. 1977. Oil palm. *In* Ecophysiology of tropical crops. (eds. De, P., Alvim, T. and Kozloski, T.T.), pp. 351–383. London : Academic Press.

Finlay, K.W. and Wilkinson, G.N. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. Australian Journal of Agricultural Research 14 : 742-754.

Gan, L.T., Ho, C.Y., Lam, K.S. and Chew, J.S. 1995. Optimum harvesting standards to maximize labour productivity and oil recovery. *In* Proc 1993 PORIM inst Palm Oil Congr-Agriculture. (ed. Jalani, B.S.), pp. 195-211. Kuala Lumpur : Palm Oil Res.

Germer, J. and Sauerborn, J. 2004. Solar radiation below the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) canopy and its impact on the undergrowth species composition. The Planter 80 : 13-27.

Goh, K.J. 2000. Climatic requirements of the oil palm for high yields. *In* Managing Oil Palm for High Yields : Agronomic Principles (ed. Goh, K.J.), pp. 1–17. Kuala Lumpur : Malaysian Society of Soil Science.

Goh, K.J., Teo, C.B., Chew, P.S. and Chiu, S.R. 2000. Fertilizer man agreement in oil palm – agronomic principles and field practices. *In* Managing Oil Palm for High Yield : Agronomic Principles (ed. Goh, K.J.), pp. 98–122. Kuala Lumpur : Malaysian Society of Soil Science.

Gray, B.S. 1969. A study of the influence of genetic, agronomic and environmental factors on the growth, flowering and bunch production of the oil palm on the west coast of West Malaysia. Ph.D. Thesis. University of Aberdeen.

Hardon, J.J. 1976. Oil palm breeding introduction. *In* Oil Palm Research. (eds. Corley, R.H.V., Hardon, J.J. and Wood, B.J.), pp. 89-108. Amsterdam : Elsevier.

Hardon, J.J. and Thomas, R.L. 1968. Breeding and selection of the oil palm in Malaya. Oleagineux 23 : 85-90.

Hardon, J.J., Corley, R.H.V. and Ooi, S.C. 1971. Analysis of growth in the oil palm II. Estimation of genetic variances of growth parameters and yield of fruit bunches. Euphytica 21 : 257-264.

Hardon, J.J., Williams, C.N. and Watson, I. 1969. Leaf area and yield in the oil palm in Malaysia. Experimental Agriculture 5 : 25–32.

Hartley, C.W.S. 1977. The Oil Palm. New York : Longman.

Hartley, C.W.S. 1988. The Oil Palm 3rd ed. London : Longman.

Henson, I.E. 1991. Limitations to gas exchange, growth and yield of young oil palm by soil water supply and atmospheric humidity. Transactions of Malaysian Society of Plant Physiology 2 : 39–45.

Jacquemard, J.C. 1979. Contribution to the study of height, growth of the stems of *Elaeis guineensis* Jacq. Oleagineux 34 : 492–497.

Jourdan, C. and Rey, H. 1997. Architecture and development of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) root system. Plant and Soil 189 : 33–48.

Kushairi, A., and Rajanaidu, N. 2000. Breeding populations, seed production and nursery management. *In* Advances in oil palm research. (eds. Basiron, Y., Jalani, B.S. and Chan, K.W.) Vol. I, pp. 39–96. Kuala Lumpur : Malaysian Palm Oil Board.

Kushairi, A., Rajanaidu, N., Jalani, B.S. and Zakri, A.H. 1993. Variation in Malaysian dura x pisifera planting materials I Bunch yield. Elaeis 6 : 14-23.

Lee, C.H. and Toh, P.Y. 1992. Yield performance of Goden Hope OPRS DxP planting materials. Bangi : Palm Oil Research Instiute of Malaysia.

Macfarlane, M., Alaka, B. and Macfarlane, N. 1975. Analysis of the mesocarp oils from several different oil palm hybrids. Oil Palm News 20 : 1.

Musa, B.B., Saleh, G.B. and Loong, S.G. 2004. Genetic variability and broad–sense heritability in two Deli–AVROS DxP breeding population of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). SABRAO journal of breeding and genetics 36 : 13 – 22.

Noh, A., Rafii, M.Y. and Kushairi, A. 2010. Genetic performance of 40 deli dura x AVROS pisifera full-sib families. Journal of oil palm research 22 : 781–795.

Obisesan, I.O. and Fatunla, T. 1982. Heritability of fresh fruit bunch yield and its components in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Theoretical and Applied Genetics 65 : 65–68.

Okoye, M.N., Okwuagwu, C.O. and Uguru, M.I. 2009. Population improvement for fresh fruit bunch yield and yield components in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). American-Eurasian Journal of Scientific Research 4 : 59-63.

Okoye, M.N., Okwuagwu, C.O., Uguru, M.I., Ataga, C.D. and Okolo, E.C. 2007. Genotype by taits relation of oil yield in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). African Crop Science Journal 8 : 723–728.

Okwuagwu, C.O. and Tai, G.C.C. 1995. Estimate of variance components and heritability of bunch yield and yield components in the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Plant Breeding 114 : 463–465.

Okwuagwu, C.O., Okoye, M.N., Okolo, E.C., Ataga, C.D. and Uguru, M.I. 2008. Genetic variability of fresh fruit bunch yield in deli/dura x tenera breeding population of oil palm (*Elaeis guineens*is Jacq.) in Nigeria. Journal of Tropical Agriculture 46 : 52-57.

Ooi, C.O. and Bin Ngah, A.W. 1976. Oil Palm Breeding–Some Aspects of Selection. Kuala Lumpur : Incorporated Society of Planters.

Rafii, M.Y., Rajinaidu, N., Jalani, B.S and Kushairi, A. 2002. Performance and heritability estimations on oil palm progenies tested in different environments. Journal of Oil Palm Research 14 : 15-24.

Rajanaidu, N., Kushairi, A., Raffi, M., Din, A.M., Maizura, I. and Jalani, B.S. 2000. Oil palm breeding and genetic resources. *In* Advances in Oil Palm Research. (eds. Yusof, B., Jalani, B.S. and Chan, K.W.) Vol.I, pp. 171–244. Selangor : SMART Print & Stationer.

Smith, G. B. 1993. Correlation between vegetative and yield characteristics and photosynthetic rate and stomatal conductance in the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Elaeis 5 : 12-26.

Sparnaaij, L.D. 1960. The analysis of bunch production in the oil palm. Journal of Oil Palm Research 3 : 109–180.

Turner, P.D. and Gillbanks, P.D. 1974. Oil Palm Cultivation and Management. Kuala Lumpur : Yau Seng Press.

Van der Vossen, H.A.M. 1974. Towards more efficient selection for oil yield in the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacquin). Thesis. University of Waganingen.

Yusof, B., Jalani, B.S. and Chan, K.W. 2000. Advances in Oil Palm Research. Selangor : Smart & Stationer.