อิทธิพลของการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมต่อปริมาณกรดโอเลอิกในทานตะวัน

นางสาวเฉลิมขวัญ สุขเกษม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2555

THE INFLUENCE OF INHERITANCE AND ENVIRONMENTS ON OLEIC ACID CONTENT IN SUNFLOWER

Chalermkwan Sukkasem

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Science Program in Crop Science

Suranaree University of Technology

Academic Year 2012

อิทธิพลของการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมต่อปริมาณกรดโอเลอิกในทานตะวัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(ผศ. ดร.หัสไชย บุญจูง)
ประธานกรรมการ

_____

(ผศ. ดร.ฐิติพร มะชิโกวา)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____

(ผศ. ดร.สุดชล วุ้นประเสริฐ)
กรรมการ

_____

(อ. ดร.ธีรยุทธ เกิดไทย)
กรรมการ

_____

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปีจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

_____

(ผศ. ดร.สุเวทย์ นิงสานนท์)
คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เฉลิมขวัญ สุขเกษม : อิทธิพลของการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมต่อปริมาณกรดโอเลอิกในทานตะวัน (THE INFLUENCE OF INHERITANCE AND ENVIRONMENTS ON OLEIC ACID CONTENT IN SUNFLOWER) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร มะชิโกวา, 57 หน้า.

น้ำมันทานตะวันที่มีสัดส่วนของกรดโอเลอิกสูง เป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดี เพราะมีความคงตัวของน้ำมันสูง เหมาะแก่การนำมาบริโภค และใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาอัตราพันธุกรรม การแสดงออกของยีน และการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวัน 2) ศึกษาอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีต่อปริมาณกรดโอเลอิกในเมล็ดทานตะวัน โดยแบ่งการวิจัยเป็น 2 การทดลองคือ การทดลองที่ 1 ศึกษาอัตราพันธุกรรม การแสดงออกของยีน และการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวัน โดยใช้ทานตะวันสายพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกต่ำ (2A, 5A) ผสมพันธุ์กับสายพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกสูง (PI 649855) จำนวน 2 คู่ผสม คือ 2A × PI 649855 และ 5A × PI 649855 เพื่อสร้างประชากร F_2, BC_1 และ BC_2 จากนั้นนำ 6 ประชากร ได้แก่ P_1, P_2, F_1, F_2, BC_1 และ BC_2 ไปปลูกทดสอบ ผลการทดลองพบว่า ลักษณะกรดโอเลอิกสูงถูกควบคุมด้วยยีนหลัก 2 คู่ ยีนมีการแสดงออกในแบบบวก แต่ไม่มีการข่มข้ามคู่ และพบว่า มีอัตราพันธุกรรมแบบกว้าง และแบบแคบในระดับปานกลาง (62.83 และ 58.68 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) การทดลองที่ 2 ปลูกทานตะวันในวันปลูกต่าง ๆ กัน เพื่อศึกษาผลของสภาพแวดล้อมในช่วงการติดเมล็ดต่อปริมาณกรดโอเลอิกโดยปลูกทานตะวัน 5 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกต่ำ (สุรนารี 473, แปซิฟิค 33 และ แปซิฟิค 77) และโอเลอิกสูง (แปซิฟิค 22 และ PI 649855) ปลูกทดสอบใน 4 วันปลูก โดยปลูกในฤดูแล้ง 2 วันปลูก และฤดูฝน 2 วันปลูก จากนั้นนำเมล็ดจากการปลูกทดสอบมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำมัน กรดโอเลอิก ลิโนเลอิก สเตียริกและปาล์มิติก ผลการทดลองพบว่า ทานตะวันที่ปลูกในฤดูแล้ง มีปริมาณกรดโอเลอิกมากกว่า เมื่อปลูกในฤดูฝน โดยเฉพาะวันปลูกที่ 2 ของฤดูแล้ง พบว่าทานตะวันทุกพันธุ์มีกรดโอเลอิกสูงที่สุด เนื่องจากในช่วงการติดเมล็ดมีสภาพแวดล้อมที่มีความเข้มแสงสูง แต่มีปริมาณน้ำฝนและความชื้นต่ำ มีผลทำให้เมล็ดทานตะวันมีกรดโอเลอิกสูง ในขณะที่กรดปาล์มิติกและกรดสเตียริกไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละวันปลูก นอกจากนี้ยังพบว่า ลักษณะกรดโอเลอิกสูงมีสหสัมพันธ์ทางลบกับกรดลิโนเลอิกและมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับเปอร์เซ็นต์น้ำมัน

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2555 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

CHALERMKWAN SUKKASEM : THE INFLUENCE OF INHERITANCE AND ENVIRONMENTS ON OLEIC ACID CONTENT IN SUNFLOWER. THESIS DVISOR : ASST. PROF. THITIPORN MACHIKOWA, Ph.D., 57 PP.

Helianthus annuus L./FATTY ACID/GENERATION MEAN ANALYSIS/ HERITABILITY/ENVIRONMENTAL EFFECT/CORRELATION ANALYSIS

Sunflower oil with high amount of oleic acid is high quality oil due to its high level of oxidative stability. It is appropriate for cooking and using as a raw material in various industries. The objectives of this research were : 1) to determine the heritability, gene action, and inheritance of high oleic acid content in sunflower, and 2) to evaluate the environmental effects on oleic acid in sunflower seeds. The research was divided into 2 experiments. The first experiment was conducted to determine the heritability, the gene action, and the inheritance of high oleic acid content. Two low oleic acid lines of sunflower (2A and 5A) were crossed with a high oleic acid line (PI 649855). Two F_1 crosses, 2A × PI 649855 and 2A × PI 649855, were used to develop F_2, BC_1 and BC_2 populations. Six populations including P_1, P_2, F_1, F_2, BC_1, and BC_2 were evaluated. The results showed that high oleic acid content was controlled by two major genes with additive effect, but epistasis gene effect was not found. Broad sense and narrow sense heritabilities of high oleic acid trait showed moderate values (62.83% and 58.68%, respectively). The second experiment was designed to grow sunflower under different planting dates in order to evaluate the environmental effects during seed filling on oleic acid content. Five sunflower varieties/lines including three low oleic acid (S473, Pacific 33 and Pacific 77) and two high oleic acid

(Pacific 22 and PI 649855) varieties were grown in four planting dates. Two planting dates were arranged in dry season and the other two were conducted in rainy season. Seeds from all planting dates were analyzed for oil, oleic, linoleic, stearic and palmitic acid contents. The results showed that all varieties produced higher oleic acid content in dry season than in rainy season. The highest oleic acid content of all varieties was found in second planting date of dry season, which exhibited a high value of solar radiation but a low amount of rainfall and low relative humidity during seed filling period. However, in all planting dates, no significant differences in palmitic and stearic acids were found. In addition, high oleic acid had negative correlation with linoleic acid but had positive correlation with oil content.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Crop Production Technology Student's Signature_____

Academic Year 2012 Advisor's Signature_____

Co–advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย อาทิเช่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร มะชิโกวา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ และเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านการเรียน งานวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดชล วุ้นประเสริฐ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือในด้านการวิจัย และให้กำลังใจตลอดช่วงการทำวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หัสไชย บุญจูง และ ดร.ธีรยุทธ เกิดไทย คณะกรรมการสอบ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ตลอดจนช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

Yanling Hua และคุณกอบแก้ว ชัยประโคน เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 1 คุณนวลปรางค์ อุทัยดา คุณสมยง พิมพ์พรม คุณศิริวรรณ เพชรสมบัติ และคุณทรงสุดา ชาติศรินทร์ เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาอำนวยความสะดวกและให้คำปรึกษาในการใช้เครื่องมือที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงานวิจัย

คุณอุทัย ยศจังหรีด และเจ้าหน้าที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาอำนวยความสะดวก จัดเตรียมพื้นที่ปลูกทดสอบจนเสร็จสมบูรณ์

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจอย่างดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่อบรมเลี้ยงดู เอาใจใส่ เป็นกำลังใจ ส่งเสริมและสนับสนุนด้านการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา

เฉลิมขวัญ สุขเกษม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญรูป ..... ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ทานตะวัน 4
2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของทานตะวัน 4
2.1.2 ระยะการเจริญเติบโตของทานตะวัน 5
2.1.3 ประเภทของทานตะวัน 6
2.1.4 พันธุ์ทานตะวัน 6
2.2 กรดไขมันในน้ำมันทานตะวัน 7
2.2.1 กรดไขมันอิ่มตัว 7
2.2.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัว 8
2.3 การสังเคราะห์กรดไขมัน 9
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดโอเลอิกและลักษณะอื่น ๆ 13
2.5 การถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิก 13

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อปริมาณกรดโอเลอิก 14
2.6.1 อุณหภูมิ 14
2.6.2 การให้น้ำ 15
2.6.3 ปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์ 15
2.6.4 ความเข้มแสง 15
3 วิธีดำเนินการวิจัย 17
3.1 การศึกษาการแสดงออกของยีนและการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวัน 17
3.1.1 การกระจายตัวของลักษณะกรดโอเลอิกสูงในประชากรต่างๆ ของทานตะวัน 17
3.1.2 การแสดงออกของยีนและการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวัน 20
3.2 ผลของสภาพแวดล้อมต่อปริมาณกรดโอเลอิกในทานตะวัน 23
3.2.1 ข้อมูลลักษณะสภาพภูมิอากาศโดยทั่วไป 23
3.2.2 พันธุ์ทานตะวัน 26
3.2.3 สถานที่การทดลอง 26
3.2.4 วิธีการทดลอง 27
3.2.5 การบันทึกข้อมูล 27
3.2.6 การวิเคราะห์ข้อมูล 28
4 ผลการทดลอง 29
4.1 การศึกษาการแสดงออกของยีนและการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวัน 29
4.1.1 การกระจายตัวของลักษณะกรดโอเลอิกสูงในประชากรต่างๆ ของทานตะวัน 29
4.1.2 จำนวนคู่ของยีนที่ควบคุมลักษณะกรดโอเลอิก 30
4.1.3 การแสดงออกของยีนและการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงใน

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ทานตะวัน 33
4.1.4 อัตราพันธุกรรมของลักษณะกรดโอเลอิก 35
4.2 ผลของสภาพแวดล้อมต่อปริมาณกรดโอเลอิกในทานตะวัน 36
4.2.1 ปริมาณกรดโอเลอิกและลักษณะต่างๆ ของทานตะวันเมื่อปลูกในฤดูแล้งและฤดูฝน 36
4.2.2 สหสัมพันธ์ของลักษณะกรดโอเลอิกกับลักษณะต่างๆ ในทานตะวัน 44
5 สรุปผลการทดลอง 46
รายงานอ้างอิง 48
ภาคผนวก 52
ประวัติผู้เขียน 57

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 กรดไขมันในน้ำมันทานตะวัน 7

3.1 ลักษณะของสายพันธุ์ทานตะวันที่ใช้ในการทดลอง 17

3.2 พันธุ์ทานตะวันที่ใช้ในการทดลอง 26

4.1 ค่าเฉลี่ย ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน วาเรียนซ์ และจำนวนคู่ของยีนของลักษณะกรดโอเลอิก ในประชากร P_1, P_2 F_1 และ F_2 ของคู่ผสม 2A x PI 649855 และ 5A x PI 649855 30

4.2 การกระจายตัวของลักษณะกรดโอเลอิกในประชากร P_1, P_2, F_1, F_2, BC_1 และ BC_2 ของคู่ผสม 2A x PI 649855 34

4.3 ค่า A, B, C และค่า t จากการวิเคราะห์ scaling test ของลักษณะกรดโอเลอิกใน คู่ผสม 2A x PI 649855 34

4.4 การแสดงออกของยีนที่ควบคุมปริมาณกรดโอเลอิกสูง จากการทดสอบโดยวิธี generation mean 35

4.5 อัตราพันธุกรรมแบบกว้างและแบบแคบของลักษณะกรดโอเลอิกสูง 36

4.6 ค่า mean square จากการวิเคราะห์ร่วมทานตะวัน 5 พันธุ์/สายพันธุ์ ที่ปลูกในฤดูแล้งและฤดูฝน 4 วันปลูก 37

4.7 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์น้ำมัน และกรดไขมันชนิดต่างๆ ของทานตะวันที่ปลูกในฤดูแล้งและฤดูฝน 40

4.8 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความชื้น และความเข้มแสงของ 4 วันปลูก ในช่วงการติดเมล็ดของทานตะวัน 41

4.9 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำมัน และกรดไขมันชนิดต่างๆ ของน้ำมันทานตะวัน 45

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้างของกรดปาล์มิติก 8
2.2 โครงสร้างของกรดสเตียริก 8
2.3 โครงสร้างของกรดลิโนเลอิก 8
2.4 โครงสร้างของกรดโอเลอิก 9
2.5 การสังเคราะห์กรดโอเลอิก 11
2.6 เอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการเติมพันธะคู่ให้กับกรดไขมันชนิดต่างๆ 12
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณกรดโอเลอิกในน้ำมันทานตะวัน 16
3.1 อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการปลูกตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2553 ถึงเดือนมิถุนายน 2555 24
3.2 ความชื้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการปลูกตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2553 ถึงเดือนมิถุนายน 2555 25
3.3 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการปลูกตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2553 ถึงเดือนมิถุนายน 2555 25
3.4 ความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการปลูกตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2553 ถึงเดือนมิถุนายน 2555 26
4.1 การกระจายตัวของลักษณะกรดโอเลอิกในประชากร P_1, P_2, F_1 และ F_2 ของคู่ผสม 2A x PI 649855 31
4.2 การกระจายตัวของลักษณะกรดโอเลอิกในประชากร P_1, P_2, F_1 และ F_2 ของคู่ผสม 5A x PI 649855 33
4.3 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์น้ำมันและกรดไขมันชนิดต่างๆ ของทานตะวันพันธุ์แปซิฟิค 22 ที่ปลูกใน 4 วันปลูก 42
4.4 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์น้ำมัน และกรดไขมันชนิดต่างๆ ของทานตะวันพันธุ์แปซิฟิค 33 ที่ปลูกใน 4 วันปลูก 42
4.5 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์น้ำมัน และกรดไขมันชนิดต่างๆ ของทานตะวันพันธุ์แปซิฟิค 77 ที่ปลูกใน 4 วันปลูก 43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.6 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์น้ำมัน และกรดไขมันชนิดต่างๆ ของทานตะวันพันธุ์สุรนารี 473 ที่ปลูกใน 4 วันปลูก 43
4.7 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์น้ำมัน และกรดไขมันชนิดต่างๆ ของทานตะวันสายพันธุ์ PI 649855 ที่ปลูกใน 4 วันปลูก 44

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

GC	=	gas chromatography
h^2_b	=	heritability in broad sense (อัตราพันธุกรรมอย่างกว้าง)
h^2_n	=	heritability in narrow sense (อัตราพันธุกรรมอย่างแคบ)
k	=	minimum number of genes (จำนวนคู่ของยีนที่น้อยที่สุด)
MUFA	=	monounsaturated fatty acid (กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว)
NCRPIS	=	north central regional plant introduction station
NIR	=	near infrared spectroscopy
PUFA	=	polyunsaturated fatty acid (กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) เป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ รองจากถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน และเรพซีด มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางอเมริกาเหนือ โดยนิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายในทวีปยุโรป อเมริกา และเอเชีย สำหรับประเทศไทยมีแหล่งปลูกที่สำคัญอยู่ในจังหวัดลพบุรี นครสวรรค์ สระบุรี และเพชรบูรณ์ ซึ่งปัจจุบันการผลิตทานตะวันในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการเนื่องจากมีปัญหาสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมและมีการปลูกพืชชนิดอื่นแทนที่ จึงทำให้ต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศมากกว่า 500 ล้านบาทต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554)

ทานตะวันเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) สูงถึง 88 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด (Rathore, 2005) ทั้งนี้ยังประกอบไปด้วยวิตามินเอ ดี อี และเค ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เมล็ดทานตะวันนอกจากสามารถนำไปใช้บริโภคโดยตรงแล้วยังนำมาสกัดเป็นน้ำมันเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น เนยเทียม น้ำมันปรุงอาหาร เครื่องสำอาง น้ำมันชักเงา และน้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น ซึ่งทานตะวันที่ปลูกโดยทั่วไปเป็นชนิดสกัดน้ำมัน โดยมีน้ำมันในเมล็ดประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ประกอบด้วยกรดไขมัน 4 ชนิด ได้แก่ กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) กรดโอเลอิก (oleic acid) กรดปาล์มิติก (palmitic acid) และกรดสเตียริก (stearic acid) โดยปกติทานตะวันมีปริมาณของกรดลิโนเลอิกสูงที่สุด ประมาณ 67 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือกรดโอเลอิก ประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ และกรดปาล์มิติกกับกรดสเตียริกรวมกัน ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ (Rathore, 2005) ซึ่งน้ำมันที่มีสัดส่วนของกรดลิโนเลอิกสูงนี้ถึงแม้ว่าจะมีประโยชน์สามารถช่วยลดระดับโคเลสเตอรอล ลดการเกิดภาวะหลอดเลือดแข็งตัว และลดความเสี่ยงต่อโรคหัวใจ แต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดที่สำคัญคือลักษณะดังกล่าวนี้สามารถเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนหรือเกิดการเหม็นหืนได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อมีการทำให้ร้อนจัด เช่น การทอดที่ใช้ความร้อนสูงหรือการใช้ทอดซ้ำหลายครั้ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันและเกิดสารอนุมูลอิสระ (เสก อักษรานุเคราะห์, 2540) ซึ่งทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ โดยปัจจุบันได้มีการศึกษาเพื่อพัฒนาพันธุ์ทานตะวันให้ได้น้ำมันที่มีคุณภาพและมีประโยชน์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งพบว่า กรดโอเลอิกเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (monounsaturatedfatty acid, MUFA) ที่ความคงตัวสูง ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศน้อย ลดการเกิดสารอนุมูลอิสระ ไม่เหม็นหืนง่าย

สามารถทนความร้อนได้ดี และไม่เกิดผลเสียต่อผู้บริโภค เป็นต้น ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์ทานตะวันให้มีปริมาณของกรดโอเลอิกสูง จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้น้ำมันทานตะวันมีคุณภาพและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ได้มากยิ่งขึ้น

จากที่กล่าวมาทั้งหมด จะเห็นว่าน้ำมันทานตะวันหากสามารถเพิ่มปริมาณกรดโอเลอิกให้สูงขึ้นได้จะทำให้ได้น้ำมันที่มีคุณภาพสูง สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะแก่การบริโภค อย่างไรก็ตามลักษณะกรดโอเลอิกในทานตะวันเป็นลักษณะปริมาณ ซึ่งการแสดงออกของลักษณะกรดโอเลอิกนี้มีหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง นอกจากขึ้นอยู่กับยีนแล้ว สภาพแวดล้อมยังถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยส่งเสริมการเพิ่มหรือลดปริมาณของกรดโอเลอิกได้ โดยจากหลายการทดลองพบว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณกรดโอเลอิกในทานตะวัน โดยในช่วงการพัฒนาของเมล็ดเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลทำให้ปริมาณกรดโอเลอิกสูงขึ้นด้วย (Ahmad and Hassan, 2000) และนอกจากนี้ ยังพบว่าเมื่อทานตะวันอยู่ในสภาพขาดน้ำ (water stress) ช่วงหลังการออกดอกจนถึงการติดเมล็ดจะมีปริมาณกรดโอเลอิกสูงกว่าทานตะวันในสภาพน้ำปกติ (Flagella et al., 2000; Baldini et al., 2000) อย่างไรก็ตามสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงก็มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์กรดโอเลอิกเช่นกัน โดยส่งผลทำให้กรดโอเลอิกและกรดไขมันชนิดอื่นในเมล็ดทานตะวันมีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งกรดไขมันบางชนิดอาจมีความสัมพันธ์ต่อกัน เช่น กรดโอเลอิกมีความสัมพันธ์แบบลบกับกรดลิโนเลอิก โดยมีการศึกษาพบว่าปริมาณกรดโอเลอิกจะลดลงเมื่อปริมาณกรดลิโนเลอิกสูงขึ้น (Santonoceto et al., 2002) ในการปรับปรุงพันธุ์ทานตะวันเพื่อให้มีกรดโอเลอิกสูงนั้น นอกจากผลของสภาพแวดล้อมที่ต้องคำนึงถึงแล้วสิ่งสำคัญต้องทราบถึงการแสดงออกของยีน และจำนวนคู่ของยีนที่ควบคุมลักษณะในการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกในทานตะวัน ซึ่งประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาในเรื่องนี้มากนัก ดังนั้นการศึกษาถึงการแสดงออกและการถ่ายทอดยีนที่ควบคุมลักษณะกรดโอเลอิกจึงเป็นแนวทางที่นำไปสู่การศึกษาที่ช่วยให้การเลือกวิธีการปรับปรุงพันธุ์ได้อย่างเหมาะสมและเป็นการพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์ทานตะวันในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราพันธุกรรม การแสดงออกของยีนและการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวัน

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของพันธุ์และสภาพแวดล้อมที่มีต่อปริมาณกรดโอเลอิกในเมล็ดทานตะวัน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ศึกษาอัตราพันธุกรรม การแสดงออกของยีนและการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวัน โดยใช้ทานตะวันสายพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกต่ำ (2A, 5A) ผสมพันธุ์กับสายพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกสูง (PI 649855) จำนวน 2 คู่ผสม คือ 2A × PI649855 และ 5A × PI649855 เพื่อสร้างประชากร P_1, P_2, F_1, F_2, BC_1 และ BC_2 โดยทำการศึกษาเพื่อทดสอบการแสดงออกของยีน อัตราพันธุกรรม และจำนวนคู่ของยีนที่ควบคุมลักษณะในการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวัน

1.3.2 ทดสอบอิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน และความเข้มแสง ที่มีผลต่อปริมาณของกรดโอเลอิกในทานตะวัน 5 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกต่ำ คือ สุรนารี 473, แปซิฟิค 33 และแปซิฟิค 77 และพันธุ์/สายพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกสูง ได้แก่ แปซิฟิค 22 และ PI 649855 โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบ 4 วันปลูกในฤดูแล้งและฤดูฝน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงการแสดงออกของยีน อัตราพันธุกรรม และจำนวนคู่ของยีนที่ควบคุมลักษณะในการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวัน เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้วิธีการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

1.4.2 ทราบถึงปัจจัยและอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทานตะวัน

ทานตะวัน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Helianthus annuus* L. อยู่ในวงศ์ compositae มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางอเมริกาเหนือ จัดเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญทางเศรษฐกิจของโลก รองจากถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน และเรพซีด ทานตะวันเป็นพืชไม่ไวแสง มีการปรับตัวกว้าง และทนทานต่อความแห้งแล้งได้ค่อนข้างดี นิยมปลูกมากในประเทศรัสเซีย อาร์เจนตินา และสหรัฐอเมริกา โดยเมล็ดทานตะวันสามารถนำมาใช้บริโภคโดยตรง และนำมาสกัดเป็นน้ำมันเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น เนยเทียม น้ำมันปรุงอาหาร เครื่องสำอาง และน้ำมันชักเงา เป็นต้น

การปลูกทานตะวันในประเทศไทยเริ่มมีการปลูกเป็นการค้าในปี 2531 โดยมีพื้นที่ปลูกประมาณ 7,500 ไร่ และพื้นที่ปลูกค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนปี พ.ศ. 2536 มีพื้นที่ปลูกประมาณ 40,000 ไร่ จากนั้นพื้นที่ปลูกทานตะวันก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยปี พ.ศ. 2541 มีพื้นที่ปลูก 373,200 ไร่ และเพิ่มเป็น 600,000 ไร่ ในปี พ.ศ. 2542 แต่ในปี พ.ศ. 2543 พื้นที่ปลูกลดลงเหลือ 400,000 ไร่ จนในปัจจุบันเหลือพื้นที่ปลูกทานตะวันประมาณ 190,000 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) มีผลทำให้ความต้องการใช้เมล็ดทานตะวันเพื่อใช้สกัดน้ำมันไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศในรูปของน้ำมัน กากทานตะวัน และเมล็ดพันธุ์ มูลค่ามากกว่า 500 ล้านบาทต่อปี

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของทานตะวัน

ราก เป็นระบบรากแก้วหยั่งลึกได้ถึง 1 เมตร มีรากแขนงค่อนข้างแข็งแรง แผ่ขยายไปด้านข้างได้ยาวถึง 60-100 เซนติเมตร สามารถช่วยยึดลำต้นไม่ให้ล้มได้อย่างดี

ลำต้น ลำต้นโดยทั่วไปมีลักษณะหนาแข็ง และมีขนหยาบ ส่วนใหญ่ไม่มีแขนง แต่บางพันธุ์มีการแตกแขนง ขนาดลำต้น ความสูง การแตกแขนงขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม ความสูงของต้นอยู่ระหว่าง 50-200 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นประมาณ 1-10 เซนติเมตร

ใบ เป็นใบเดี่ยวเกิดตรงกันข้าม หลังจากที่มีใบเกิดแบบตรงกันข้ามอยู่ 5 คู่แล้ว ใบที่เกิดหลังจากนั้นจะมีลักษณะวน จำนวนใบบนต้นอาจมีตั้งแต่ 8-70 ใบ รูปร่างของใบแตกต่างกันตามพันธุ์ สีของใบอาจมีตั้งแต่เขียวอ่อน เขียว และเขียวเข้ม

ดอก มีดอกเป็นดอกรวม แต่ละจานดอก (capitulum หรือ head) ประกอบด้วยดอก

ย่อย (florets) 700-3,000 ดอก ในพันธุ์ที่ให้น้ำมัน ส่วนพันธุ์อื่น ๆ อาจมีดอกย่อยถึง 8,000 ดอก ในแต่ละจานดอกมีดอก 2 ชนิด คือ ดอกย่อยที่อยู่รอบจานดอก (ray flower) เป็นดอกที่เป็นหมัน มีสีต่าง ๆ กันตั้งแต่สีเหลือง สีส้ม และสีแดง และดอกย่อยที่อยู่ในจานดอก (disc flower) เป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีเกสรตัวผู้ที่พร้อมจะผสมได้ก่อนเกสรตัวเมีย การบานหรือการแก่ของดอกจะเริ่มจากวงรอบนอกเข้าไปสู่ศูนย์กลางของดอก

เมล็ด ประกอบด้วยเนื้อใน (kernel) และส่วนเปลือก (pericarp) รูปร่างลักษณะของเมล็ดอาจเป็นเหลี่ยม หรือรูปไข่ มีทั้งลายสีขาวดำ หรือสีดำ

2.1.2 ระยะการเจริญเติบโตของทานตะวัน

การเจริญเติบโตของทานตะวันได้แบ่งตามวิธีของ Schneiter and Miller (1981) ได้ 2 ระยะ ดังนี้

1) ระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ (vegetative stage, V) ระยะนี้เริ่มจากการงอกของต้นกล้าและสิ้นสุดเมื่อเริ่มมองเห็นดอกเกิดขึ้น โดยอาศัยจำนวนใบเป็นเกณฑ์ ซึ่งแบ่งย่อยได้ดังนี้

ระยะ vegetative emergence (VE) เป็นระยะที่ต้นกล้ามีใบเลี้ยงโผล่พ้นผิวดิน และมีใบจริงคู่แรกอยู่เหนือใบเลี้ยง โดยมีความยาวน้อยกว่า 4 เซนติเมตร

ระยะ V(n) เป็นระยะที่มีการเจริญทางลำต้นและใบ โดย n หมายถึง จำนวนใบจริงที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 4 เซนติเมตร เช่น V1, V2, V3 และ V4 หมายถึง การเจริญทางลำต้นและใบ เมื่อมีใบจริงที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 4 เซนติเมตร จำนวน 1, 2, 3 และ 4 ใบ ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อทานตะวันเจริญเติบโตและมีอายุมากขึ้นใบส่วนล่างจะแก่และร่วงหล่นทำให้เกิดรอยแผลบนลำต้น ซึ่งการกำหนดระยะการเจริญเติบโตโดยนับจำนวนใบนี้จะต้องนับจำนวนใบทั้งหมดรวมทั้งใบที่ร่วงหล่นไปแล้วด้วย

2) ระยะสืบพันธุ์ (reproductive stage, R) เริ่มเมื่อทานตะวันเริ่มมีดอกเล็ก ๆ เกิดขึ้น (floral initiation) จนถึงระยะต้นแก่เต็มที่ทางสรีรวิทยา (physiological maturity) แบ่งได้ 9 ระยะดังนี้

ระยะ R1 เป็นระยะที่สามารถมองเห็นช่อดอก (head) ที่หุ้มด้วยใบประดับอ่อน (young bract) เมื่อมองจากด้านบน (top view) จะเห็นกลีบเลี้ยงอ่อน ๆ ลักษณะคล้ายดาว (star like) ปรากฏขึ้นมา

ระยะ R2 มีช่วงความยาวของข้อบริเวณใต้ฐานรองดอก (receptacle) ยาว 0.5 ถึง 2 เซนติเมตร ข้ออยู่ระหว่างใบสุดท้ายกับฐานรองดอก บางครั้งอาจพบใบประดับ (adventitious bracts) ตรงข้อดังกล่าว

ระยะ R3 ความยาวของข้อบริเวณใต้ฐานรองดอกจะยืดอย่างรวดเร็วยกจานดอกให้สูงขึ้น ทำให้ข้อช่วงดังกล่าวยาวมากกว่า 2 เซนติเมตร

ระยะ R4 ดอกเริ่มบานกลีบเล็ก ๆ คลี่ตัวออกมา

ระยะ R5 ระยะนี้เริ่มมีการถ่ายละอองเกสร (anthesis) เกิดขึ้น กลีบดอกบานเต็มที่และสามารถมองเห็นดอกย่อย ในระยะนี้สามารถแบ่งย่อยได้อีกโดยอาศัยเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ดอกย่อยที่ถ่ายละอองเกสรแล้ว การถ่ายละอองเกสรจะเริ่มจากดอกย่อยที่อยู่รอบนอกเข้ามาสู่ใจกลางของดอก

ระยะ R6 การถ่ายละอองเกสรเกิดขึ้นสมบูรณ์ กลีบดอกเริ่มแสดงการเหี่ยว

ระยะ R7 ด้านหลังจานดอกเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองอ่อน ๆ

ระยะ R8 ด้านหลังจานดอกสีเหลือง แต่ใบประดับยังคงเป็นสีเขียวอยู่ และอาจพบจุดสีน้ำตาลบริเวณหลังจานดอก

ระยะ R9 ใบประดับเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและสีน้ำตาล มีจุดสีน้ำตาลหลังจานดอก ระยะนี้เป็นระยะที่มีการสุกแก่ทางสรีรวิทยา

2.1.3 ประเภทของทานตะวัน

ทานตะวันแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1) ประเภทใช้สกัดน้ำมัน (oilseed) เมล็ดจะมีสีดำ เปลือกเมล็ดบาง เมล็ดจะมีน้ำมัน 38-50 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกากสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

2) ประเภทใช้บริโภคเมล็ด (non-oilseed) เมล็ดมีลายสีขาวดำ เมล็ดค่อนข้างใหญ่ เปลือกหนาไม่ติดกับเนื้อในเมล็ด ใช้รับประทานเป็นของขบเคี้ยว

2.1.4 พันธุ์ทานตะวัน

พันธุ์ทานตะวันแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1) พันธุ์ผสมเปิด (open–pollinated variety) เป็นสายพันธุ์ที่ปลูกกันมานานแล้ว ดอกจะมีปริมาณละอองเรณูน้อย ทำให้เกิดการติดเมล็ดด้วยการผสมตัวเองต่ำ ต้องอาศัยแมลงช่วยในการผสม ปัจจุบันไม่เป็นที่นิยมปลูกเนื่องจากดอกเล็ก และผลผลิตต่ำ

2) พันธุ์ลูกผสม (hybrid variety) เป็นพันธุ์ที่สามารถติดเมล็ดได้ดีโดยไม่ต้องอาศัยแมลงช่วยผสมเกสร เพราะในดอกมีละอองเรณูมากกว่าพันธุ์ผสมเปิด 3–4 เท่า เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดสูง จานดอกค่อนข้างใหญ่ สามารถปรับตัวได้ดี ให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์น้ำมันสูง แต่ข้อเสียคือ เก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ทำพันธุ์ไม่ได้ เช่น พันธุ์แปซิฟิค 77, โอลิซัน 2, โอลิซัน 3, จัมโบ้ และอาตูเอล เป็นต้น

3) พันธุ์สังเคราะห์ (synthetic variety) เป็นพันธุ์ที่ได้รับการปรับปรุงแล้วโดยการคัดเลือกสายพันธุ์หรือประชากรอื่น โดยให้ผลผลิตค่อนข้างดี แต่ไม่เทียบเท่าพันธุ์ลูกผสม สามารถ

เก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ทำพันธุ์ได้ เช่น พันธุ์เชียงใหม่ 1, สุรนารี 471 และสุรนารี 473 เป็นต้น

2.2 กรดไขมันในน้ำมันทานตะวัน

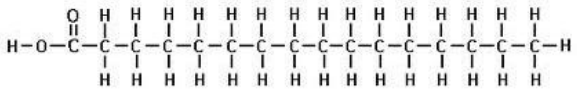
ในเมล็ดทานตะวันส่วนใหญ่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งในน้ำมันนี้ ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) และกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) โดยในทานตะวันทั่วไปจะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงถึง 88 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันอิ่มตัวประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ (Rathore, 2005) ซึ่งถือว่าเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพสูง โดยความแตกต่างของโครงสร้างของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวที่พบในน้ำมันทานตะวัน มีดังนี้

ตารางที่ 2.1 กรดไขมันในน้ำมันทานตะวัน

ประเภทกรดไขมัน	ชื่อกรดไขมัน	สัญลักษณ์	โครงสร้าง
กรดไขมันอิ่มตัว	กรดปาล์มิติก	C16 : 0	มีคาร์บอน 16 อะตอมต่อกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด
กรดไขมันอิ่มตัว	กรดสเตียริก	C18 : 0	มีคาร์บอน 18 อะตอมต่อกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด
กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว	กรดโอเลอิก	C18 : 1	มีคาร์บอน 18 อะตอมต่อกันด้วยพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง
กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน	กรดลิโนเลอิก	C18 : 2	มีคาร์บอน 18 อะตอมต่อกันด้วยพันธะคู่ 2 ตำแหน่ง

2.2.1 กรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันชนิดนี้จะมีลักษณะของธาตุคาร์บอนต่อกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด เป็นกรดไขมันที่ให้พลังงานสูง แต่ถ้าได้รับประทานเข้าไปมากจะทำให้โคเลสเตอรอลในเลือดสูง เกิดการอุดตันของเส้นเลือดได้ ในน้ำมันทานตะวันพบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวเพียง 12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประกอบด้วยกรดไขมัน 2 ชนิด ได้แก่

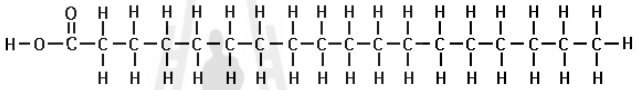
2.2.1.1 กรดปาล์มิติก (palmitic acid) เป็นกรดไขมันที่มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยคาร์บอน 16 อะตอม (16 : 0) ต่อกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด (รูปที่ 2.1 และตารางที่ 2.1) ซึ่งในทานตะวันโดยทั่ว ๆ ไปจะมีกรดไขมันชนิดนี้ประมาณ 5-8 เปอร์เซ็นต์ (AOCS, 1997a)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของกรดปาล์มิติก

(www.foodnetworksolution.com/vocab/wordcap/palmitic%20acid)

2.2.1.2 กรดสเตียริก (stearic acid) เป็นกรดไขมันที่มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยคาร์บอน 18 อะตอม (18:0) ต่อกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด (รูปที่ 2.2 และตารางที่ 2.1) ซึ่งส่วนใหญ่กรดชนิดนี้จะมีปริมาณน้อยกว่ากรดไขมันชนิดอื่น โดยมีประมาณ 2.5-7 เปอร์เซ็นต์ (AOCS, 1997a)

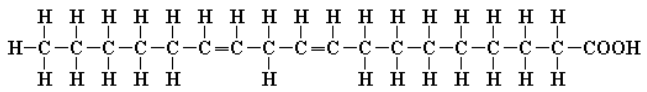


รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกรดสเตียริก

(www.foodnetworksolution.com/vocab/word/1644)

2.2.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดไขมันชนิดนี้พบมากในน้ำมันทานตะวัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (monounsaturated fatty acid, MUFA) เป็นกรดไขมันที่มีธาตุคาร์บอนต่อกันด้วยพันธะคู่เพียงหนึ่งตำแหน่งในโมเลกุล เช่น กรดโอเลอิก และ 2) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acid, PUFA) เป็นกรดไขมันที่มีธาตุคาร์บอนต่อกันด้วยพันธะคู่อยู่หลายตำแหน่งในโมเลกุล เช่น กรดลิโนเลอิก ซึ่งในน้ำมันทานตะวันมีกรดไขมันที่สำคัญ 2 ชนิด คือ

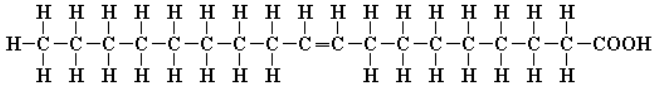
2.2.1.1 กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนที่มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยคาร์บอน 18 อะตอม ต่อกันด้วยพันธะคู่ 2 ตำแหน่ง (18 : 2) ซึ่งในน้ำมันทานตะวันทั่ว ๆ ไปจะมีกรดชนิดนี้สูงประมาณ 40-74 เปอร์เซ็นต์ (AOCS, 1997a)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของกรดลิโนเลอิก

(www.uq.edu.au/ School Science Lessons/topic16a.html)

2.2.1.2 กรดโอเลอิก (oleic acid) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวที่มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยคาร์บอน 18 อะตอม ต่อกันด้วยพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง (18 : 1) โดยส่วนใหญ่กรดไขมันชนิดนี้ในน้ำมันทานตะวันจะมีประมาณ 13-40 เปอร์เซ็นต์ (AOCS, 1997a)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของกรดโอเลอิก

(www.uq.edu.au/ School Science Lessons/topic16a.html)

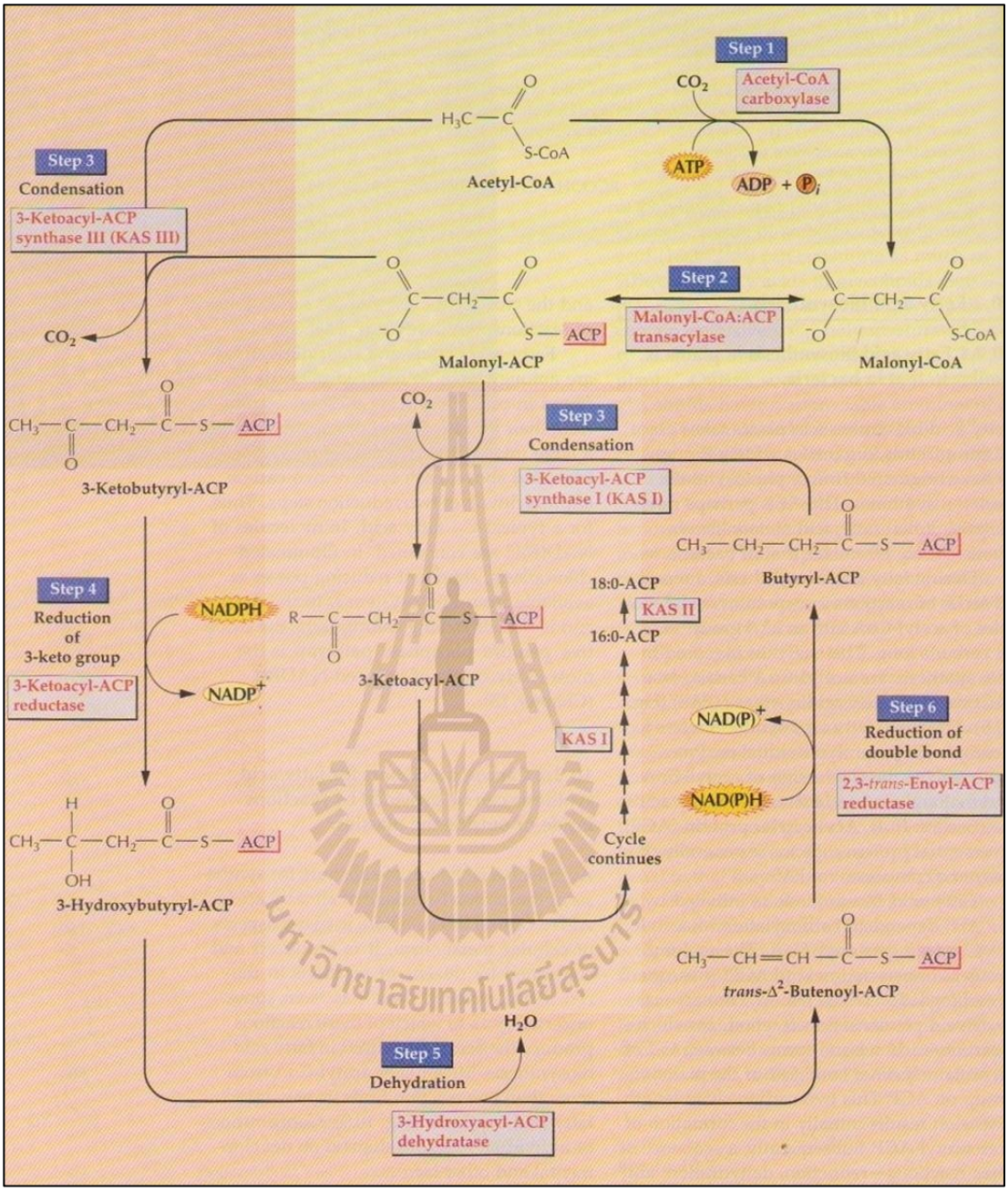
ในปัจจุบันน้ำมันทานตะวันได้มีบทบาทมากขึ้นในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเป็นน้ำมันที่บริโภคแล้วสามารถช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลที่จะนำไปสู่การเกิดภาวะหลอดเลือดแข็งตัวและอุดตัน ลดความเสี่ยงต่อโรคหัวใจ และป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง และการเสื่อมสภาพของสมอง เป็นต้น (เสก อักษรานุเคราะห์, 2540) อย่างไรก็ตามในน้ำมันทานตะวันมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีสัดส่วนของ PUFA สูง ซึ่งน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดนี้สูงจะมีข้อเสียคือ มีลักษณะไม่คงตัว เกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ง่าย เกิดสารอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะเมื่อมีการทำให้ร้อนจัด เช่น การทอดที่ใช้ความร้อนสูงหรือการใช้ทอดซ้ำหลายครั้ง นอกจากนี้ยังทำให้มีโอกาสเกิดกรดไขมันชนิดทรานส์ (trans fatty acids, TFA) ที่เกิดจากการเปลี่ยนโครงสร้างของพันธะคู่ของอะตอมของคาร์บอนให้อยู่ในรูปทรานส์ โดยมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงคล้ายกรดไขมันอิ่มตัว สามารถเปลี่ยนรูปจากของเหลวเป็นของแข็งได้ ซึ่งทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ เสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ (มโนวิช เรืองดิษฐ์, 2551) แต่หากน้ำมัน เช่น น้ำมันมะกอกซึ่งมีสัดส่วนของกรดไขมันชนิด MUFA สูง จะทำให้มีความคงตัวสูง ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศน้อย ลดการเกิดสารอนุมูลอิสระ ไม่เหม็นหืนง่าย และสามารถทนความร้อนได้ดี เป็นต้น (เสก อักษรานุเคราะห์, 2540) ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของกรดโอเลอิกให้สูงขึ้น

2.3 การสังเคราะห์กรดโอเลอิก

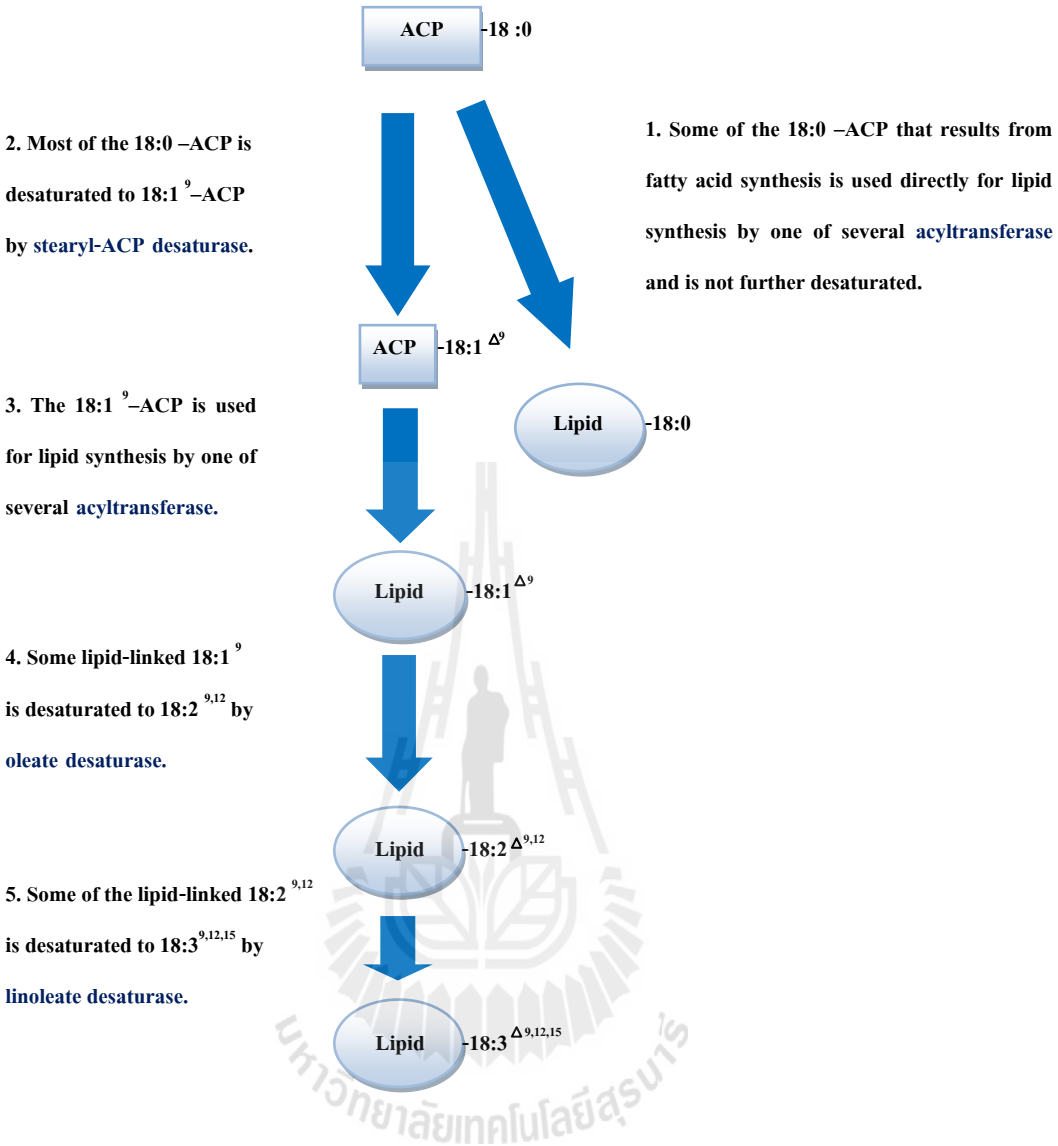
จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่ากรดโอเลอิกเป็นกรดไขมันที่สำคัญในน้ำมันทานตะวัน ดังนั้นการศึกษาถึงปริมาณของกรดโอเลอิกจึงต้องทราบถึงกระบวนการการสังเคราะห์กรดโอเลอิกด้วยเพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำให้กรดโอเลอิกในน้ำมันทานตะวันนั้นมีปริมาณและมีสัดส่วนที่ต้องการ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ซึ่งขั้นตอนการสังเคราะห์กรดโอเลอิกมีดังนี้

กรดโอเลอิกถูกสังเคราะห์ขึ้นในคลอโรพลาสต์ โดยเกิดจากการนำเอาหมู่ acetyl ของ acetyl-CoA มาต่อกันจนได้เป็นสายไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์กรดโอเลอิกจะเริ่มจากการที่ acetyl-CoA ทำปฏิกิริยากับ carboxybiotin (เกิดจาก biotin ซึ่งเป็น prosthetic group ที่เกาะอยู่กับ acetyl-CoA carboxylase (ACCase) ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมี ACCase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) ได้เป็น malonyl-CoA จากนั้น malonyl-CoA จะไปเชื่อมต่อกับ acyl-carrier protein (ACP) ได้ malonyl-ACP ต่อมา acetyl-CoA จะทำปฏิกิริยารวมตัวกับ malonyl-ACP เกิดเป็น acetoacetyl-ACP จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง 3 ขั้นตอน คือ reduction, dehydration และ reduction จนกระทั่งได้ saturated acyl-ACP ซึ่งมีจำนวนคาร์บอน 4 อะตอม (butyryl-ACP) โดยปฏิกิริยาตั้งแต่การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง acetyl-CoA กับ malonyl-ACP นี้จะเกิดขึ้นซ้ำหลายรอบ ทำให้จำนวนคาร์บอนของ acyl-ACP เพิ่มขึ้นทีละ 2 อะตอมต่อรอบ โดยมี malonyl-CoA เป็นตัวให้คาร์บอนเข้าไปต่อกับ acyl-ACP ปฏิกิริยาจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งได้ acyl-ACP ที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม (18 : 0-ACP) ดังรูปที่ 2.5 โดยการเกิดกรดโอเลอิกเกิดจากปฏิกิริยาการเติมพันธะคู่ โดยมีเอนไซม์ stearyl-ACP desaturase ทำการเปลี่ยนจาก (18 : 0-ACP) เป็น (18 : 1-ACP) และต่อมา ACP จะถูกตัดออกไปเหลือเป็นกรดไขมันอิสระ (18 : 1) โดยเอนไซม์ acyltransferase กลายเป็นกรดโอเลอิก ซึ่งกรดโอเลอิกนี้ก็สามารถเปลี่ยนเป็นกรดลิโนเลอิก (18 : 2) ได้เช่นกันโดยเอนไซม์ oleate desaturase ดังรูปที่ 2.6

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.5 การสังเคราะห์กรดโอเลอิก (Buchanan et al., 2000)



รูปที่ 2.6 เอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการเติมพันธะคู่ให้กับกรดไขมันชนิดต่าง ๆ (Buchanan et al., 2000)

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดโอเลอิกและลักษณะอื่น ๆ

จากหลายการทดลองที่มีการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะกรดโอเลอิกในทานตะวัน และพืชอื่น ๆ พบว่าปริมาณกรดโอเลอิกมีความสัมพันธ์กับปริมาณลักษณะกรดไขมันชนิดอื่น ๆ โดยกรดโอเลอิกมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับกรดลิโนเลอิก คือ เมื่อมีกรดโอเลอิกสูงจะส่งผลทำให้ปริมาณกรดลิโนเลอิกลดลง (Demurin et al., 2000; Santonoceto et al., 2002) ซึ่งในทานตะวันที่มีกรดโอเลอิกสูงมักจะมีปริมาณกรดลิโนเลอิกต่ำ และมีค่าสหสัมพันธ์ระหว่างกรดโอเลอิกและกรดลิโนเลอิกในทางลบสูงเท่ากับ -0.99 (Santonoceto et al., 2002) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในประเทศปากีสถาน ของ Hasan and Ahmad (2003) ที่ทดสอบในทานตะวันก็พบเช่นเดียวกันว่ากรดโอเลอิกมีความสัมพันธ์แบบลบกับกรดลิโนเลอิก โดยพบว่ามีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ -0.81

ในน้ำมันทานตะวันนอกจากพบว่ากรดโอเลอิกมีความสัมพันธ์กับกรดลิโนเลอิกแล้ว ยังพบว่ามีความสัมพันธ์กับกรดสเตียริกด้วย ซึ่งมีรายงานว่ามีค่าสหสัมพันธ์ในทางบวกกับกรดสเตียริกเท่ากับ 0.79 (Baydar and Erbas, 2005) นั่นคือเมื่อพบกรดโอเลอิกสูงก็จะพบว่ามีปริมาณกรดสเตียริกสูงด้วย นอกจากนี้ยังพบว่ากรดโอเลอิกมีความสัมพันธ์กับลักษณะอื่น เช่น เปอร์เซ็นต์น้ำมัน และเปอร์เซ็นต์วิตามิน E (tocopherol) โดยพบว่ากรดโอเลอิกมีความสัมพันธ์ในทางลบหรือในทางตรงกันข้ามกับเปอร์เซ็นต์น้ำมัน (-0.69) และมีค่าสหสัมพันธ์ทางบวก (0.79) กับเปอร์เซ็นต์วิตามิน E (Baydar and Erbas, 2005)

ในการศึกษาความสัมพันธ์ของกรดโอเลอิกกับลักษณะอื่นในพืชชนิดอื่นก็ได้ผลการทดลองในทำนองเดียวกัน เช่น Schierholt and Becker (2001) ได้ทำการศึกษาปริมาณกรดโอเลอิกในเรพซีด พบเช่นเดียวกันว่ากรดโอเลอิกมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับกรดลิโนเลอิก กรดปาล์มิติก และกรดสเตียริก โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ -0.98, -0.71 และ -0.59 ตามลำดับ และยังมีค่าสหสัมพันธ์ทางบวก (0.42) กับเปอร์เซ็นต์น้ำมัน นอกจากนี้ Cosge et al. (2007) ได้ศึกษาในคำฝอย ซึ่งพบว่าปริมาณกรดโอเลอิกมีความสัมพันธ์ในทางลบกับปริมาณกรดลิโนเลอิก (-0.99) และกรดอะราชิดิก (-0.85)

2.5 การถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิก

เนื่องจากลักษณะกรดโอเลอิกเป็นลักษณะปริมาณ และการแสดงออกของลักษณะมีผลของยีนและสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้นการศึกษาการแสดงออกของลักษณะจะทำให้สามารถเลือกใช้วิธีการปรับปรุงพันธุ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสบความสำเร็จ โดยจากการศึกษาอัตราพันธุกรรมของลักษณะกรดโอเลอิกสูงพบว่ามี อัตราพันธุกรรมอย่างกว้าง (broad sense heritability) สูงถึง 0.93 (Schierholt and Becker, 2001) โดยมีการศึกษาการถ่ายทอดลักษณะนี้ทั้งใน

พืชผสมตัวเองและพืชผสมข้าม สำหรับในทานตะวัน ในปี 1984 Fick ได้ทำการทดลองโดยการผสมพันธุ์ทานตะวันระหว่างสายพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกสูงและต่ำ จำนวน 1 คู่ จากนั้นทำการผลิตลูกชั่ว F_2 และลูกผสมกลับ แล้วนำลูกในชั่ว F_2 และลูกผสมกลับมาปลูกทดสอบ พบว่า ลักษณะกรดโอเลอิกสูงถูกควบคุมโดยยีนเด่น (dominant gene) 1 คู่ (Ol) โดยมีการข่มแบบไม่สมบูรณ์ (partially dominant gene) ต่อมา Urie (1985) ได้ทำการทดลองคล้ายคลึงกัน พบเช่นเดียวกันว่าลักษณะกรดโอเลอิกสูงถูกควบคุมโดยยีนเด่น 1 คู่ อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Miller et al. (1987) พบว่าลักษณะดังกล่าวถูกควบคุมโดยยีนเด่น (Ol) และยีนดัดแปลง (modifier gene) ซึ่งยีนดัดแปลงนี้ มีลักษณะเป็นยีนด้อย (ml) นอกจากนี้ในการศึกษาของ Fernández-Martínez et al. (1989) พบว่า กรดโอเลอิกสูงในทานตะวันเป็นลักษณะที่ควบคุมโดยยีนเด่น 3 คู่ (Ol_1, Ol_2 และ Ol_3) อย่างไรก็ตาม การถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวันยังไม่พบว่ามีผลของ maternal effect (Urie, 1985; Miller et al., 1987; Demurin et al., 2000)

สำหรับการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในพืชชนิดอื่นให้ผลการทดลองที่แตกต่างออกไป เช่น Moore and Knauft (1989) ได้ผสมพันธุ์ระหว่างถั่วลิสง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกต่ำ 1 สายพันธุ์ และสายพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกสูง 2 สายพันธุ์ ได้ลูกผสมในชั่ว F_1, F_2, F_3 และเมื่อทำการผสมกลับ และนำมาปลูกทดสอบ พบว่าลักษณะกรดโอเลอิกสูงควบคุมโดยยีนด้อย 2 คู่ (ol_1 และ ol_2) สำหรับการศึกษาการถ่ายทอดลักษณะโอเลอิกในคำฝอย Hamdan et al. (2009) ได้นำสายพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกต่ำ 1 สายพันธุ์ มาผสมพันธุ์กับสายพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกสูง 2 สายพันธุ์ จากนั้นทำการปลูกทดสอบลูกในชั่ว F_1, F_2 และ F_3 พบว่าลักษณะกรดโอเลอิกสูงในคำฝอยถูกควบคุมโดยยีนด้อย 1 คู่

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวันนั้นยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนเกี่ยวกับการแสดงออกของยีนและจำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะดังกล่าว รวมถึงอัตราพันธุกรรม ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะมีผลต่อการเลือกใช้วิธีการปรับปรุงพันธุ์ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาเพื่อหาข้อสรุปให้ได้ผลที่ชัดเจนและถูกต้อง ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงพันธุ์ทานตะวันเพื่อให้ได้กรดโอเลอิกสูงต่อไป

2.6 อิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อปริมาณกรดโอเลอิก

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณกรดโอเลอิกนอกจากขึ้นอยู่กับพันธุกรรมและการแสดงออกของยีนแล้ว สภาพแวดล้อมยังเป็นสิ่งหนึ่งที่มีอิทธิพลในการช่วยส่งเสริมหรือบดบังการแสดงออกของกรดโอเลอิกสูงได้ (รูปที่ 2.7) ซึ่งมีรายงานจากการทดลองต่าง ๆ ดังนี้

2.6.1 อุณหภูมิ อุณหภูมิในขณะปลูก เป็นปัจจัยหนึ่ง ที่มีผลต่อลักษณะกรดโอเลอิก โดย

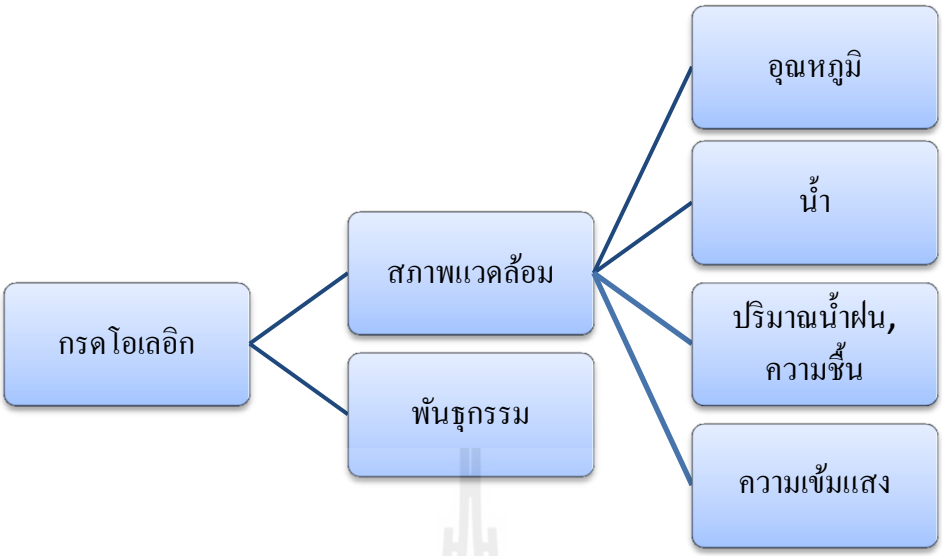
อุณหภูมิ จะมีอิทธิพลทั้งในทานตะวันสายพันธุ์ปกติและสายพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกสูง (Harris et al., 1978) ซึ่งในช่วงของการปลูกทานตะวันในระยะสุกแก่เมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณกรดโอเลอิกสูงขึ้น (Ahmad and Hassan, 2000) นอกจากนี้ Demurin et al. (2000) ก็พบเช่นเดียวกันว่าอุณหภูมิในช่วงการพัฒนาของเมล็ดทานตะวันมีผลต่อปริมาณกรดโอเลอิก โดยถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณกรดโอเลอิกสูงขึ้น 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกิดเนื่องจากอุณหภูมิมีผลกับการทำงานของเอนไซม์ oleate desaturase โดยเมื่ออุณหภูมิต่ำจะมีการกระตุ้นการเกิดเอนไซม์ oleate desaturase ซึ่งเอนไซม์นี้จะช่วยในการสังเคราะห์กรดลิโนเลอิก โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนจากกรดโอเลอิกไปเป็นกรดลิโนเลอิก ส่งผลให้ปริมาณกรดโอเลอิกลดลง แต่หากอุณหภูมิสูงขึ้นเอนไซม์ดังกล่าวจะถูกยับยั้ง ไม่มีการเปลี่ยนจากกรดโอเลอิกเป็นกรดลิโนเลอิก ส่งผลให้มีปริมาณกรดโอเลอิกสูงขึ้น(Sarmiento et al.,1998)

นอกจากมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์แล้วอุณหภูมิยังมีผลต่อปริมาณกรดไขมันชนิดอื่น ๆ ด้วย โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้กรดลิโนเลอิกและกรดสเตียริกมีปริมาณลดลง (Qadir et al., 2007)

2.6.2 การให้น้ำ การทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของน้ำกับปริมาณกรดโอเลอิกในทานตะวัน พบว่า เมื่อปลูกทานตะวันในสภาพขาดน้ำ (water stress) ช่วงหลังการออกดอกจนถึงการติดเมล็ด พบว่าทานตะวันจะมีปริมาณของกรดโอเลอิกสูงกว่าเมื่อเทียบกับในสภาพให้น้ำปกติ (Baldini et al., 2000; Flagella et al., 2000) เช่นเดียวกันกับทานตะวันสายพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกสูง เมื่ออยู่ในสภาพขาดน้ำในช่วงหลังการออกดอกจนถึงการติดเมล็ด สัดส่วนของกรดโอเลอิกจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากในสภาพขาดน้ำจะมีช่วงการพัฒนาเมล็ดเร็วกว่าปกติ ซึ่งทำให้การกระตุ้นของเอนไซม์ oleoyl phosphatidylcholine desaturase (△12 desaturase) เกิดขึ้นในช่วงสั้นๆ โดยมีผลทำให้กรดโอเลอิกเปลี่ยนไปเป็นกรดลิโนเลอิกลดลง ส่งผลให้กรดโอเลอิกมีปริมาณสูงขึ้น (Baldini et al., 2002)

2.6.3 ปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์ ในสภาพแวดล้อมแต่ละฤดูย่อมมีปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน โดยในการปลูกพืชที่ต้องการปริมาณน้ำมันและกรดโอเลอิกสูงอาจมีอิทธิพลของปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งมีการทดลองของ Mhanhmad et al. (2011) พบว่าน้ำมันและกรดโอเลอิกของปาล์มน้ำมันเมื่อปลูกในฤดูแล้ง ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนและความชื้นต่ำจะให้ปริมาณสูงกว่าในฤดูฝน

2.6.4 ความเข้มแสง ความเข้มแสงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำมันและกรดไขมัน โดยจากการศึกษาในพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ทานตะวัน ถั่วเหลือง ข้าวโพด และเรพซีด พบว่าความเข้มแสงในช่วงการติดเมล็ดมีผลต่อปริมาณน้ำมันและกรดไขมัน โดยเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้กรดโอเลอิกเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในทานตะวันยังพบว่ามีการลดลงของกรดลิโนเลอิก (Izquierdo et al., 2009; Zuil et al., 2012)



รูปที่ 2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณกรดโอเลอิกในน้ำมันทานตะวัน

ดังนั้นจะเห็นว่าลักษณะกรดโอเลอิกนี้มีผลมาจากพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม หากต้องการปรับปรุงพันธุ์ทานตะวันให้มีกรดโอเลอิกสูงจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิก เพื่อเลือกใช้วิธีการปรับปรุงพันธุ์ให้ประสบผลสำเร็จ และได้สายพันธุ์ทานตะวันที่ดีมีปริมาณกรดโอเลอิกสูง นอกจากนี้การศึกษาสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเพิ่ม-ลดปริมาณกรดโอเลอิก จะเป็นข้อมูลที่สำคัญเพื่อการจัดการที่เหมาะสมในการปลูกการจัดการเพื่อนำไปสู่การเพิ่มปริมาณกรดโอเลอิกได้อย่างเหมาะสม

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ เพื่อศึกษาผลของยีน การแสดงออกและการถ่ายทอดลักษณะของกรดโอเลอิกสูงในทานตะวัน รวมถึงศึกษาอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีต่อการแสดงออกของลักษณะโอเลอิกสูง ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ได้แก่

3.1 การศึกษาการแสดงออกของยีนและการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวัน

3.1.1 การกระจายตัวของลักษณะกรดโอเลอิกสูงในประชากรต่างๆ ของทานตะวัน

3.1.1.1 สายพันธุ์ทานตะวัน

เมล็ดพันธุ์ทานตะวัน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ 2A และ 5A ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันสูง โดยสายพันธุ์เหล่านี้เป็นสายพันธุ์ที่มีปริมาณกรดโอเลอิกต่ำ ที่ได้จากการคัดเลือกของโครงการปรับปรุงพันธุ์ทานตะวัน สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และสายพันธุ์ทานตะวัน จาก North Central Regional Plant Introduction Station (NCRPIS) สหรัฐอเมริกา จำนวน 1 สายพันธุ์ ได้แก่ PI 649855 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีปริมาณกรดโอเลอิกสูง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

3.1.1.2 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัย และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (F1, F3)

ตารางที่ 3.1 ลักษณะของสายพันธุ์ทานตะวันที่ใช้ในการทดลอง

สายพันธุ์	แหล่งรวบรวมพันธุ์	ปริมาณกรดโอเลอิก (%)
2A (Inbred line)	มทส, ประเทศไทย	20-23
5A (Inbred line)	มทส, ประเทศไทย	20-23
PI 649855 (ผสมเปิด)	NCRPIS/USDA,สหรัฐอเมริกา	80-85

3.1.1.3 วิธีการทดลอง

1) การสร้างประชากร F_1 ปลูกทานตะวันทั้ง 3 สายพันธุ์ ให้ออกดอกในช่วงเดียวกัน

แล้วทำการผสมข้าม โดยนำสายพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกต่ำ (2A และ 5A) มาผสมข้ามกับสายพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกสูง (PI 649855) ได้ลูกผสม F_1 ทั้งหมด 2 คู่ผสม ดังนี้

	พันธุ์แม่ (P_2)		พันธุ์พ่อ (P_1)
คู่ที่ 1	2A	x	PI 649855
คู่ที่ 2	5A	x	PI 649855

เมื่อได้เมล็ด F_1 ทำการแบ่งเมล็ดเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 เก็บไว้ปลูกทดสอบ ส่วนที่ 2 ผลิตเป็นประชากร F_2 ต่อไป

2) การสร้างประชากร F_2 นำเมล็ดทานตะวันลูกผสมทั้ง 2 คู่ผสม ในข้อ 1) มาปลูกให้ผสมตัวเอง โดยเมื่อถึงระยะ R5 ซึ่งเป็นช่วงที่ดอกกำลังจะบานทำการคลุมดอกด้วยถุงกระดาษเพื่อไม่ให้มีละอองเกสรปนกันในแต่ละดอก จากนั้นเก็บเกี่ยวเมล็ด F_2 ของแต่ละคู่ผสม แล้วนำเมล็ดไปปลูกทดสอบ

3) การปลูกทดสอบ นำทานตะวันทั้ง 4 ประชากรของแต่ละคู่ผสม ได้แก่ P_1, P_2, F_1 และ F_2 มาปลูกทดสอบในแปลง โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (randomized complete block design, RCBD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยในแต่ละประชากรปลูกเป็นแปลงย่อยที่มีขนาดแปลงยาว 5 เมตร ระยะระหว่างแถว 70 เซนติเมตร ระยะระหว่างต้น 30 เซนติเมตร ในแต่ละประชากรของ P_1, P_2 และ F_1 ทำการปลูกจำนวน 30 ต้น/ซ้ำ ส่วนประชากรของ F_2 ปลูกจำนวน 80 ต้น/ซ้ำ เมื่อถึงระยะสุกแก่ทำการเก็บเกี่ยวทุกต้นแล้วนวดเมล็ดเป็นรายต้น หลังจากนั้นทำการบันทึกข้อมูล

3.1.1.4 การบันทึกข้อมูล

ทำการสุ่มเก็บข้อมูลในแต่ละประชากรดังนี้ คู่ผสม 2A x PI 649855 ใช้ P_1, P_2, F_1 และ F_2 จำนวน 13, 15, 15 และ 60 ต้น/ซ้ำ ตามลำดับ ส่วนคู่ผสม 5A x PI 649855 ใช้ P_1, P_2, F_1 และ F_2 จำนวน 13, 13, 14 และ 60 ต้น/ซ้ำ ตามลำดับ โดยบันทึกข้อมูลปริมาณกรดโอเลอิกเป็นรายต้น ซึ่งการหาปริมาณกรดโอเลอิก มีดังนี้

ปริมาณกรดโอเลอิก ทำโดยใช้เครื่อง Near Infrared Spectroscopy (NIR) เพื่อหาปริมาณกรดโอเลอิก โดยมีขั้นตอนดังนี้

- นำเมล็ดทานตะวันจำนวน 3 กรัม ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้น แล้วนำมาบดให้ละเอียด

- นำตัวอย่างทานตะวันที่บดแล้วใส่ใน vial ขนาด 8 มิลลิลิตร จากนั้นนำ vial ที่บรรจุตัวอย่างไปวัดสเปกตรัม โดยใช้เครื่อง NIR รุ่น NIRFlex N–500 ซึ่งเมื่อวัดโดยใช้เครื่อง NIR จะได้ค่าสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 750–2,500 นาโนเมตร

- นำค่าสเปกตรัมที่ได้จากการวัดโดยเครื่อง NIR ไปวิเคราะห์ข้อมูลโดยการ calibrate เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่วัดโดยใช้เครื่อง Gas Chromatography (GC)* เพื่อสร้างสมการหาค่าปริมาณกรดโอเลอิก ซึ่งสมการที่เหมาะสมควรมีค่า coefficient of determination of calibration (R^2) สูง ส่วนค่า standard error of calibration (SEC) และค่า standard error of cross validation (SECV) ควรมีค่าใกล้เคียงกันและให้ค่าที่ต่ำที่สุด

- จากนั้นนำสมการที่เหมาะสมไปใช้ในการทำนายปริมาณกรดโอเลอิกของตัวอย่างทั้งหมด

* <u>หมายเหตุ</u> การวิเคราะห์หาปริมาณกรดโอเลอิกในทานตะวันโดยใช้เครื่อง GC ทำได้โดยการนำเมล็ดทานตะวันที่แกะเปลือกแล้ว 3 กรัม มาบดและทำการสกัดแยกเป็นน้ำมันตามวิธีของ Garces and Mancha (1993) จากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดโอเลอิก โดยใช้เครื่อง GC (AOCS, 1997b)

3.1.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลลักษณะกรดโอเลอิกที่ได้จากทุกต้นของแต่ละประชากรมาหาค่าเฉลี่ยวาเรียนซ์ แล้วนำไปวิเคราะห์การกระจายตัวของประชากร P_1, P_2, F_1 และ F_2 และวิเคราะห์หาจำนวนคู่ของยีนที่ควบคุมลักษณะกรดโอเลอิก โดยมีวิธีการวิเคราะห์ ดังนี้

วิเคราะห์การกระจายตัวของประชากร P_1, P_2, F_1 และ F_2 นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนเป็นฮิสโตแกรม และทดสอบการกระจายตัวของประชากร F_2 โดยใช้ไค–สแควร์ ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\chi^2 = \sum \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$$

เมื่อ i = 1, 2, …, n; o = ค่าสังเกตได้ และ e = ค่าคาดหมาย

การทดสอบ นำค่าไค–สแควร์ที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่าไค–สแควร์จากตาราง ที่ df = n-1 ทั้งนี้ n คือ จำนวนชั้นของการกระจายตัวของข้อมูล หากไม่มีค่านัยสำคัญ แสดงว่าเป็นไปตามทฤษฎี แต่หากมีค่านัยสำคัญแสดงว่าอัตราส่วนของค่าสังเกตไม่สอดคล้องกับอัตราส่วนของค่าคาดหมาย

การวิเคราะห์จำนวนคู่ของยีนที่ควบคุมลักษณะ ทำการศึกษาจำนวนคู่ของยีนที่ควบคุมลักษณะ (Sinnot et al., 1953) จากสูตร

$$k = \frac{(\bar{P}_1 - \bar{P}_2)^2}{8(V_{F_2} - V_{F_1})}$$

เมื่อ k = จำนวนคู่ของยีน

$\bar{P}_1$ = ค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อ

$\bar{P}_2$ = ค่าเฉลี่ยของพันธุ์แม่

V_{F_1} = วาเรียนซ์ของลูกผสมชั่วที่ 1

V_{F_2} = วาเรียนซ์ของลูกผสมชั่วที่ 2

3.1.2 การศึกษาการแสดงออกของยีนและการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวัน

3.1.2.1 สายพันธุ์ทานตะวัน

เมล็ดพันธุ์ทานตะวัน 2 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ 2A และ PI 649855 ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในข้อ 3.1.1.1 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

3.1.2.2 วิธีการทดลอง

1) การสร้างประชากร F_1 และ F_2 ปลูกทานตะวันทั้ง 2 สายพันธุ์ ให้ออกดอกในช่วงเดียวกัน แล้วทำการผสมข้าม โดยนำสายพันธุ์ 2A ผสมกับสายพันธุ์ PI 649855 ได้ลูกผสม F_1 จากนั้น นำเมล็ดทานตะวันลูกผสม F_1 มาปลูกให้ผสมตัวเอง โดยเมื่อถึงระยะ R5 ซึ่งเป็นช่วงที่ดอกกำลังจะบานทำการคลุมดอกด้วยถุงกระดาษ เพื่อไม่ให้มีละอองเกสรปนกันในแต่ละดอก จากนั้นเก็บเกี่ยวเมล็ด F_2 แล้วนำเมล็ดไปปลูกทดสอบ

2) การสร้างประชากร BC_1 และ BC_2 นำเมล็ดทานตะวันลูกผสม F_1 ที่ได้จากในข้อ 1) มาผสมกลับไปยังสายพันธุ์ PI 649855 ที่มีกรดโอเลอิกสูง (P_1) ได้ประชากร BC_1 และ F_1 ผสมไปยังสายพันธุ์ 2A ที่มีกรดโอเลอิกต่ำ (P_2) ได้ประชากร BC_2 จากนั้นเก็บเกี่ยวเมล็ด BC_1 และ BC_2 แล้วนำเมล็ดไปปลูกทดสอบ

3) การปลูกทดสอบ นำทานตะวันทั้ง 6 ประชากรของคู่ผสม 2A x PI 649855 ได้แก่ P_1, P_2, F_1, F_2, BC_1 และ BC_2 มาปลูกทดสอบในแปลง โดยทำเช่นเดียวกับข้อ 3) ใน 3.1.1 3 จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลของลักษณะต่าง ๆ

3.1.2.3 การบันทึกข้อมูล

ทำการสุ่มเก็บข้อมูลในแต่ละประชากร โดยใน P_1, P_2 และ F_1 จำนวน 13, 15 และ 15 ตามลำดับ ส่วน F_2, BC_1 และ BC_2 จำนวน 60, 35 และ 75 ต้น/ซ้ำ ตามลำดับ โดยบันทึกข้อมูลปริมาณกรดโอเลอิกเป็นรายต้น โดยการวิเคราะห์ปริมาณกรดโอเลอิกทำเช่นเดียวกับข้อ 3.1.1.4 ซึ่งเกณฑ์ในการแบ่งระดับปริมาณกรดโอเลอิกออกเป็น 3 ระดับ (Izquierdo et al., 2002) ดังนี้

กรดโอเลอิกต่ำ	1–50	เปอร์เซ็นต์
กรดโอเลอิกปานกลาง	50–65	เปอร์เซ็นต์
กรดโอเลอิกสูง	$>$ 65	เปอร์เซ็นต์

3.1.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้ไปทดสอบมาตราวัดและความสอดคล้องกับ additive–dominance model โดยวิธี scaling test (Mather, 1949) วิเคราะห์การแสดงออกของยีนโดยวิธี generation mean analysis ตามวิธีของ Hayman (1958) และคำนวณหาอัตราพันธุกรรมอย่างแคบและอย่างกว้างตามวิธีการของ Warner (1952) โดยใช้ค่าเฉลี่ยและวาเรียนซ์ในการวิเคราะห์ดังนี้

1) การทดสอบมาตราวัดและความสอดคล้องกับ additive-dominance model โดยวิธี scaling test (Mather, 1949)

คำนวณค่า A, B และ C และวาเรียนซ์ของแต่ละประชากร ดังนี้

$$A = 2\overline{BC_1} - \overline{P_1} - \overline{F_1}$$

$$B = 2\overline{BC_2} - \overline{P_2} - \overline{F_1}$$

$$C = 4\overline{F_2} - 2\overline{F_1} - \overline{P_1} - \overline{P_2}$$

เมื่อ $\overline{P_1}$, $\overline{P_2}$, $\overline{F_1}$, $\overline{F_2}$, $\overline{BC_1}$ และ $\overline{BC_2}$ คือค่าเฉลี่ยของประชากร P_1, P_2, F_1, F_2, BC_1, BC_2 หารด้วยจำนวนค่าสังเกตในแต่ละประชากร ตามลำดับ

การทดสอบ ถ้าค่า A, B หรือ C มีค่าไม่เท่ากับ 0 แสดงว่าการแสดงออกของยีนไม่สอดคล้องกับสมการแบบบวก-ข่ม หรืออาจมีการแสดงออกของยีนแบบข่มข้ามคู่ (epistasis)

ทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ t-test ดังนี้

$$t_{(A)} = \frac{A}{\sqrt{V_A}}$$

$$t_{(B)} = \frac{B}{\sqrt{V_B}}$$

$$t_{(c)} = \frac{C}{\sqrt{V_C}}$$

ค่า V_A, V_B และ V_C คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$V_A = 4V_{BC1} + V_{P1} + V_{F1}$$

$$V_B = 4V_{BC2} + V_{P2} + V_{F1}$$

$$V_C = 16V_{F2} + 4V_{F1} + V_{P1} + V_{P2}$$

เมื่อ V_{P1}, V_{P2}, V_{F1}, V_{F2}, V_{BC1} และ V_{BC2} คือวาเรียนซ์ของประชากร P_1, P_2, F_1, F_2, BC_1 และ BC_2 หารด้วยจำนวนค่าสังเกตในแต่ละประชากร ตามลำดับ

นำค่า $t_{(A)}$, $t_{(B)}$ และ $t_{(C)}$ ไปเปรียบเทียบกับค่าจากตาราง t ที่ df = จำนวนค่าสังเกตของประชากรทั้งหมด–จำนวนประชากร หากไม่มีค่านัยสำคัญ แสดงว่าเป็นไปตามทฤษฎี แต่หากมีนัยสำคัญแสดงว่าไม่เป็นไปตามสมการแบบบวก-ข่ม หรือมีการแสดงออกของปฏิกิริยาของยีนแบบ

ข่มข้ามคู่ (epistasis) ซึ่งให้ทำการประเมินการแสดงออกของยีนโดยการวิเคราะห์ generation mean โดยวิธีของ Hayman (1958) ต่อไป

2) การวิเคราะห์ generation mean ทำการวิเคราะห์การแสดงออกของยีนโดยการหาค่าเฉลี่ยของชั่วรุ่นต่าง ๆ ตามวิธีของ Hayman (1958) ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$m = \frac{1}{2}\overline{P_1} + \frac{1}{2}\overline{P_2} + 4\overline{F_2} - 2\overline{BC_1} - 2\overline{BC_2}$$

$$d = \frac{1}{2}\overline{P_1} - \frac{1}{2}\overline{P_2}$$

$$h = 6\overline{BC_1} + 6\overline{BC_2} - \overline{F_1} - 8\overline{F_2} - \frac{3}{2}\overline{P_1} - \frac{3}{2}\overline{P_2}$$

$$i = 2\overline{BC_1} + 2\overline{BC_2} - 4\overline{F_2}$$

$$j = 2\overline{BC_1} - 2\overline{BC_2} - \overline{P_1} + \overline{P_2}$$

$$l = \overline{P_1} + \overline{P_2} + 2\overline{F_1} + 4\overline{F_2} - 4\overline{BC_1} - 4\overline{BC_2}$$

เมื่อ m = ค่ากึ่งกลางระหว่าง homozygous recessive กับ homozygous dominance

d = อิทธิพลของยีนแบบบวก (additive gene effects)

h = อิทธิพลของยีนแบบข่ม (dominance gene effects)

i = ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างยีนแบบผลบวกกับผลบวก (additive x additive gene effects)

j = ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างยีนแบบผลบวกกับข่ม (additive x dominance gene effects)

l = ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างยีนแบบข่มกับข่ม (dominance x dominance gene effects)

การทดสอบนัยสำคัญของอิทธิพลของยีนที่ได้ทำโดยตรวจสอบค่า t โดย

$$t = \frac{X}{S_{\bar{x}}}$$

เมื่อ X = ปฏิกิริยาของยีนแบบต่างๆ ที่คำนวณได้จากสมการข้างต้น

$S_{\bar{x}}$ = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประเมินตามปฏิกิริยาของยีนนั้น

3) การวิเคราะห์อัตราพันธุกรรม ทำการหาอัตราพันธุกรรมโดยใช้วาเรียนซ์ของพันธุ์พ่อ พันธุ์แม่ (P_1, P_2) ลูกผสม (F_1, F_2) และลูกผสมกลับจาก F_1 ไปยัง P_1 และ P_2 (BC_1 และ BC_2 ตามลำดับ) เพื่อศึกษาอัตราพันธุกรรมอย่างแคบ (narrow sense heritability) และอัตราพันธุกรรมอย่างกว้าง (broad sense heritability) ตามวิธีของ Warner (1952) ดังนี้

อัตราพันธุกรรมอย่างแคบ

$$h_n^2 = \frac{2V_{F2}-(V_{BC1}+V_{BC1})}{V_{F2}} \times 100$$

อัตราพันธุกรรมอย่างกว้าง

$$h_b^2 = \frac{V_{F2}-(V_{P1}+V_{P2}+V_{F1})/3}{V_{F2}} \times 100$$

เมื่อ h_n^2 = อัตราพันธุกรรมอย่างแคบ

h_b^2 = อัตราพันธุกรรมอย่างกว้าง

V_{P1} = วาเรียนซ์ของ P_1

V_{P2} = วาเรียนซ์ของ P_2

V_{F1} = วาเรียนซ์ของ F_1

V_{F2} = วาเรียนซ์ของ F_2

V_{BC1} = วาเรียนซ์ของ BC_1

V_{BC2} = วาเรียนซ์ของ BC_2

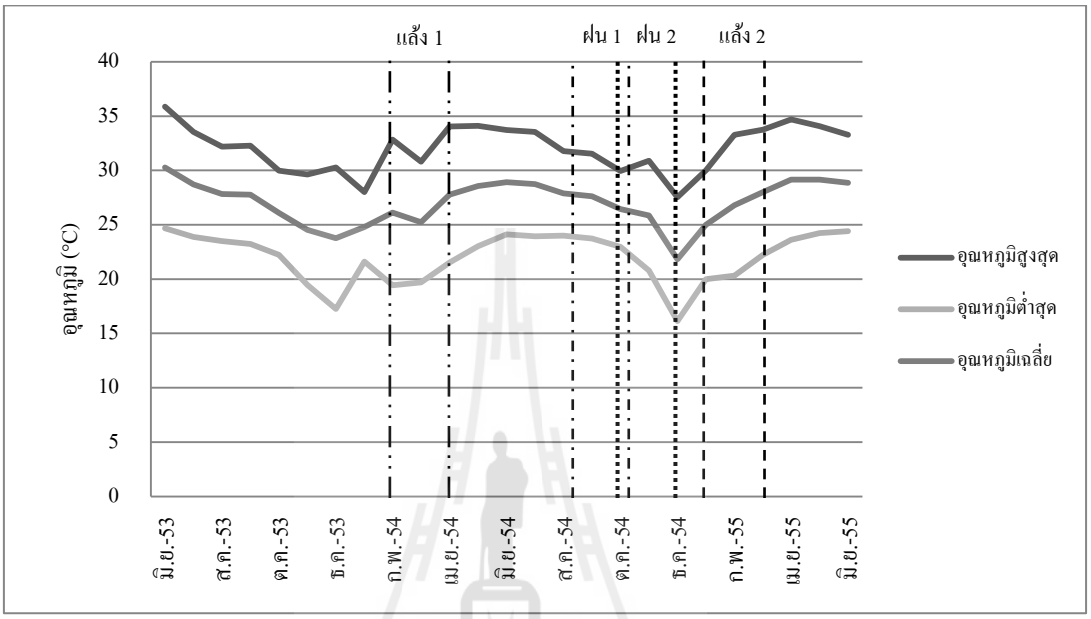
3.2 ผลของสภาพแวดล้อมต่อปริมาณกรดโอเลอิกในทานตะวัน

3.2.1 ข้อมูลลักษณะสภาพภูมิอากาศโดยทั่วไป

รวมรวบข้อมูลลักษณะภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน และความเข้มแสงเฉลี่ย จากสถานีทดลองศึกษาและทดลองการใช้น้ำชลประทานบ้านห้วยยาง ตำบลโคกกรวด อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 1 และรูปที่ 3.1–3.4 โดยในรูปจะแสดงเส้นประ เพื่อแสดงช่วงติดเมล็ดซึ่งเป็นช่วงที่มีอิทธิพลต่อปริมาณกรดโอเลอิกของน้ำมันทานตะวัน โดยในฤดูแล้งครั้งที่ 1 ช่วงการติดเมล็ดจะแสดงโดยเป็นช่วงที่อยู่ระหว่างเส้นประ –··– ฤดูฝนครั้งที่ 1 แสดงเป็นเส้นประ-·-·- ส่วนฤดูฝนครั้งที่ 2 แสดงเป็นเส้นประ····· และฤดูแล้งครั้งที่ 2 แสดงเป็นเส้นประ ---- ดังแสดงในรูป 3.1

จากรูปที่ 3.1 แสดงอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ย ของทั้ง 4 วันปลูก ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำสุด–สูงสุด ตั้งแต่ 16.12–34.09 องศาเซลเซียส เนื่องจากในสภาพแวดล้อมช่วงการติดเมล็ดมีผลต่อปริมาณกรดโอเลอิก ดังนั้นการแสดงของสภาพแวดล้อมจะให้เห็นในช่วงของการติดเมล็ด โดยอุณหภูมิในช่วงการปลูกในฤดูแล้งครั้งที่ 1 ที่ปลูกในเดือนพฤศจิกายน 2553 และเก็บเกี่ยวในเดือนเมษายน 2554 มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 19.43–34.03 องศาเซลเซียส ในฤดูฝนครั้งที่ 1 ปลูกในเดือนมิถุนายน 2554 และเก็บเกี่ยวในเดือนกันยายน 2554 มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 23.73–31.77

องศาเซลเซียส ส่วนฤดูฝนครั้งที่ 2 ปลูกในเดือนกรกฎาคม 2554 และเก็บเกี่ยวในเดือนพฤศจิกายน 2554 มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20.78–30.90 องศาเซลเซียส และฤดูแล้งครั้งที่ 2 ปลูกในเดือนตุลาคม 2554 และเก็บเกี่ยวในเดือนกุมภาพันธ์ 2555 มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 16.12–33.29 องศาเซลเซียส

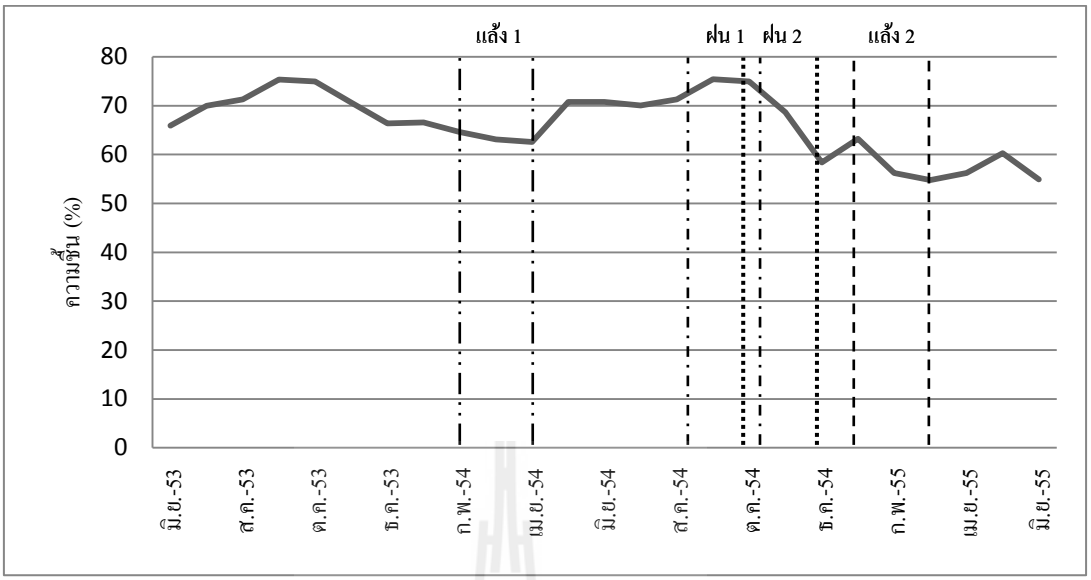


รูปที่ 3.1 อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการปลูกตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2553 ถึงเดือนมิถุนายน 2555

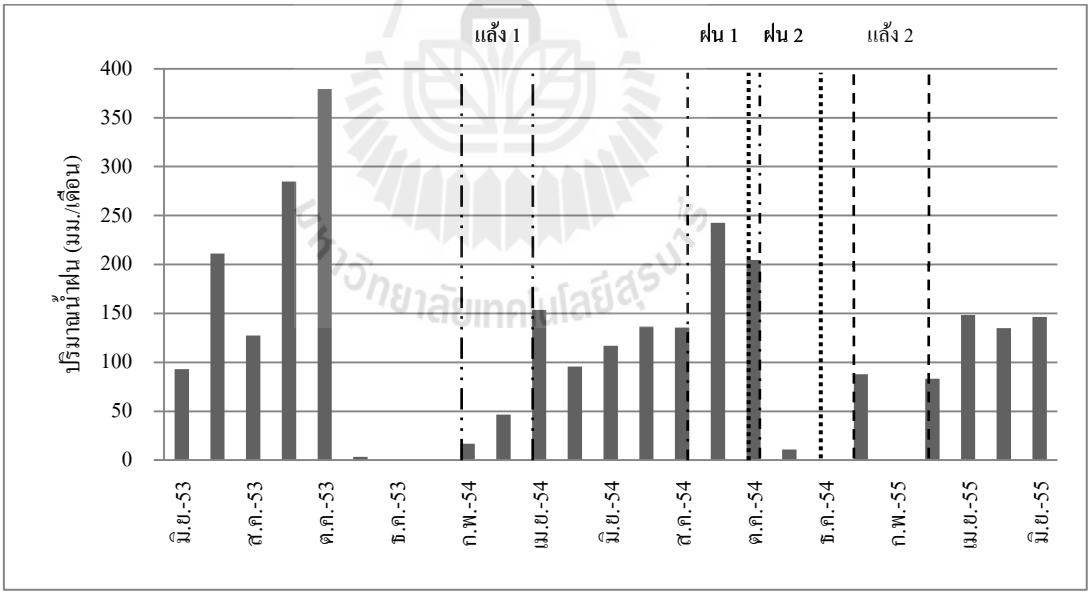
ความชื้นในช่วงการปลูกทานตะวัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ในฤดูแล้งครั้งที่ 1 มีความชื้นอยู่ในช่วง 62.58–64.62 เปอร์เซ็นต์ โดยฤดูฝนครั้งที่ 1 มีความชื้นอยู่ในช่วง 71.32–75.40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนฤดูฝนครั้งที่ 2 มีความชื้นอยู่ในช่วง 68.70–74.96 เปอร์เซ็นต์ และฤดูแล้งครั้งที่ 2 มีความชื้นอยู่ในช่วง 56.22–63.21 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 3.3 แสดงปริมาณน้ำฝนของทั้ง 4 วันปลูก โดยในฤดูแล้งครั้งที่ 1 มีปริมาณน้ำฝนอยู่ใน 16–153.70 มิลลิลิตร/เดือน ในฤดูฝนครั้งที่ 1 มีปริมาณน้ำฝน 135.6–242.70 มิลลิลิตร/เดือน ส่วนฤดูฝนครั้งที่ 2 มีปริมาณน้ำฝน 10.80–204.70 มิลลิลิตร/เดือน และฤดูแล้งครั้งที่ 2 มีปริมาณน้ำฝน 0–87.80 มิลลิลิตร/เดือน

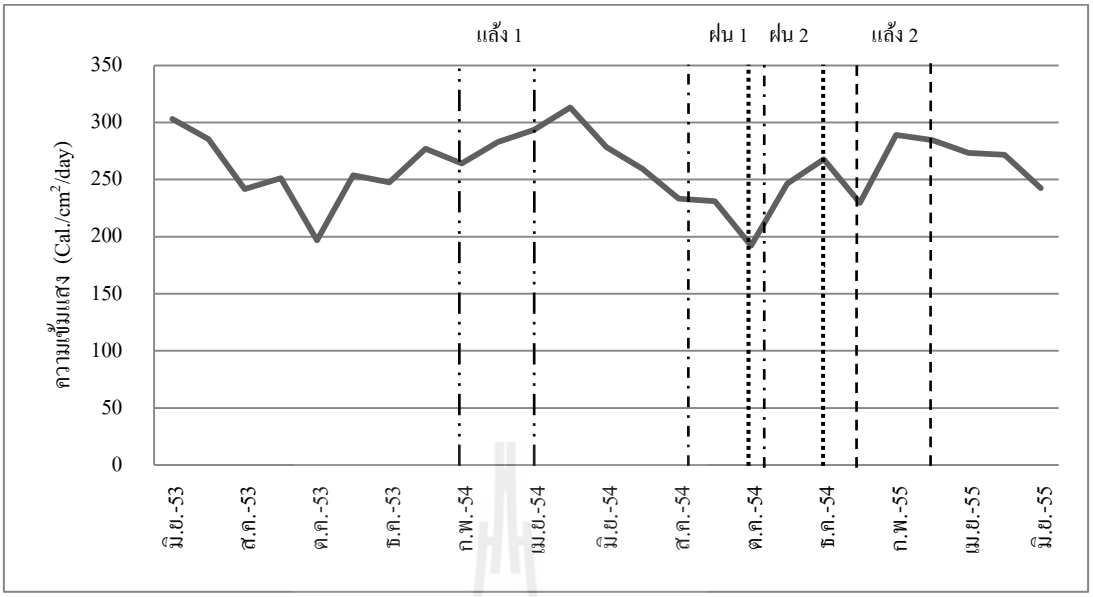
จากรูปที่ 3.4 ความเข้มแสงในช่วงการปลูกทานตะวันในฤดูแล้งครั้งที่ 1 มีความเข้มแสงอยู่ในช่วง 264.18–293.50 Cal./cm^2/day โดยฤดูฝนครั้งที่ 1 และ 2 มีความเข้มแสงอยู่ในช่วง 230.97–233.36 และ 192.03–246.42 Cal./cm^2/day ตามลำดับ ส่วนฤดูแล้งครั้งที่ 2 มีความเข้มแสงอยู่ในช่วง 229.65–289.20 Cal./cm^2/day



รูปที่ 3.2 ความชื้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการปลูกตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2553 ถึงเดือนมิถุนายน 2555



รูปที่ 3.3 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการปลูกตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2553 ถึงเดือนมิถุนายน 2555



รูปที่ 3.4 ความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการปลูกตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2553 ถึงเดือนมิถุนายน 2555

3.2.2 พันธุ์ทานตะวัน

พันธุ์ทานตะวันที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่น้ำมันมีปริมาณกรดไขมันโอเลอิกที่แตกต่างกัน โดยแบ่งเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณกรดโอเลอิกสูง (80–85 เปอร์เซ็นต์) จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ แปซิฟิค 22 และ PI 649855 และพันธุ์ที่มีปริมาณกรดโอเลอิกต่ำ (20–28 เปอร์เซ็นต์) จำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ สุรนารี 473 แปซิฟิค 33 และแปซิฟิค 77

3.2.3 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัย และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (F1, F3)

ตารางที่ 3.2 พันธุ์ทานตะวันที่ใช้ในการทดลอง

พันธุ์ทานตะวัน	ปริมาณกรดโอเลอิก (%)	แหล่งรวบรวมพันธุ์
สุรนารี 473	20-23	มทส, ประเทศไทย
แปซิฟิค 33	25-28	บ. แปซิฟิค
แปซิฟิค 77	25-28	บ. แปซิฟิค
แปซิฟิค 22	80-85	บ. แปซิฟิค
PI 649855	80-85	NCRPIS, USDA สหรัฐอเมริกา

3.2.4 วิธีการทดลอง

นำเมล็ดพันธุ์ทานตะวัน 5 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกต่ำ คือ สุรนารี 473, แปซิฟิค 33 และแปซิฟิค 77 และพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกสูง คือ แปซิฟิค 22 และPI 649855 (ตารางที่ 3.1) ปลูกทดสอบใน 2 ฤดูปลูก โดยแต่ละฤดูปลูกทำการปลูกจำนวน 2 ครั้ง/ฤดู คือ ฤดูแล้ง ปลูกเดือนตุลาคม และพฤศจิกายน 2553 ส่วนฤดูฝน ปลูกเดือนมิถุนายนและกรกฎาคม 2554 ทำการทดลองที่ฟาร์มมหาวิทยาลัย วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (randomized complete block design, RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำมีแปลงย่อย 5 แถว แถวละ 5 เมตร โดยใช้ระยะระหว่างแถว 70 เซนติเมตร ระยะระหว่างต้น 30 เซนติเมตร หยอดหลุมละ 3–4 เมล็ด เมื่อต้นกล้าอายุ 15 วันทำการถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม ทำการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ จำนวน 2 ครั้ง โดยใส่รองพื้นพร้อมปลูกและเมื่อต้นกล้าอายุได้ 30 วัน หรือมีใบจริง 6–7 ใบ ให้น้ำโดยระบบสปริงเกอร์ (springer) ทุกๆ 10 วัน กำจัดวัชพืชอย่างน้อย 2 ครั้ง ครั้งแรกเมื่อทานตะวันมีใบจริง 2–4 ใบ และครั้งที่สองพร้อมกับการใส่ปุ๋ยครั้งที่สองเมื่อทานตะวันมีใบจริง 6–7 ใบ เมื่อถึงระยะสุกแก่ทำการเก็บเกี่ยวทานตะวัน 3 แถวกลางโดยตัดต้นหัวแถวและท้ายแถวออกจากทุกแถว ตากแดดให้แห้งแล้วทำการนวดเมล็ด จากนั้นเก็บข้อมูลลักษณะเปอร์เซ็นต์น้ำมัน กรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิก กรดปาล์มิติก กรดสเตียริก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2.5 การบันทึกข้อมูล

เปอร์เซ็นต์น้ำมัน กรดไขมันโอเลอิก ลิโนเลอิก ปาล์มิติก และกรดสเตียริก

1) เปอร์เซ็นต์น้ำมัน ดัดแปลงจากวิธีการของ AOAC (1995) โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์น้ำมัน ดังนี้

- เมล็ดทานตะวันไปบดให้ละเอียด แล้วนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1–2 ชั่วโมง ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องในโถอบความชื้น ชั่งตัวอย่างเมล็ดที่บดแล้ว 1 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักที่ชั่งไว้

- อบ aluminium cup ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกัน ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องในโถอบความชื้น ชั่งน้ำหนัก aluminium cup ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักที่ชั่งไว้

- ชั่งตัวอย่างเมล็ดที่บดแล้วห่อด้วยกระดาษกรองที่ปราศจากไขมันพับใส่ใน extraction thimble เพื่อทำการสกัดหาปริมาณน้ำมันต่อไป

- เทตัวทำละลาย ในที่นี้ใช้ petroleum ether 80 มิลลิลิตร ลงใน extraction thimble แล้วนำไปสกัดหาปริมาณน้ำมันโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ไขมันรุ่น Soxtec 2050 FOSS

- เมื่อทำการสกัดไขมันเสร็จสิ้นแล้ว นำ aluminium cup มาทิ้งไว้ให้เย็นในโถอบความชื้นสักครู่ จึงนำ extraction thimble ไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1–2 ชั่วโมง ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องในโถอบความชื้น จากนั้นนำออกมาชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักที่ชั่งไว้ แล้วนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำมัน ตามสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์น้ำมัน} = \frac{\text{น้ำหนัก aluminium cup ครั้งหลัง - น้ำหนัก aluminium cup ครั้งแรก}}{\text{น้ำหนักสารตัวอย่าง}} \times 100$$

2) กรดโอเลอิก นำเมล็ดทานตะวันที่แกะเปลือกแล้ว 3 กรัม มาบดและทำการสกัดแยกเป็นน้ำมันตามวิธีของ Garces and Mancha (1993) จากนั้นนำน้ำมันไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดโอเลอิก โดยใช้เครื่อง GC (AOCS, 1997b)

3) กรดลิโนเลอิก กรดปาล์มิติก และกรดสเตียริก ตามวิธีของ Garces and Mancha (1993) ทำเช่นเดียวกับการหาปริมาณกรดโอเลอิก

3.2.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์วาเรียนซ์ลักษณะต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม SPSS for windows Version 14.0 (SPSS Inc, 2005) ได้แก่ ลักษณะกรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิก กรดปาล์มิติก กรดสเตียริก และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน จากนั้นคำนวณหาสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะต่าง ๆ

1) เปรียบเทียบปริมาณกรดโอเลอิกของทานตะวันพันธุ์ต่างๆ 5 พันธุ์ เมื่อปลูกในฤดูที่แตกต่างกัน 2 ฤดู คือ ฤดูแล้งและฤดูฝน

2) หาสหสัมพันธ์ระหว่างกรดโอเลอิกกับกรดลิโนเลอิก กรดปาล์มิติก กรดสเตียริก และเปอร์เซ็นต์น้ำมัน โดยทำการวิเคราะห์โดยใช้ทานตะวัน 4 พันธุ์ คือ พันธุ์สุรนารี 473, แปซิฟิค 22, แปซิฟิค 33 และแปซิฟิค 77

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาการแสดงออกของยีนและการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวัน

4.1.1 การกระจายตัวของลักษณะกรดโอเลอิกสูงในประชากรต่างๆ ของทานตะวัน

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ย ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และวาเรียนซ์ ของลักษณะกรดโอเลอิกในประชากร P_1, P_2, F_1 และ F_2 ของคู่ผสม 2A x PI 649855 และ 5A x PI 649855 ซึ่งสายพันธุ์ 2A และ 5A เป็นสายพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันสูง แต่กรดโอเลอิกต่ำ ส่วน PI 649855 เป็นสายพันธุ์ที่มีปริมาณกรดโอเลอิกสูง ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่าในคู่ผสม 2A x PI 649855 ปริมาณกรดโอเลอิกของ P_1 (PI 649855) เท่ากับ 67.47 เปอร์เซ็นต์ และ P_2 (2A) มีปริมาณกรดโอเลอิก 21.51 เปอร์เซ็นต์ ประชากร F_1 และ F_2 มีปริมาณกรดโอเลอิก 39.03 และ 40.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในคู่ผสม 5A x PI 649855 พบว่า P_2 (5A) มีปริมาณกรดโอเลอิก 27.65 เปอร์เซ็นต์ ประชากร F_1 และ F_2 มีปริมาณกรดโอเลอิก 29.00 และ 36.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การกระจายตัวของลักษณะกรดโอเลอิกของคู่ผสม 2A x PI 649855 แสดงในรูปที่ 4.1 และคู่ผสม 5A x PI 649855 แสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งพบว่า F_1 ของทั้งสองคู่ผสมมีการกระจายตัวอยู่ระหว่าง P_1 และ P_2 แต่มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อและแม่ ซึ่งบ่งชี้ว่ายีนควบคุมลักษณะกรดโอเลอิกนี้อาจเป็นการข่มบางส่วน (partially dominant gene) หรือลักษณะอาจถูกควบคุมโดยยีนหลายคู่ แต่ยีนส่วนใหญ่อยู่ในสภาพยีนด้อย นอกจากนี้ยังพบว่าประชากร F_2 ของทั้งสองคู่ผสมมีการกระจายตัวสูง และให้ค่าอยู่ระหว่าง P_1 และ P_2 ซึ่งบ่งชี้ว่ามียีนที่ควบคุมลักษณะกรดโอเลอิกสูงกระจายตัวใน P_1 และ P_2 อย่างไรก็ตามการกระจายตัวของ F_2 มีความถี่สูงอยู่ในช่วงตั้งแต่ 20–50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณกรดโอเลอิกอยู่ในระดับต่ำ–ปานกลาง โดยใกล้เคียงกับ P_2 (สายพันธุ์ 2A และ 5A) ที่ใช้เป็นแม่ที่มีปริมาณกรดโอเลอิกต่ำ ซึ่งมีการแสดงออกให้ผลต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ และมีการกระจายตัวอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับประชากร F_1 มีผลทำให้การกระจายตัวโน้มเอียงไปด้านกรดโอเลอิกต่ำ ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากพันธุกรรมของสายพันธุ์พ่อและแม่ที่นำมาใช้ในการทดลอง อย่างไรก็ตาม การทดลองครั้งนี้ไม่ได้ทดสอบการผสมสลับเพศ (reciprocal cross) เนื่องจากมีรายงานว่า ลักษณะกรดโอเลอิกไม่มีอิทธิพลของ maternal effect (Urie, 1985)

นอกจากนี้ เมื่อทำการทดสอบการสอดคล้องของการกระจายตัวของลูกชั่ว F_2 ของทั้งสองคู่ผสม โดยใช้ไค–สแควร์ พบว่า ทั้งสองคู่ผสมมีการกระจายตัวเป็นแบบ bimodal และมีการ

กระจายตัวเป็นอัตราส่วนของต้นที่มีกรดโอเลอิกต่ำ : กรดโอเลอิกปานกลาง : กรดโอเลอิกสูง เท่ากับ 12 : 2 : 2 (คู่ผสม 2A x PI 649855 มีค่า χ^2= 1.00 < $\chi^2_{0.05}$ = 5.99 และคู่ผสม 5A x PI 649855 มีค่า χ^2= 0.13 < $\chi^2_{0.05}$ = 5.99) ซึ่งจากการวิเคราะห์อัตราส่วนดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นว่าลักษณะกรดโอเลอิกถูกควบคุมโดยยีนอย่างน้อย 2 คู่

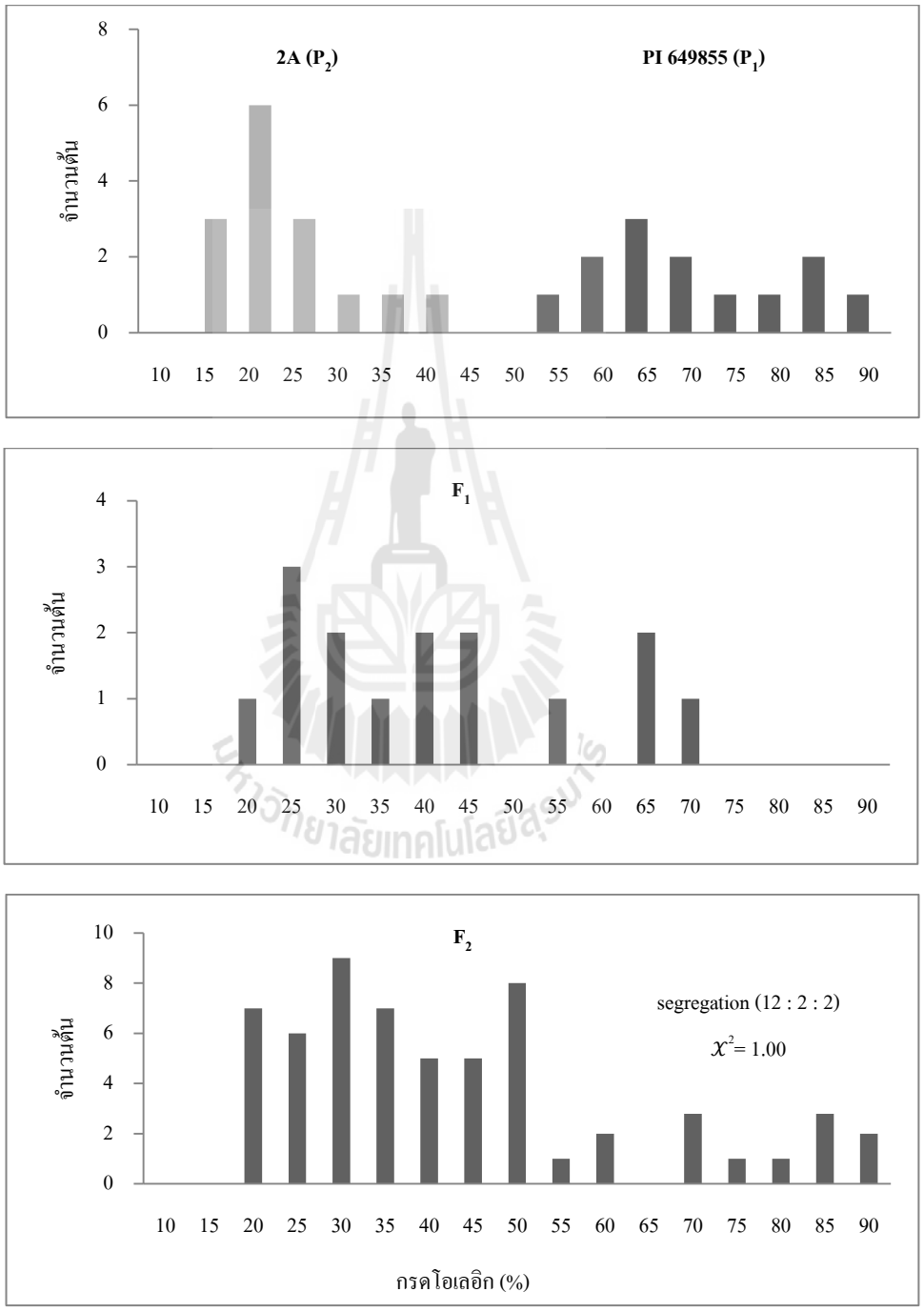
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ย ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน วาเรียนซ์ และจำนวนคู่ของยีนของลักษณะกรดโอเลอิกในประชากร P_1, P_2 F_1 และ F_2 ของคู่ผสม 2A x PI 649855 และ 5A x PI 649855

คู่ผสม	ประชากร	จำนวนค่าสังเกต	กรดโอเลอิก (%)	วาเรียนซ์	จำนวนยีน (k)
2A x PI 649855	P_1	13	67.47±10.90[1]	118.88	
	P_2	15	21.51±7.57	57.25	2.03
	F_1	15	39.03±16.51	272.50	
	F_2	60	40.72±20.06	402.29	
5A x PI 649855	P_1	13	67.47±10.90	118.88	
	P_2	13	27.65±8.00	63.99	1.83
	F_1	14	32.33±11.11	123.41	
	F_2	60	37.72±15.32	231.86	

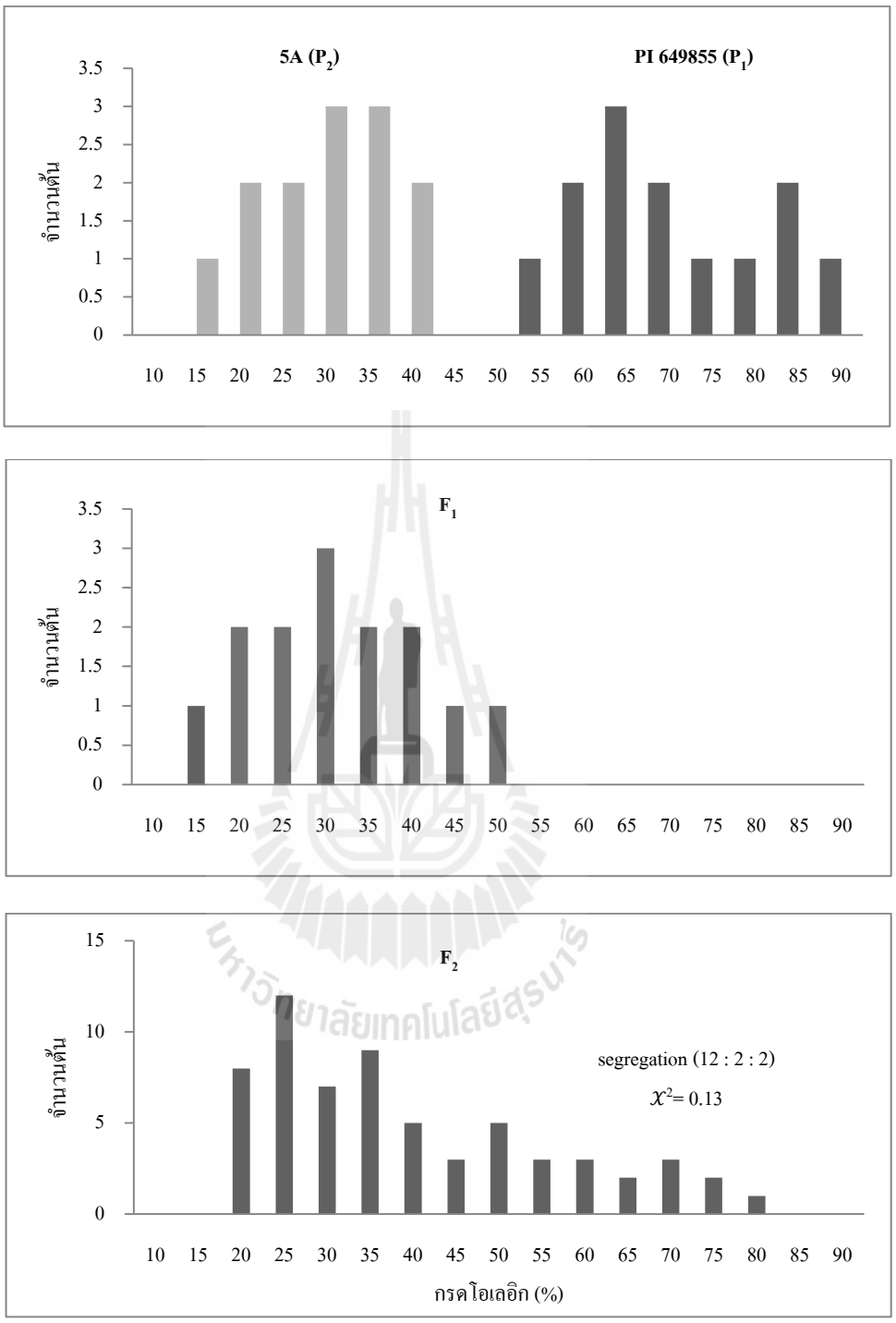
[1] ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error; SE) = $\sqrt{s^2}/n$; n = จำนวนค่าสังเกตในแต่ละประชากร
k = จำนวนคู่ของยีนที่น้อยที่สุดที่ควบคุมลักษณะ

4.1.2 จำนวนคู่ของยีนที่ควบคุมลักษณะกรดโอเลอิก ค่าประมาณของจำนวนคู่ของยีนที่ควบคุมลักษณะกรดโอเลอิกในคู่ผสม 2A x PI 649855 และ 5A x PI 649855 แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 พบว่า ลักษณะกรดโอเลอิกของทั้งสองคู่ผสม มีค่าอยู่ในช่วง 1.83–2.03 บ่งชี้ว่า ลักษณะกรดโอเลอิกถูกควบคุมด้วยการแสดงออก และการถ่ายทอดลักษณะด้วยยีนหลักอย่างน้อย 2 คู่ ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบการกระจายตัวในข้อ 4.1.1 ซึ่งพบว่า อัตราส่วนของต้นในชั่ว F_2 มีอัตราส่วนของต้นที่มีกรดโอเลอิกต่ำ : ปานกลาง : สูง เท่ากับ 12/16 : 2/16 : 2/16 นอกจากนี้ Miller et al. (1987) ได้รายงานว่า ลักษณะโอเอลิกสูงถูกควบคุมโดยยีนเด่น (Ol) และยีนดัดแปลง (modifying gene) ซึ่งยีนดัดแปลงนี้ มีลักษณะเป็นยีนด้อย (ml) โดยเมื่อยีนอยู่ในสภาพ Ol_mlml จะทำให้ทานตะวัน มีปริมาณกรดโอเลอิกสูง และ Ol_Ml_ จะให้ปริมาณกรดโอเลอิกปานกลาง ส่วนยีนในสภาพ ololMl_ จะให้ปริมาณกรดโอเลอิกต่ำ ดังนั้นจากผลการทดสอบครั้งนี้ที่พบว่า ลูกในชั่ว F_1 และ F_2 มีการกระจายตัวอยู่ในช่วงระดับต่ำ–ปานกลาง อาจเกิดจากประชากรของพ่อ–แม่พันธุ์ที่

ใช้ในการทดสอบ ซึ่งทำให้ได้รุ่นลูกส่วนใหญ่มียีนอยู่ในสภาพ ololMl_ และ Ol_Ml_ อย่างไรก็ตาม มีหลายงานทดลองที่รายงานว่า ลักษณะกรดโอเลอิกสูงถูกควบคุมโดยยีนเด่น 1 คู่ (Fick, 1984; Urie, 1985) และยีน 3 คู่ (Fernandez-Martinez et al., 1989)



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของลักษณะกรดโอเลอิกในประชากร P_1, P_2, F_1 และ F_2 ของคู่ผสม 2A x PI 649855



รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของลักษณะกรดโอเลอิกในประชากร P_1, P_2, F_1 และ F_2 ของคู่ผสม 5A x PI 649855

4.1.3 การแสดงออกของยีนและการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวัน

การวิเคราะห์ลักษณะทางพันธุกรรมเพื่อศึกษาการแสดงออกของยีน และการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูง ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) การวิเคราะห์ scaling test โดยวิธี Mather (1949) เป็นการวิเคราะห์ความเหมาะสมของ additive-dominance model ในการอธิบายความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากร P_1, P_2, F_1, F_2, BC_1 และ BC_2 ในคู่ผสม 2A x PI 649855 (ตารางที่ 4.2) เป็นการวิเคราะห์มาตราวัดโดยหาค่า A, B และ C ของลักษณะกรดโอเลอิกสูง หากค่า A, B และ C เท่ากับศูนย์ แสดงว่า การแสดงออกของยีนสอดคล้องกับสมการแบบบวก–ข่ม ซึ่งจากตารางที่ 4.2 เป็นการแสดงการกระจายตัวของทั้ง 6 ประชากร ซึ่งพบว่า มีการกระจายตัวของลูกในชั่ว F_2 มากที่สุด เมื่อทดสอบมาตราวัดพบว่าค่า A และ C ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่ค่า B มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$; ตารางที่ 4.3) เมื่อมีมาตราวัดใดมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ หรือมีความแตกต่างทางสถิติ บ่งชี้ว่า มีการแสดงออกของยีนที่ควบคุมลักษณะกรดโอเลอิกสูงไม่เป็นไปตามสมการแบบบวก-ข่ม หรือมีการแสดงออกของปฏิกิริยาของยีนแบบข่มข้ามคู่ (epistasis) หรืออาจมีผลกระทบเนื่องจากสภาพแวดล้อมต่อการแสดงออกของลักษณะ

2) การวิเคราะห์ generation mean โดยวิธี Hayman (1958) เมื่อทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินปฏิกิริยาระหว่างยีน (epistasis) โดยวิธี generation mean ของ Hayman (1958) จากการทดสอบค่า t ใน 6 พารามิเตอร์ คือ m (mean), d (additive effect), h (dominance effect), i (additive x additive effect), j (additive x dominance effect) และ l (dominance x dominance effect) ของลักษณะกรดโอเลอิกสูงของคู่ผสม 2A x PI 649855 พบว่า มีเพียงค่า d เท่านั้น ที่แสดงนัยสำคัญ ส่วนค่า h, i, j และ l ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 4.4) บ่งชี้ว่ายีนที่ควบคุมลักษณะกรดโอเลอิกสูงมีการแสดงออกของยีนเป็นแบบบวก ซึ่งเป็นยีนหลักในการควบคุมการแสดงออกและการถ่ายทอดลักษณะโอเลอิกสูง หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า ไม่มีอิทธิพลหรือการแสดงออกของยีนในแบบข่มหรือปฏิกิริยาระหว่างยีนเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับการทดลองของ Schierholt et al. (2001) ที่พบว่า ลักษณะกรดโอเลอิกสูงถูกควบคุมโดยการแสดงออกของยีนแบบบวกและไม่มีการข่มข้ามคู่

ตารางที่ 4.2 การกระจายตัวของลักษณะกรดโอเลอิกในประชากร P_1, P_2, F_1, F_2, BC_1 และ BC_2 ของคู่ผสม 2A x PI 649855

ปริมาณกรดโอเลอิก	ประชากร/จำนวนต้น					
	P_1	P_2	F_1	F_2	BC_1	BC_2
	(สูงสุด 88.18)			(สูงสุด 88.41)		
80.01-90.00	3			5	1	
70.01-80.00	1			2	3	1
60.01-70.00	6		3	3	4	10
50.01-60.00	2		1	3	8	4
40.01-50.00			2	13	4	14
30.01-40.00		2	3	12	7	16
20.01-30.00		6	6	15	6	23
10.01-20.00		7		7	2	5
00.00-10.00						
		(ต่ำสุด 12.51)		(ต่ำสุด 15.24)		
จำนวนต้น	13	15	15	60	35	75
ค่าเฉลี่ย	67.47	21.51	39.03	40.72	45.30	38.33
วาเรียนซ์	118.88	57.25	272.50	402.29	334.24	234.28

ตารางที่ 4.3 ค่า A, B, C และค่า t จากการวิเคราะห์ scaling test ของลักษณะกรดโอเลอิกในคู่ผสม 2A x PI 649855

	2A x PI649855	
	Value	**t value**
A	-15.90	-1.96 ns
B	16.12	2.63 **
C	-4.16	-0.30 ns

**, ns = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05, 0.01 และไม่มีความแตกต่างทางสถิติตามลำดับ
จำนวนค่าสังเกต (n) ของการทดสอบ t–value ของมาตรา A, B และ C มีค่าเท่ากับ 63, 105 และ 103 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 การแสดงออกของยีนที่ควบคุมปริมาณกรดโอเลอิกสูง จากการทดสอบ โดยวิธี generation mean

Parameter[1]	กรดโอเลอิกในคู่ผสม 2A x PI 649855
m	39.93
d	23.66 **
h	4.06 ns
i	5.24 ns
j	-10.58 ns
l	-4.96 ns

**, ns = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.01 และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

[1] m = mean, d = additive effect, h = dominance effect, i = additive x additive effect, j = additive x dominance effect และ l = dominance x dominance effect

ดังนั้น จากการวิเคราะห์ scaling test และ generation mean พบว่า การแสดงออกของยีนในแบบบวกมีความสำคัญต่อการแสดงออกของลักษณะกรดโอเลอิกสูงมากกว่า การแสดงออกในแบบข่ม และไม่มีการข่มข้ามคู่ อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์ scaling test พบว่า ค่า B มีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเกิดเนื่องมาจากมีอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีผลทำให้เกิดความแปรปรวนของลักษณะ จนทำให้ผลการแสดงออกของยีนที่ควบคุมลักษณะกรดโอเลอิกสูงไม่เป็นไปตามสมการแบบบวก-ข่ม หรือมีการแสดงออกของปฏิกิริยาของยีนแบบข้ามคู่

4.1.4 อัตราพันธุกรรมของลักษณะกรดโอเลอิก

จากการวิเคราะห์หาอัตราพันธุกรรมแบบกว้าง (h^2_b) และแบบแคบ (h^2_n) ตามวิธีของ Warner (1952) ของลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวันคู่ผสม 2A x PI 649855 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 พบว่า มีอัตราพันธุกรรมแบบกว้าง 62.83 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราพันธุกรรมแบบแคบ 58.68 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่า ลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวันมีค่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้างและแบบแคบในระดับปานกลาง ซึ่งบ่งชี้ว่า ลักษณะกรดโอเลอิกสูงถูกควบคุมโดยการแสดงออกของยีนในแบบบวกในระดับปานกลาง–สูง มีผลของยีนที่ไม่เป็นแบบบวกในระดับต่ำ และยังมีสภาพแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้องกับการแสดงออกของลักษณะในระดับปานกลาง การศึกษาอัตราพันธุกรรมของกรดโอเลอิกในพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ โดย Schierholt and Becker (2001) ก็พบเช่นกันว่า ลักษณะกรดโอเลอิกสูงในเรพซีดมีอัตราพันธุกรรมแบบกว้างสูงถึง 93 เปอร์เซ็นต์ และในถั่วลิสงมีอัตราพันธุกรรมแบบแคบอยู่ในช่วง 63–72 เปอร์เซ็นต์ (Singkham et al., 2010) ซึ่งบ่งชี้ว่า

ลักษณะกรดโอเลอิกสูงมีการแสดงออกของยีนเป็นแบบบวกระดับปานกลาง และสภาพแวดล้อมมีผลต่อการแสดงออกของลักษณะ

อัตราพันธุกรรมเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญมากในการเลือกใช้วิธีปรับปรุงเพื่อเพิ่มกรดโอเลอิกได้ นอกจากนี้หากต้องการปลูกทานตะวันให้มีปริมาณกรดโอเลอิกสูง นอกจากพันธุกรรมที่ดีแล้วการจัดการของสภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงด้วย

ตารางที่ 4.5 อัตราพันธุกรรมแบบกว้างและแบบแคบของลักษณะกรดโอเลอิกสูง

อัตราพันธุกรรม[1]	ลักษณะกรดโอเลอิก (%)
h^2_b	62.83
h^2_n	58.68

[1] h^2_b และ h^2_n = อัตราพันธุกรรมแบบกว้างและแบบแคบ ตามลำดับ

4.2 ผลของสภาพแวดล้อมต่อปริมาณกรดโอเลอิกในทานตะวัน

4.2.1 ปริมาณกรดโอเลอิกและลักษณะต่าง ๆ ของทานตะวันเมื่อปลูกในฤดูแล้งและฤดูฝน

จากการวิเคราะห์วาเรียนซ์เพื่อศึกษาความแตกต่างของทานตะวัน 5 พันธุ์/สายพันธุ์ คือ แปซิฟิค 22 แปซิฟิค 33 แปซิฟิค 77 สุรนารี 473 และสายพันธุ์ PI 649855 ที่ปลูกในฤดูแล้ง 2 วันปลูก และฤดูฝน 2 วันปลูก พบว่าทานตะวันพันธุ์ต่างกัน และวันปลูกที่ต่างกัน มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำมัน กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.6) ส่วนกรดปาล์มิติกและกรดสเตียริกของทานตะวันทุกพันธุ์ในทุกวันปลูกไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การทดลองครั้งนี้ ไม่พบว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ทานตะวันและวันปลูก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทานตะวันทุกพันธุ์มีการตอบสนองต่อวันปลูกเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

จากการเปรียบเทียบทานตะวัน 5 พันธุ์/สายพันธุ์ ที่มีกรดโอเลอิกและเปอร์เซ็นต์น้ำมันแตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยลักษณะต่าง ๆ เมื่อปลูกใน 2 ฤดู ฤดูละ 2 วันปลูก ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7 และในรูปที่ 4.3–4.7 ซึ่งพบว่าการปลูกทานตะวันในแต่ละฤดู ทานตะวันต่างพันธุ์กันมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำมันและกรดไขมันต่าง ๆ แตกต่างกัน เนื่องจากแต่ละพันธุ์มีลักษณะทางพันธุกรรมที่ควบคุมการแสดงออกของลักษณะต่างกัน นอกจากนี้สภาพแวดล้อมของวันปลูกที่แตกต่างกัน มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำมันและกรดไขมันชนิดต่าง ๆ มีปริมาณที่แตกต่างกัน โดยมีผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.6 ค่า mean square จากการวิเคราะห์ร่วมทานตะวัน 5 พันธุ์/สายพันธุ์ ที่ปลูกในฤดูแล้งและฤดูฝน 4 วันปลูก

Sources	df	น้ำมัน	กรดไขมัน			
			โอเลอิก	ลิโนเลอิก	ปาล์มิติก	สเตียริก
		----------(%)----------				
Planting date (E)	3	145.513**	374.424*	237.829**	1.357	0.121
Block/E	8	6.484	75.022	22.669	2.135	0.577
Variety (V)	4	609.730**	2217.012**	1619.740**	2.350	1.217
V x E	12	12.038	98.315	100.065	3.618	0.200
Error	32	7.086	59.393	62.836	1.798	0.548
CV (%)		7.76	16.58	21.99	26.20	25.72

*, ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ

กรดโอเลอิก ในทานตะวันทั้ง 5 พันธุ์/สายพันธุ์ ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า สายพันธุ์ PI 649855 มีปริมาณกรดโอเลอิกเฉลี่ยสูงที่สุดถึง 67.27 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.7) รองลงมาคือ พันธุ์แปซิฟิค 22 ที่มีกรดโอเลอิก 54.10 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.3) ส่วนพันธุ์แปซิฟิค 33 มีกรดโอเลอิกน้อยที่สุดเพียง 33.03 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.4) และเมื่อเปรียบเทียบ 4 วันปลูกใน 2 ฤดู พบว่า การปลูกทานตะวันในฤดูแล้งครั้งที่ 2 (ปลูกเดือน ต.ค. 54–ก.พ. 55) มีกรดโอเลอิกเฉลี่ยสูงที่สุด (54.20 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือในฤดูแล้งครั้งที่ 1 (48.88 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการปลูกทานตะวันโดยรวมของ 2 วันปลูกในฤดูแล้ง จะเห็นได้ว่า ทานตะวันมีกรดโอเลอิกสูงกว่าฤดูฝน โดยเฉพาะในฤดูฝนครั้งที่ 2 ซึ่งให้กรดโอเลอิกน้อยที่สุดคือ 41.19 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม การตอบสนองของทุกพันธุ์เป็นไปในทางเดียวกันคือ มีกรดโอเลอิกสูงในฤดูแล้งแต่มีปริมาณต่ำเมื่อปลูกในฤดูฝน

กรดลิโนเลอิก จากการเปรียบเทียบกรดลิโนเลอิกของทานตะวัน 5 พันธุ์/สายพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า ทานตะวันพันธุ์แปซิฟิค 33 มีกรดลิโนเลอิกเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 54.36 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.4) รองลงมาคือ พันธุ์แปซิฟิก 77 ที่มีกรดลิโนเลอิก 48.22 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสายพันธุ์ PI 649855 มีปริมาณกรดลิโนเลอิกน้อยที่สุดคือ 24.61 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบวันปลูกใน 2 ฤดู พบว่า การปลูกทานตะวันในฤดูฝนครั้งที่ 2 (ปลูกเดือน ก.ค.54–พ.ย.54) มีปริมาณกรดลิโนเลอิกเฉลี่ยสูงที่สุด (42.01 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือในฤดูฝนครั้งที่ 1 (40.11 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่ฤดูแล้งครั้งที่ 2 มีกรดลิโนเลอิกน้อยที่สุด (37.30 เปอร์เซ็นต์)

กรดปาล์มิติก ตารางที่ 4.7 แสดงทานตะวันพันธุ์แปซิฟิค 33 มีกรดปาล์มิติกสูงที่สุดคือ 5.70 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.4) รองลงมาคือพันธุ์แปซิฟิค 77, PI 649855 และแปซิฟิค 22 (5.45, 4.99 และ 4.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และพันธุ์สุรนารี 473 มีกรดปาล์มิติกน้อยที่สุด (4.70 เปอร์เซ็นต์) และยังพบว่าการปลูกในฤดูแล้งครั้งที่ 2 มีกรดปาล์มิติกเฉลี่ยสูงที่สุดถึง 5.55 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ในฤดูแล้งครั้งที่ 1 (5.09 เปอร์เซ็นต์) โดยเมื่อเปรียบเทียบการปลูกทานตะวันใน 2 วันปลูกของทั้งฤดูแล้งและฤดูฝนจะให้กรดปาล์มิติกไม่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.7

กรดสเตียริก เมื่อเปรียบเทียบระหว่างทานตะวัน 5 พันธุ์/สายพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าพันธุ์แปซิฟิค 22 มีกรดสเตียริกมากที่สุด (3.39 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ แปซิฟิค 33 และสุรนารี 473 ซึ่งมีปริมาณกรดสเตียริก 2.90 และ 2.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ที่มีกรดสเตียริกน้อยที่สุด 2.59 เปอร์เซ็นต์คือ แปซิฟิค 77 และเมื่อเปรียบเทียบวันปลูกใน 2 ฤดู พบว่าฤดูฝนครั้งที่ 1 (ปลูกเดือนมิ.ย.–ก.ย. 54) มีกรดสเตียริกเฉลี่ยสูงที่สุด (2.94 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ ในฤดูฝนครั้งที่ 2 และฤดูแล้งครั้งที่ 2 (2.93 และ 2.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบการปลูกทานตะวันของ 4 วันปลูก ในฤดูต่างกันจะให้กรดสเตียริกไม่แตกต่างกัน

เปอร์เซ็นต์น้ำมัน จากการเปรียบเทียบในทานตะวัน 5 พันธุ์/สายพันธุ์ (ตารางที่ 4.7) พบว่าทานตะวันพันธุ์แปซิฟิค 22 (รูปที่ 4.3) และแปซิฟิค 77 (รูปที่ 4.4) มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันเฉลี่ยมากที่สุด คือ 39.83 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ พันธุ์แปซิฟิค 33 และสุรนารี 473 ซึ่งมีน้ำมัน 34.93 และ 34.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์ PI 649855 มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันน้อยที่สุด (22.40 เปอร์เซ็นต์) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างวันปลูกในทั้ง 2 ฤดู ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า การปลูกทานตะวันในฤดูแล้งครั้งที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันเฉลี่ยสูงที่สุด (38.32 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ ในฤดูแล้งครั้งที่ 1 (35.01 เปอร์เซ็นต์) ส่วนการปลูกในฤดูฝนครั้งที่ 2 และ 1 ให้เปอร์เซ็นต์น้ำมัน 32.67 และ 31.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งหากเปรียบเทียบระหว่างฤดูปลูก จะเห็นว่าเมื่อปลูกในฤดูแล้งทั้ง 2 วันปลูก ทานตะวันให้เปอร์เซ็นต์น้ำมันสูงกว่าเมื่อปลูกในฤดูฝน

จากผลการปลูกทดสอบทานตะวันในวันปลูกต่าง ๆ กัน แสดงให้เห็นว่าการปลูกทานตะวันให้มีเปอร์เซ็นต์น้ำมัน และกรดโอเลอิกสูง นอกจากขึ้นอยู่กับพันธุกรรมแล้ว ยังมีผลของสภาพแวดล้อม เมื่อปลูกในวันปลูกต่าง ๆ ที่มีสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน จะมีผลทำให้ลักษณะเหล่านั้นแตกต่างกันด้วย จากหลายงานทดลองได้รายงานเช่นเดียวกันว่า ปริมาณน้ำมันและกรดโอเลอิกในเมล็ดมีความแปรปรวนไปตามสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะในช่วงการติดเมล็ด เป็นช่วงที่สำคัญที่มีผลกระทบสูงต่อการให้น้ำมันและปริมาณกรดโอเลอิก (Ahmad and Hassan, 2000; Anastasi et al., 2000) ดังนั้นในการทดลองนี้ จึงได้พิจารณาอิทธิพลของสภาพแวดล้อม อันได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสง โดยจะแสดงค่าเฉลี่ยของค่าเหล่านี้ในช่วงของการติดเมล็ด ดังแสดงในตารางที่ 4.8 ซึ่งพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของ 4 วันปลูกในฤดูแล้ง

และฤดูฝนมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงของทั้ง 2 ฤดู มีความแตกต่างกัน โดยในฤดูฝนปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าในฤดูแล้ง ส่วนความเข้มแสงในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝน

จากการทดลองครั้งนี้ ไม่พบความแตกต่างของอุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงการติดเมล็ดของ 4 วันปลูก มีค่าระหว่าง 25.47–27.76 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.8) แสดงให้เห็นว่าในการทดลองนี้ ช่วงการติดเมล็ดของทานตะวัน อุณหภูมิของแต่ละวันปลูกไม่มีผลต่อปริมาณกรดโอเลอิก อย่างไรก็ตาม มีหลายงานทดลอง ได้แก่ Harris et al. (1978) พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อปริมาณน้ำมันและกรดโอเลอิก โดยอุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อทานตะวันสายพันธุ์ปกติและสายพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกสูง และ Ahmad and Hassan (2000) ได้รายงานว่า ในช่วงของการปลูกทานตะวันเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นในระยะสุกแก่จะทำให้ปริมาณกรดโอเลอิกสูงขึ้น นอกจากนี้ Demurin et al. (2000) ก็พบเช่นเดียวกันว่า อุณหภูมิในช่วงการพัฒนาของเมล็ดทานตะวันมีผลต่อปริมาณกรดโอเลอิก โดยถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณกรดโอเลอิกสูงขึ้น 2 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองครั้งนี้พบว่า ปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อปริมาณน้ำมันและกรดไขมัน โดยเฉพาะกรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก โดยค่าเฉลี่ยความชื้นและปริมาณน้ำฝนช่วงการติดเมล็ดของทานตะวันที่แสดงในตารางที่ 4.8 พบว่า ในฤดูแล้งจะมีความชื้นและปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าฤดูฝน ซึ่งจากผลการทดลองนี้พบว่า น้ำมันและกรดไขมันในทานตะวันส่วนใหญ่มีปริมาณสูงในสภาพที่มีความชื้นและปริมาณน้ำฝนต่ำ นั่นคือในวันปลูกของฤดูแล้งที่มีความชื้นและปริมาณน้ำฝนน้อย ทานตะวันมีปริมาณกรดโอเลอิกสูงกว่าในฤดูฝน ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับงานทดลองของ Mhanhmad et al. (2011) ที่พบว่า น้ำมันและกรดโอเลอิกของปาล์มน้ำมันที่เก็บเกี่ยวในฤดูแล้งมีปริมาณสูงกว่าในฤดูฝน และยังสอดคล้องกับหลายการทดลองที่พบว่าเมื่อปลูกทานตะวันในสภาพขาดน้ำ (water stress) ในช่วงหลังการออกดอกจนถึงการติดเมล็ด สัดส่วนของกรดโอเลอิกในทานตะวันจะเพิ่มสูงขึ้น (Baldini et al., 2000; Flagella et al., 2000) ทั้งนี้ เนื่องจากในสภาพขาดน้ำ จะเกิดการกระตุ้นของเอนไซม์ oleoyl phosphatidylcholine desaturase (△12 desaturase) ในช่วงสั้นๆ มีผลทำให้กรดโอเลอิกเปลี่ยนไปเป็นกรดลิโนเลอิกลดลง ส่งผลให้กรดโอเลอิกมีปริมาณสูงขึ้น (Baldini et al., 2002)

ความเข้มแสงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำมันและกรดโอเลอิก โดยจากผลการทดลองนี้พบว่า ความเข้มแสงในช่วงการติดเมล็ดของทานตะวันในฤดูแล้งมีความเข้มแสงสูงกว่าในฤดูฝน (ตารางที่ 4.8) และพบว่า ในฤดูแล้งปริมาณน้ำมัน และกรดโอเลอิกสูงกว่าในฤดูฝน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Izquierdo et al. (2009) และ Zuil et al. (2012) ที่

พบว่า ความเข้มแสงในช่วงการติดเมล็ดมีผลต่อปริมาณน้ำมันและกรดไขมันในทานตะวัน ข้าวโพด ถั่วเหลือง และเรพซีด โดยเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้กรดโอเลอิกเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์น้ำมัน และกรดไขมันชนิดต่างๆ ของทานตะวันที่ปลูกในฤดูแล้งและฤดูฝน

วันปลูก/พันธุ์	น้ำมัน[1]	กรดไขมัน			
		โอเลอิก	ลิโนเลอิก	ปาล์มิติก	สเตียริก
	---------- (%) ----------				
ฤดูแล้ง 1[2]	35.01 b	48.88 ab	37.79 b	5.09	2.75
ฤดูแล้ง 2	38.32 a	54.20 a	37.30 b	5.55	2.89
ฤดูฝน 1	31.17 c	45.92 ab	40.11 a	4.97	2.94
ฤดูฝน 2	32.67 c	41.19 b	42.01 a	4.87	2.93
แปซิฟิค 22	39.83 a	54.10 b	26.43 c	4.75	3.39
แปซิฟิค 33	34.93 b	33.03 d	54.36 a	5.70	2.90
แปซิฟิค 77	39.83 a	42.73 c	48.22 ab	5.45	2.59
สุรนารี 473	34.47 b	40.63 c	42.90 b	4.70	2.88
PI 649855	22.40 c	67.27 a	24.61 c	4.99	2.63

[1] ตัวเลขในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากการเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT (Duncan's Multiple Range Test)

[2] ฤดูแล้งครั้งที่ 1 ปลูกเดือน พ.ย. 53–เม.ย. 54, ฤดูแล้งครั้งที่ 2 ปลูกเดือน ต.ค. 54–ก.พ. 55, ฤดูฝนครั้งที่ 1 ปลูกเดือน มิ.ย.–ก.ย. 54, ฤดูฝนครั้งที่ 2 ปลูกเดือน ก.ค. 54–พ.ย. 54

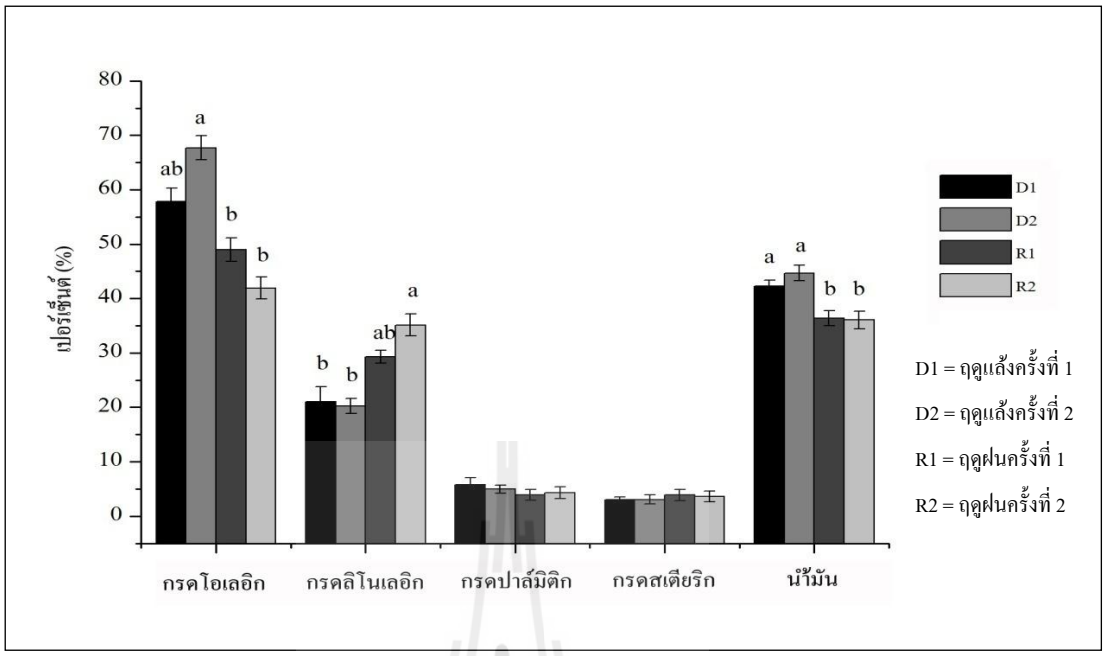
จากการทดลองข้างต้นพบว่า ปริมาณน้ำมัน และกรดโอเลอิกในน้ำมันทานตะวันขึ้นอยู่กับลักษณะของพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมที่ปลูกทานตะวัน จากการทดลองที่ไม่พบปฏิกิริยาระหว่างพันธุ์และวันปลูก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ทุกพันธุ์มีการตอบสนองต่อวันปลูกเหมือนกัน โดยจากรูปที่ 4.3–4.7 จะพบว่า ทานตะวันทุกพันธุ์จะมีกรดโอเลอิกสูงในฤดูแล้งที่ 2 รองลงมาคือ ฤดูแล้งที่ 1 และพบว่า ทุกพันธุ์มีกรดโอเลอิกต่ำสุดในฤดูฝนครั้งที่ 2 ซึ่งการปลูกทานตะวันในฤดูแล้งซึ่งมีความเข้มแสงสูง ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝนต่ำ มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันและกรดโอเลอิกสูงกว่าทานตะวันที่ปลูกในฤดูฝน ซึ่งจากผลของสภาพแวดล้อมในช่วงการติดเมล็ดได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน และความเข้มแสงของแต่ละฤดู ในช่วงการติดเมล็ดมีความสำคัญที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำมัน และกรดโอเลอิกและกรดลิโนเลอิกเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม ความชื้น

ปริมาณน้ำฝน หรือความเข้มแสงเพียงปัจจัยเดียว ไม่ใช่สาเหตุที่ทำให้ทานตะวันมีปริมาณกรดโอเลอิกต่างกัน เนื่องจากในฤดูแล้งครั้งที่ 1 ที่มีความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำฝนต่ำ (61.32 เปอร์เซ็นต์ และ 18.90 มิลลิเมตร/เดือน) ทานตะวันมีกรดโอเลอิก 47.14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างจากฤดูฝนครั้ง 1 ที่มีกรดโอเลอิก 46.03 เปอร์เซ็นต์ โดยในช่วงการติดเมล็ดมีความชื้น 77.46 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณน้ำฝน 188.25 มิลลิเมตร/เดือน นอกจากนี้ ความเข้มแสงก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน เนื่องจากในวันปลูกฤดูแล้งครั้งที่ 1 กับฤดูฝนครั้งที่ 1 มีปริมาณกรดโอเลอิกไม่แตกต่างกัน ในขณะที่มีความเข้มแสงแตกต่างกัน โดยในฤดูฝนมีค่าน้อยกว่า (220.58 Cal./cm^2/day) ในฤดูแล้ง (262.42 Cal./cm^2/day) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาฤดูฝนที่ 2 ที่ทานตะวันทุกพันธุ์ให้กรดโอเอลิกต่ำที่สุด จะพบว่า เป็นฤดูที่มีความเข้มแสงน้อยที่สุด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการให้กรดเลอิกสูงหรือต่ำในทานตะวัน ส่วนหนึ่งเกิดจากสภาพแวดล้อม โดยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำมันและกรดโอเลอิกเกิดจากอิทธิพลร่วมกัน ระหว่างหลายปัจจัยได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน และความเข้มแสง ที่มีผลทำให้ทานตะวันมีปริมาณกรดโอเลอิกต่างกัน

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงสุด–ต่ำสุด ปริมาณน้ำฝน ความชื้น และความเข้มแสงของ 4 วันปลูก ในช่วงการติดเมล็ดของทานตะวัน

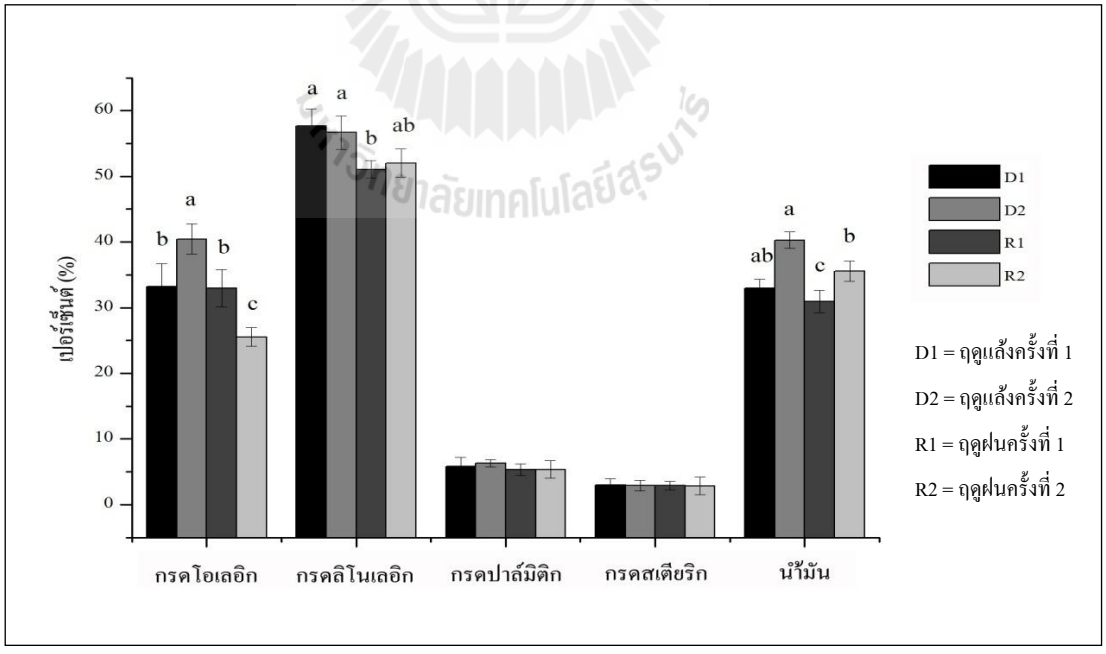
วันปลูก	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณน้ำฝน (มม./เดือน)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเข้มแสง (Cal./cm^2/day)
ฤดูแล้ง 1[1]	32.56–20.22	18.90	61.32	262.42
ฤดูแล้ง 2	30.27–18.82	40.78	59.62	271.23
ฤดูฝน 1	31.65–23.87	188.25	77.46	220.58
ฤดูฝน 2	30.42–21.87	117.75	72.59	207.28

[1] ฤดูแล้งครั้งที่ 1 ปลูกเดือน พ.ย. 53–เม.ย. 54, ฤดูแล้งครั้งที่ 2 ปลูกเดือน ต.ค. 54–ก.พ. 55, ฤดูฝนครั้งที่ 1 ปลูกเดือน มิ.ย.–ก.ย. 54, ฤดูฝนครั้งที่ 2 ปลูกเดือน ก.ค. 54–พ.ย. 54



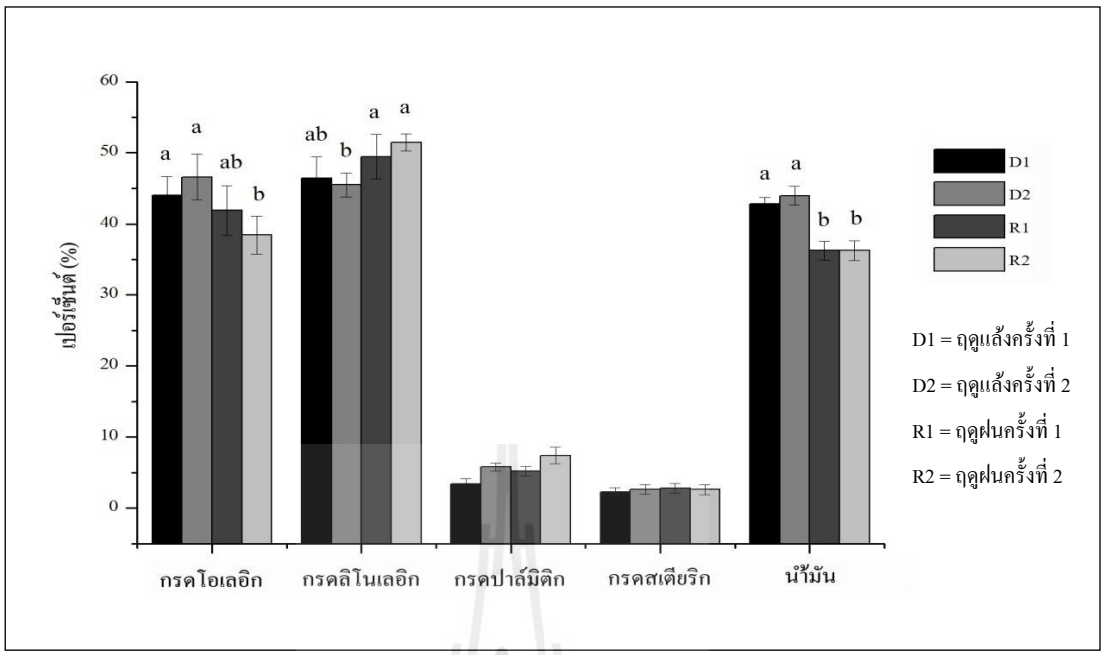
ตัวอักษรที่ต่างกันในกรดไขมันชนิดเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05

รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์น้ำมันและกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ของทานตะวันพันธุ์แปซิฟิค 22 ที่ปลูกใน 4 วันปลูก



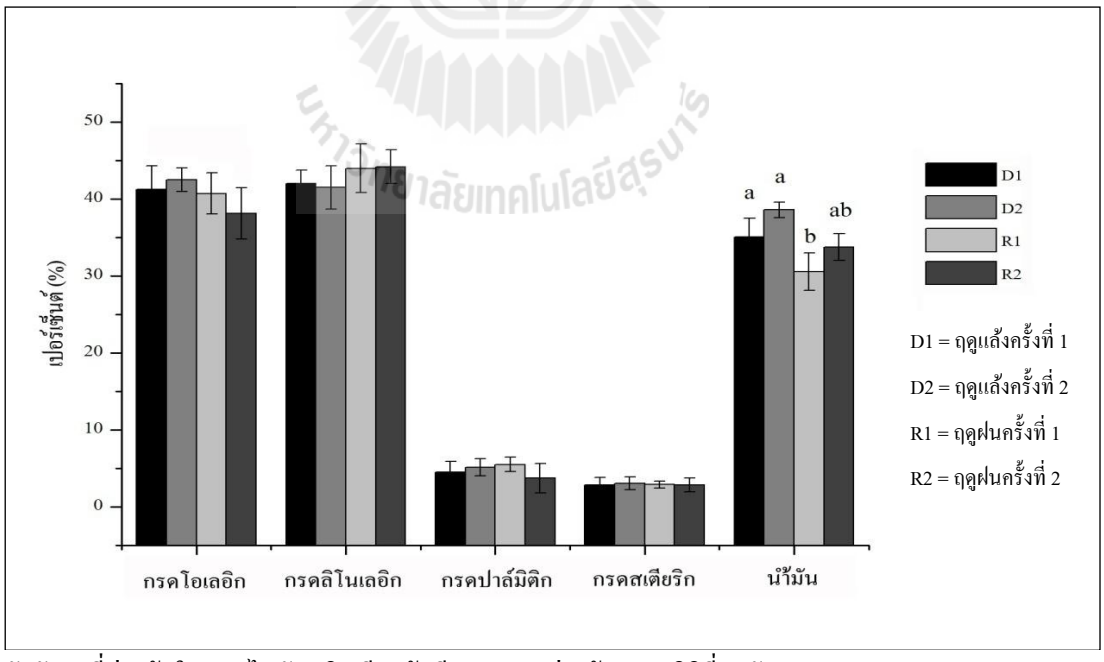
ตัวอักษรที่ต่างกันในกรดไขมันชนิดเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05

รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์น้ำมัน และกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ของทานตะวันพันธุ์แปซิฟิค ที่ปลูกใน 4 วันปลูก 33



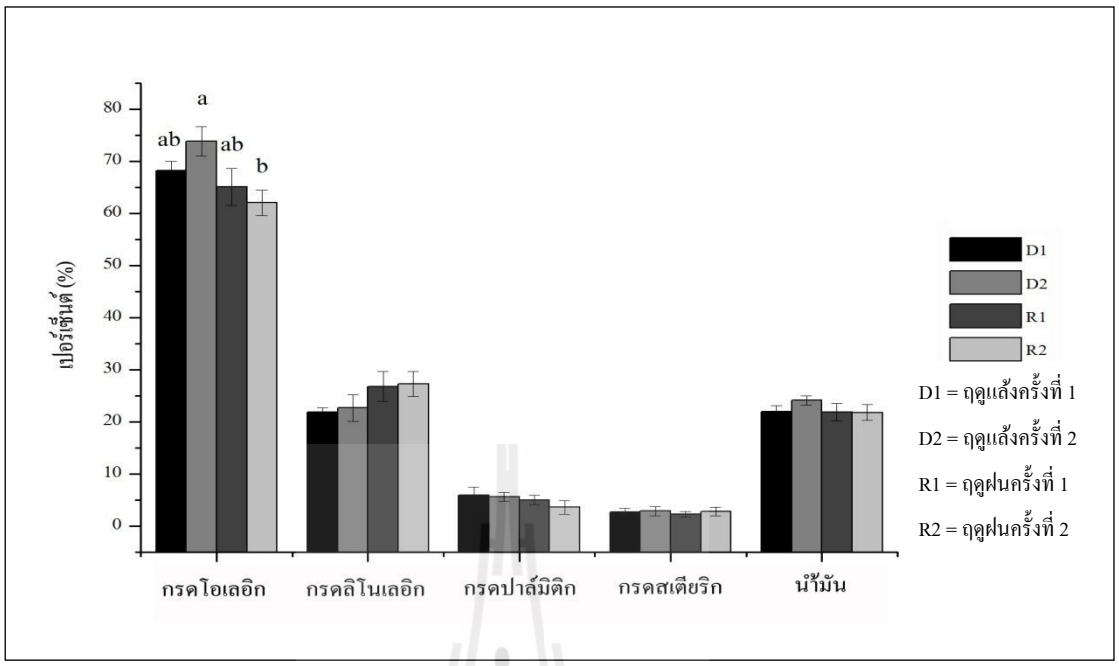
ตัวอักษรที่ต่างกันในกรดไขมันชนิดเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05

รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์น้ำมัน และกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ของทานตะวันพันธุ์แปซิฟิค 77 ที่ปลูกใน 4 วันปลูก



ตัวอักษรที่ต่างกันในกรดไขมันชนิดเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05

รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์น้ำมัน และกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ของทานตะวันพันธุ์สุรนารี 473 ที่ปลูกใน 4 วันปลูก



ตัวอักษรที่ต่างกันในกรดไขมันชนิดเดียวกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05

รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์น้ำมัน และกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ของทานตะวัน สายพันธุ์ PI 649855 ที่ปลูกใน 4 วันปลูก

4.2.2 สหสัมพันธ์ของกรดโอเลอิกกับลักษณะต่าง ๆ ในทานตะวัน

ปริมาณกรดโอเลอิกในน้ำมันทานตะวัน นอกจากขึ้นกับพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมแล้ว ยังมีผลของสหสัมพันธ์กับลักษณะอื่น ๆ ด้วย จากการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะกรดโอเลอิกและลักษณะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่า ลักษณะกรดโอเลอิกมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับเปอร์เซ็นต์น้ำมัน (0.464^{*}) และมีสหสัมพันธ์ทางลบกับกรดลิโนเลอิก (-0.531^{**}) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า เปอร์เซ็นต์น้ำมันสูงส่งผลทำให้กรดโอเลอิกมีปริมาณสูงขึ้น และเมื่อมีกรดโอเลอิกสูงมีผลทำให้ปริมาณกรดลิโนเลอิกลดลง ซึ่งมีความสอดคล้องกับหลายการทดลอง เช่น Santonoceto et al. (2002) และ Hasan and Ahmad (2003) พบว่าทานตะวันที่มีกรดโอเลอิกสูงจะทำให้ปริมาณกรดลิโนเลอิกต่ำ โดยมีค่าสหสัมพันธ์ระหว่างกรดโอเลอิกกับกรดลิโนเลอิกเท่ากับ -0.99 และ -0.81 ตามลำดับ โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรดไขมันทั้งสองชนิดนี้ เนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์ oleate desaturase ซึ่งเอนไซม์นี้จะช่วยในการสังเคราะห์กรดลิโนเลอิก โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนจากกรดโอเลอิกไปเป็นกรดลิโนเลอิก มีผลทำให้ปริมาณกรดโอเลอิกลดลง แต่อย่างไรก็ตาม การทำงานของเอนไซม์ดังกล่าว ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ โดยเมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้เอนไซม์นี้ จะถูกยับยั้ง จึงมีผลทำให้กรด

โอเลอิกมีปริมาณสูงขึ้น (Sarmiento et al.,1998) นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ oleoyl phosphatidylcholine desaturase (△12 desaturase) ที่เกิดขึ้นช่วงของการติดเมล็ดของการปลูกทานตะวันในสภาพที่ขาดน้ำ ซึ่งช่วงนี้ทานตะวันจะมีการพัฒนาเมล็ดเร็วกว่าปกติ ทำให้การกระตุ้นของเอนไซม์ดังกล่าวเกิดขึ้นในช่วงสั้นๆ มีผลทำให้กรดโอเลอิกเปลี่ยนไปเป็นกรดลิโนเลอิกลดลง ส่งผลให้กรดโอเลอิกมีปริมาณสูงขึ้นเช่นกัน (Baldini et al., 2002)

ตารางที่ 4.9 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำมัน และกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ของน้ำมันทานตะวัน

ลักษณะ	**กรดลิโนเลอิก**	**กรดปาล์มิติก**	**กรดสเตียริก**	**เปอร์เซ็นต์น้ำมัน**
กรดโอเลอิก	-0.531**	0.035	0.071	0.464*
กรดลิโนเลอิก		0.176	-0.271	-0.154
กรดปาล์มิติก			-0.065	-0.076
กรดสเตียริก				-0.082

*, ** มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 การศึกษาการแสดงออกของยีนและการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวัน

จากการศึกษาอัตราพันธุกรรม การแสดงออกของยีน และการถ่ายทอดลักษณะกรดโอเลอิกสูงในทานตะวัน โดยใช้ทานตะวันสายพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกต่ำ (2A, 5A) ผสมพันธุ์กับสายพันธุ์ที่มีกรดโอเลอิกสูง (PI 649855) จำนวน 2 คู่ผสม คือ 2A × PI649855 และ 5A × PI649855 เพื่อสร้างประชากร P_1, P_2, F_1, F_2, BC_1 และ BC_2 พบว่า ในชั่ว F_1 และ F_2 ของทั้งสองคู่ผสมมีการกระจายตัวสูง โดยเฉพาะในประชากร F_2 นอกจากนี้ยังพบว่า การกระจายตัวของลูกทั้งสองชั่วอายุมีความถี่สูงในช่วงของปริมาณกรดโอเลอิกประมาณ 30–50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นช่วงของปริมาณกรดโอเลอิกต่ำ–ปานกลาง ซึ่งบ่งชี้ว่ายีนควบคุมลักษณะกรดโอเลอิกมีการแสดงออกของยีนในแบบบวกและถูกควบคุมด้วยยีนหลัก 2 คู่ และมีอัตราพันธุกรรมแบบกว้าง (62.83 เปอร์เซ็นต์) และแบบแคบ (58.68 เปอร์เซ็นต์) ในระดับปานกลาง ซึ่งบ่งชี้ว่าลักษณะกรดโอเลอิกสูงถูกควบคุมโดยการแสดงออกของยีนในแบบบวกอยู่ในระดับปานกลาง โดยในการทดลองนี้ มีค่าประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ และการแสดงออกของยีนที่ไม่เป็นแบบบวกอยู่ในระดับต่ำประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ไม่พบการแสดงออกของยีนแบบข่มข้ามคู่ ดังนั้นการแสดงออกของลักษณะกรดโอเลอิกสูงถูกควบคุมโดยยีน และส่วนหนึ่งเป็นอิทธิพล เนื่องจากสภาพแวดล้อมโดยในการทดลองนี้ สามารถประมาณได้ว่า 37 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลของสภาพแวดล้อม ดังนั้นในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มปริมาณกรดโอเลอิกของสายพันธุ์ทานตะวัน สามารถทำได้โดยวิธีการคัดเลือกแบบวงจร (recurrent selection) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการแสดงออกของลักษณะกรดโอเลอิกมีผลของสภาพแวดล้อมในระดับปานกลาง การเพิ่มประสิทธิภาพของการคัดเลือกต้องมีการลดความแปรปรวนของสภาพแวดล้อม

5.2 ผลของสภาพแวดล้อมต่อปริมาณกรดโอเลอิกในทานตะวัน

การแสดงออกของลักษณะกรดโอเลอิกในทานตะวันมีผลมาจากยีน และสภาพแวดล้อม โดยจากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณกรดโอเลอิกในทานตะวัน 5 พันธุ์/สายพันธุ์คือ แปซิฟิค 22 แปซิฟิค 33 แปซิฟิค 77 สุรนารี 473 และสายพันธุ์ PI 649855 ที่ปลูกในฤดูแล้ง และฤดูฝน จำนวน 4 วันปลูกพบว่า การปลูกทานตะวันใน 4 วันปลูก ทานตะวันทุกพันธุ์มีปริมาณกรดโอเลอิกแตกต่าง

กันโดยพบว่า การปลูกในฤดูแล้งทุกพันธุ์/สายพันธุ์ จะให้กรดโอเลอิกสูงกว่าการปลูกในฤดูฝนโดยในฤดูแล้งที่ 2 ให้ปริมาณกรดโอเลอิกสูงที่สุด ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของปริมาณกรดปาล์มิติกและกรดสเตียริก โดยสภาพแวดล้อมที่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดโอเลอิก ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์และความเข้มแสง โดยในช่วงการติดเมล็ดที่มีความเข้มแสงสูง ปริมาณน้ำฝน และความชื้นต่ำ มีผลทำให้ทานตะวันมีปริมาณกรดโอเลอิกในน้ำมันสูง และยังพบว่ากรดโอเลอิกมีสหสัมพันธ์ทางลบกับกรดลิโนเลอิกและมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับเปอร์เซ็นต์น้ำมัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

มโนวิช เรืองดิษฐ์. (2551). **กรดไขมันชนิดทรานส์ (trans fatty acid)** [ออนไลน์]. ได้จาก : http://www.thaigoodview.com/node/1131

เสก อักษรนุเคราะห์. (2540). **ส่วนประกอบของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ในอาหาร**. นิตยสารใกล้หมอ ปีที่ 21 ฉบับที่ 7.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2554). **การผลิตทานตะวัน** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.oae.go.th

Ahmad, S., and Hassan, F.U. (2000). Oil and fatty acid composition of spring sunflower under rainfed conditions. **Pak. J. Bio. Sci.** 4(12) : 2060–2063.

Anastasi, U., Cammarata, M., and Abbate, V. (2000). Yield potential and oil quality of sunflower (oleic and standard) grown between autumn and summer. **Ital. J. Agron**. 4(1) : 23–36.

AOAC. (1995). **Official Methods of Analysis**. 16th edition, The Association of Official Analytical Chemists. AOAC, International Arlington, Verginia, USA.

AOCS. (1997a). **Physical and Chemical Characteristics of Oils**. Fats and Waxes. *In* Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. Champaign, Illinois.

AOCS. (1997b). **Preparation of Methyl Esters of Fatty Acids**, Official and Recommended Practices of the AOCS, AOCS Press, Official Method Ce 2-66.

Baldini, M., Giovanardi, R., and Vannozzi, G.P. (2000). Effects of different water availability on fatty acid composition of the oil in standard and high oleic sunflower hybrids. *In* **Proceedings of the 15th International Sunflower Conference** (pp 79–84). Toulouse.

Baldini, M., Giovanardi, R., Tahmasebi-Enferadi, S., and Vannozzi, G.P. (2002). Effects of water regime on fatty acid accumulation and final fatty acid composition in the oil of standard and high oleic sunflower hybrids. **Ital. J. Agron**. 6 : 119–126.

Baydar, H. and Erbas, S. (2005). Influence of seed development and seed position on oil, fatty acids and total tocopherol contents in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Turk. J. Agric.** 29 : 179–186.

Buchanan, B.B., Gruissem, W., and Jones R.L. (2000). **Biochemistry and molecular biology of**

plants. John Wiley and Sons, Inc., New jersey, USA.

Cosge, B., Giirbtiz, B., and Kiralan, M. (2007). Oil content and fatty acid composition of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) varieties sown in spring and winter. **Int. J. Nat. Eng. Sci**. 1 : 11–15.

Demurin, Y., Skoric, D., Veresbaranji, I., and Jocic, S. (2000). Inheritance of increased oleic acid content in sunflower seed oil. **Helia** 23(32) : 87–92.

Fernandez-Martinez, J., Dominguez-Gimenez, A., and Jimenez-Ramirez, A. (1989). Genetic analysis of the high oleic acid content in cultivated sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Euphytica** 41 : 39–51.

Flagella, Z., Rotunno, T., Caterina, R.D., Simone, G.D., Ciciretti, L., and Caro, A.D. (2000). Effect of supplementary irrigation on seed yield and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown in sub-arid environment. *In* **Proceedings of the 15th International Sunflower Conference** (pp 139–144). Toulouse.

Fick, G.N. (1984). Inheritance of high oleic acid in seed oil of sunflower. *In* **Proceedings of the 6th Sunflower Forum**, Bismarck, ND: National Sunflower Association.

Garces, R. and Mancha, M. (1993). One-step lipid extraction and fatty acid methyl esters preparation from fresh plant tissues. **Anal. Biochem**. 211 : 139–143.

Hamdan, Y.A.S., Perez–Vich, B., Velasco, L., and Fernández–Martínez, J. (2009). Inheritance of high oleic acid content in safflower. **Euphytica** 168: 61–69.

Harris, H.C., McWilliam, J.R., and Mason,W.K. (1978). Influence of temperature on oil content and composition of sunflower seed. **Aust. J. Agric. Res**. 29 : 1203–1212.

Hasan, F.U. and Ahmad, R.A. (2003). Effects of seasonal variations on oil and fatty acid profile of sunflower. **Helia** 26(38): 159–166.

Hayman, B.I. (1958). **The theory and analysis of diallel crosses**. II. Genetics 43 : 63–85.

Izquierdo, N., Aguirrezabal, L., Andrade, F., and Pereyra, V. (2002). Night temperature affects fatty acid composition in sunflower oil depending on the hybrid and the phonological stage. **Field Crop Res**. 77 : 115–126.

Izquierdo, N., Aguirrezabal, L., Andrade, F., Geroudet, C., Valentinuz, O., and Iraola, M.P. (2009). Intercepted solar radiation affects oil fatty acid composition in crop species. **Field Crop Res**. 114 : 66–74.

Mather, K. (1949). **Biometrical Genetics**. Dover Publication Inc., New York.

Mhanhmad, S., Leewanich, P., Punsuvon, V., Chanprame, S., and Srinives P. (2011). Seasonal effects on bunch composition in Dura oil palm *(Elaeis guineensis)*. **AJAR.** 6(7) : 1835–1843.

Miller, J.F., Zimmerman, D.C., and Vick, B.A. (1987). Genetic control of high oleic acid content in sunflower oil. **Crop Sci**. 27 : 923–926.

Moore, K.M. and Knauft, D.A. (1989). The inheritance of high oleic acid in peanut. **J. Hered**. 80 : 252–253.

Qadir, G., Cheema, M.A., Hassan, F.U., Ashraf, M., and Wahid, M.A. (2007). Relationship of heats accumulation and fatty acid composition in sunflower. **Pak. J. Agri. Sci.** 44(1) : 24–29.

Rathore, P.S. (2005). **Techniques and management of field crop production**. Rajasthan Agricultural University. India.

Santonoceto, C., Anastasi, U., Riggi, E., and Abbate, V. (2002). Accumulation dynamics of dry matter, oil and major fatty acids in sunflower seeds in relation to genotype and water regime. **Ital. J. Agron**. 7(1) : 3–14.

Sarmiento, C., Garces, F., and Mancha, M. (1998). Oleate desaturation and acyl turnover in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed lipids during rapid temperature adaptation. **Planta** 205 : 595–600.

Schierholt, A. and Becker, H.C. (2001). Environmental variability and heritability of high oleic acid content in winter oilseed rape. **Plant Breeding** 120 : 63–66.

Schneiter, A. and Miller, J.F. (1981). Description of sunflower growth stages. **Crop Sci**. 21 : 901–903.

Singkham, N., Jogloy, S., Swatsitang, P., Jaisil, P., Puppala, N., and Patanothai, A. (2010). Estimation of heritability by parent–offspring regression for high–oleic acid in Peanut. **Asian J. Plant Sci.** 9(6) : 358–363.

Sinnot, E.W., Dunn, L.C., and Dobzhansky, T. (1953). **Principle of Genetics.** New York : McGraw–Hill Book Co., Inc.

SPSS Inc. (2005). **SPSS *for Windows**, v.14.0.* Chicago, SPSS.

Urie, A.L. (1985). Inheritance of high oleic acid in sunflower. **Crop Sci**. 25 : 986–989.

Warner, J.N. (1952). A method for estimating heritability. **Agron. J**. 44 : 427–430.

Zuil, S.G., Izquierdo, N., Lujand, J., Cantarero, M., and Aguirrezabal, L. (2012). Oil quality of maize and soybean genotypes with increased oleic acid percentage as affected by intercepted solar radiation and temperature. **Field Crop Res**. 127 : 203–214.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางภาคผนวกที่ 1 ข้อมูลสภาพแวดล้อมต่างๆ ระหว่างเดือนมิถุนายน 2553 ถึงเดือนมิถุนายน 2555

เดือน	อุณหภูมิ (°C)		ปริมาณน้ำฝน	ความชื้นสัมพัทธ์	ความเข้มแสง
	สูงสุด	ต่ำสุด	(มม.)	(%)	(Cal./cm^2/day)
พฤศจิกายน/2553	29.62	19.45	3.4	70.67	253.65
ธันวาคม/2553	30.28	17.25	0	66.38	247.58
มกราคม/2554	28.01	21.60	0	66.59	277.08
กุมภาพันธ์/2554	32.83	19.43	16.8	64.62	264.18
มีนาคม/2554	30.81	19.69	46.6	63.08	282.79
เมษายน /2554	34.03	21.53	153.7	62.58	293.50
พฤษภาคม/2554	34.09	23.04	95.8	70.78	313.19
มิถุนายน/2554	33.72	24.11	116.8	70.78	278.43
กรกฎาคม/2554	33.55	23.95	136.5	70.04	259.24
สิงหาคม/2554	31.77	24.00	135.6	71.32	233.36
กันยายน/2554	31.53	23.73	242.7	75.4	230.97
ตุลาคม/2554	29.94	22.96	204.7	74.96	192.03
พฤศจิกายน/2554	30.90	20.78	10.8	68.7	246.42
ธันวาคม/2554	27.52	16.12	0	58.39	267.85
มกราคม/2555	30.00	20.00	87.8	63.21	229.65
กุมภาพันธ์/2555	33.29	20.33	0	56.22	289.20

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 1 สายพันธุ์ 2A

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 2 สายพันธุ์ 5A

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3 สายพันธุ์ PI 649855

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นางสาวเฉลิมขวัญ สุขเกษม เกิดเมื่อวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2530 อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนกุลโน อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2542 เข้าศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น และระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพิมายวิทยา อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา ในปีการศึกษา 2548 เข้าศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้ปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท เจียไต๋ จำกัด จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2551 และในปีการศึกษา 2552 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี