ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

พืชไร่นา	พืชไร่นา
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การคัดเลือกรวมเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันในประชากรข้าวโพด

Mass Selection for Increasing Oil Content in Maize Populations

นามผู้วิจัย นางสาวสุพัฒนา บุรีรัตน์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิเชียร กีรตินิจกาล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์สรรเสริญ จำปาทอง, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิภา หงษ์ตระกูล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์รังสฤษดิ์ กาวีต๊ะ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การคัดเลือกรวมเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันในประชากรข้าวโพด

Mass Selection for Increasing Oil Content in Maize Populations

โดย

นางสาวสุพัฒนา บุรีรัตน์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
พ.ศ. 2552

สุพัฒนา บุรีรัตน์ 2552: การคัดเลือกรวมเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันในประชากรข้าวโพด ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาพืชไร่นา ภาควิชาพืชไร่นา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิเชียร กีรตินิจกาล, Ph.D. 86 หน้า

งานทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประชากรข้าวโพด 2 ประชากรคือ High Oil Dent DMR (HODDMR) และ High Oil Flint DMR (HOFDMR) ให้มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูงขึ้น ซึ่งในข้าวโพดน้ำมันสูงควรมีปริมาณน้ำมันในเมล็ดมากกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป โดยใช้วิธีการคัดเลือกรวมที่คัดเลือกจากการผสมตัวเอง ใช้เวลา 2 ฤดูปลูกต่อรอบการคัดเลือก ในฤดูปลูกแรก คัดเลือกต้นที่มีลักษณะทางการเกษตรที่ดีเพื่อผสมตัวเอง คัดเลือกฝักที่ดีที่ได้จากการผสม นำเมล็ดจากแต่ละฝักไปตรวจสอบด้วยเครื่องอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรมิเตอร์ (near infrared spectrometer) เพื่อทำนายปริมาณน้ำมันในเมล็ดโดยใช้สมการทำนาย (calibration model) คัดเลือกฝักที่มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูง จากนั้นนำเมล็ดที่วิเคราะห์ไปปลูกในฤดูที่ 2 เพื่อผสมให้เกิดการรวมตัวกัน (recombination) โดยมีการปรับปรุงประชากรจำนวน 2 รอบการคัดเลือก และมีการพัฒนาสมการทำนายที่แม่นยำมากขึ้นในแต่ละรอบการคัดเลือก จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในเมล็ดที่ระดับความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ โดยการสกัดตามวิธีมาตรฐาน AOAC (The Association of Official Agricultural Chemists) พบว่า ประชากร HODDMR และ HOFDMR ในประชากรเริ่มต้น (C0) มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดเท่ากับ 5.81±0.05 และ 5.45±0.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อได้รับการปรับปรุงประชากร พบว่าในประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 (C1) มีปริมาณน้ำมันเท่ากับ 5.65±0.12 เปอร์เซ็นต์ (ลดลง 2.75 เปอร์เซ็นต์ของ C0) และ 5.56±0.11 เปอร์เซ็นต์ (เพิ่มขึ้น 2.02 เปอร์เซ็นต์ของ C0) ตามลำดับ และในรอบการคัดเลือกที่ 2 (C2) มีปริมาณน้ำมันเท่ากับ 6.10±0.28 เปอร์เซ็นต์ (เพิ่มขึ้น 7.99 เปอร์เซ็นต์ของ C1) และ 5.77±0.25 เปอร์เซ็นต์ (เพิ่มขึ้น 3.78 เปอร์เซ็นต์ของ C1) ตามลำดับ จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการคัดเลือกรวมที่คัดเลือกจากการผสมตัวเอง สามารถเพิ่มปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพดในประชากร HODDMR C2 โดยมีปริมาณน้ำมันในเมล็ดมากกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ความแม่นยำของสมการทำนายที่ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำมันเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการตอบสนองของการคัดเลือกของทั้งสองประชากร โดยทำให้ประชากรรอบการคัดเลือกที่ 2 มีการตอบสนองต่อการคัดเลือกที่ดีกว่ารอบการคัดเลือกที่ 1

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Supattana Bureerat 2009: Mass Selection for Increasing Oil Content in Maize Populations. Master of Science (Agriculture), Major Field: Agronomy, Department of Agronomy. Thesis Advisor: Assistant Professor Vichien Keeratinijakal, Ph.D. 86 pages.

This research was aimed at increasing oil content in two maize populations; High Oil Dent DMR (HODDMR) and High Oil Flint DMR (HOFDMR). High oil corns are generally considered to have a kernel oil concentration greater than 6 percent. The two populations were improved by means of mass selection with self-families selection. The two-step selection procedure involved a stratified mass selection system that included two seasons per cycle. In the first season, the good agronomic performance plants were selected to self-pollinate, then kernel oil content from each ear was measured using a near infrared spectrometer. Oil value was predicted by using the calibration model. Afterwards, the ears with the highest oil level were recombined in the second season. Two cycles of selection were applied to both populations. The better calibration model was used in the later cycle since it was more accurate compared to the previous one. The oil content of corn kernels were analyzed by soxhlet extraction (AOAC method) with 15 percent moisture content. It was shown that the oil content of the base population in HODDMR and HOFDMR were 5.81±0.05 and 5.45±0.13 percent, respectively. After the two maize populations were selected, the first cycle (C1) oil content of HODDMR and HOFDMR were 5.65±0.12 percent (decreasing of 2.75 percent C0) and 5.56±0.11 percent (increasing of 2.02 percent C0), respectively. For the second cycles (C2), oil content of HODDMR and HOFDMR were 6.10±0.28 percent (increasing of 7.99 percent C1) and 5.77±0.25 percent (increasing of 3.78 percent C1), respectively. Mass selection with self-families selection can effectively increase oil content in the C2 of HODDMR population with kernel oil concentration greater than 6 percent. However, measurement accuracy of a kernel oil concentration was the main factor affecting the response to selection of both populations where C2 was improved better than C1.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิเชียร กีรตินิจกาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่มีความเมตตากับข้าพเจ้าเสมอมา ให้คำปรึกษา และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอบพระคุณอาจารย์สรรเสริญ จำปาทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ในความกรุณาอำนวยความสะดวกเรื่องแปลงทดลอง ถ่ายทอดประสบการณ์ และช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิภา หงษ์ตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในด้านการเรียน ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุทัศน์ ศรีวัฒนพงศ์ และอาจารย์ธานี ศรีวงศ์ชัย ที่ช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนเสร็จสมบูรณ์ในที่สุด

ขอขอบคุณอาจารย์ศุมาพร เกษมสำราญ ที่ให้คำปรึกษา และกรุณาอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรมิเตอร์ ขอบคุณบุคคลากรในหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีการตรวจสอบสินค้าโดยวิธีไม่ทำลายทุกท่าน หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีเอนไซม์และการจัดการของเสีย สำหรับความอนุเคราะห์ในการสกัดน้ำมันข้าวโพด ขอบคุณ คุณโสภิดา ชิดชื่นเชย ที่ให้คำปรึกษาในทุกเรื่อง รวมทั้งให้ความช่วยเหลือมาตลอด ขอขอบคุณ คุณวัฒนา อาจวิชัย คุณรื่นฤดี แก้วชื่นชัย คุณกุหลาบ เหล่าสาธิต คุณอารีย์รัตน์ ขุนภิบาล คุณนันทวรรณ ฉิมพลี คุณฐนิตา บุญสร้างสม คุณฉัตรมณี สังข์สุวรรณ และคุณวิภารัตน์ อัดแอ ที่ให้ความช่วยเหลือมาตลอด และขอขอบคุณพนักงาน และคนงาน ที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ ที่ให้ความเป็นกันเอง คอยช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานทดลองจนเสร็จสิ้น

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ให้ชีวิตและอุปการะเลี้ยงดู ขอบคุณพี่ชาย และน้องชาย ที่คอยสนับสนุนทั้งกำลังใจ และกำลังทรัพย์ มาตลอด และขอขอบคุณผู้อยู่เบื้องหลังความสำเร็จทุกท่าน ตลอดจนผู้ที่มิได้เอ่ยนาม

สุพัฒนา บุรีรัตน์

ตุลาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	21
อุปกรณ์	21
วิธีการ	23
ผลและวิจารณ์	35
ผล	35
วิจารณ์	56
สรุปและข้อเสนอแนะ	60
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	61
ภาคผนวก	69
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	86

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์	32
2	การวิเคราะห์รวมตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์	33
3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตจากแปลงทดสอบที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ	36
4	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ของผลผลิต ปริมาณน้ำมันในเมล็ด ปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่ น้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด น้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด และสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด	37
5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตจากแปลงทดสอบที่สถานีวิจัยพืชไร่นครสวรรค์	39
6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำมันในเมล็ด	40
7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่	41
8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด	42
9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด	43
10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด	44
11	อัตราการตอบสนองต่อการคัดเลือกของผลผลิต จากแปลงทดลองที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ และสถานีวิจัยพืชไร่นครสวรรค์	46
12	อัตราการตอบสนองต่อการคัดเลือกของปริมาณน้ำมันในเมล็ด และปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่	47
13	อัตราการตอบสนองต่อการคัดเลือกของน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด น้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด และสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด	49
14	ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต ปริมาณน้ำมัน และลักษณะทางการเกษตรต่างๆที่สำคัญ	51
15	การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำมันในรอบการคัดเลือกที่ 1 และ 2 ซึ่งใช้สมการทำนายที่มีค่า SEP และ bias ของสมการในขั้นตอนการคัดเลือก	55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ปริมาณน้ำมันที่ประเมินด้วยเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปีของประชากร HODDMR จำนวน 200 ฝัก ในรอบการคัดเลือกที่ 1	75
2	ปริมาณน้ำมันที่ประเมินด้วยเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปีของประชากร HOFDMR จำนวน 200 ฝัก ในรอบการคัดเลือกที่ 1	77
3	ปริมาณน้ำมันที่ประเมินด้วยเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปีของประชากร HODDMR จำนวน 200 ฝัก ในรอบการคัดเลือกที่ 2	79
4	ปริมาณน้ำมันที่ประเมินด้วยเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปีของประชากร HOFDMR จำนวน 200 ฝัก ในรอบการคัดเลือกที่ 2	81
5	ลักษณะทางเกษตรโดยเฉลี่ยของประชากร HODDMR และ HOFDMR ประชากรเริ่มต้น ประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 และรอบการคัดเลือกที่ 2 กับพันธุ์เปรียบเทียบ ที่แปลงทดลอง ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ	83
6	ลักษณะทางเกษตรโดยเฉลี่ยของประชากร HODDMR และ HOFDMR ประชากรเริ่มต้น ประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 และรอบการคัดเลือกที่ 2 กับพันธุ์เปรียบเทียบ ที่แปลงทดลอง สถานีวิจัยพืชไร่นครสวรรค์	84
7	ขนาดของเมล็ด และเอ็มบริโอเฉลี่ย ของประชากร HODDMR และ HOFDMR ประชากรเริ่มต้น ประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 และรอบการคัดเลือกที่ 2 กับพันธุ์เปรียบเทียบ	85

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขั้นตอนการสกัดน้ำมันจากเอ็มบริโอข้าวโพด	7
2	วิธีการคัดเลือกประชากรข้าวโพดเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันโดยใช้วิธี Mass Selection	23
3	การกระจายตัวของปริมาณน้ำมันในเมล็ดที่ประเมินโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี ของประชากร HODDMR และ HOFDMR ซึ่งคัดเลือกมาประเมินหาปริมาณน้ำมันในเมล็ด จำนวน 200 ฝัก จากการคัดเลือกในรอบการคัดเลือกที่ 1	53
4	การกระจายตัวของปริมาณน้ำมันในเมล็ดที่ประเมินโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี ของประชากร HODDMR และ HOFDMR ซึ่งคัดเลือกมาประเมินหาปริมาณน้ำมันในเมล็ด จำนวน 200 ฝัก จากการคัดเลือกในรอบการคัดเลือกที่ 2	54

ภาพผนวกที่

1	แสดงค่า standard error of prediction (SEP) และ bias ของสมการทำนายที่ 1 ที่ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพด เพื่อการคัดเลือกของรอบการคัดเลือกที่ 1	73
2	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (coefficient of determination, r^2 หรือ R-square) ของสมการทำนายที่ 1 ที่ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพดเพื่อการคัดเลือกของรอบการคัดเลือกที่ 1	73
3	แสดงค่า standard error of prediction (SEP) และ bias ของสมการทำนายที่ 2 ที่ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพด เพื่อการคัดเลือกของรอบการคัดเลือกที่ 2	74
4	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (coefficient of determination, r^2 หรือ R-square) ของสมการทำนายที่ 2 ที่ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพดเพื่อการคัดเลือกของรอบการคัดเลือกที่ 2	74

การคัดเลือกรวมเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันในประชากรข้าวโพด

Mass Selection for Increasing Oil Content in Maize Populations

คำนำ

ข้าวโพดปริมาณน้ำมันสูงเป็นข้าวโพดที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์เพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำมันในส่วนของเอ็มบริโอ (embryo) โดยทั่วไปแล้วในเมล็ดของข้าวโพดที่สุกแก่ มีสัดส่วนของแป้ง 70-75 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 10 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมัน 4-5 เปอร์เซ็นต์ โดย 85 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันในเมล็ดจะอยู่ในส่วนของเอ็มบริโอ (Boyer and Hannah, 2001) สำหรับการใช้ประโยชน์น้ำมันข้าวโพด มีการนำน้ำมันข้าวโพดมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ น้ำมันขัดเงา สารป้องกันสนิม (Jugenheimer, 1976) รวมทั้งมีการนำมาปรุงอาหาร โดยใช้ทอด ทำน้ำสลัด เนยเทียม มายองเนส เป็นต้น (ไพจิตร, 2530) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การนำข้าวโพดที่มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูงมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสำหรับไก่ สุกร โคนม และแกะ มีผลทำให้สัตว์ดังกล่าวมีการเจริญเติบโตดีกว่าการเลี้ยงด้วยอาหารที่ทำจากข้าวโพดธรรมดา (Lambert, 2001)

น้ำมันข้าวโพดเป็นน้ำมันพืชที่มีคุณภาพสูงมีสมบัติคล้ายน้ำมันรำข้าวและน้ำมันถั่วเหลือง (Brown and Darrah, 1985) มีส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ประกอบด้วย กรดไขมันปาล์มมิติค (palmitic acid) 11.6 เปอร์เซ็นต์ สเตียริค (stearic acid) 1.8 เปอร์เซ็นต์ โอเลอิค (oleic acid) 25.2 เปอร์เซ็นต์ ไลโนเลอิค (lenoleic acid) 59.7 เปอร์เซ็นต์ ไลโนเลนิค (linolenic acid) 0.8 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันอื่นๆ 0.9 เปอร์เซ็นต์ (White and Webber, 2003) และยังมีวิตามินอีที่มีคุณภาพสูง ช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นในกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Orthoefer *et al.*, 2003) นอกจากนี้การบริโภคน้ำมันข้าวโพดยังมีส่วนช่วยในการลดปริมาณคลอเรสเตอรอลในเลือด ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคหัวใจได้ (อำพล, 2536)

การผลิตน้ำมันข้าวโพดส่วนใหญ่มักจะเป็นผลพลอยได้จากการผลิตแป้ง เนื่องจากในเมล็ดข้าวโพดมีสัดส่วนของน้ำมันน้อยจึงไม่คุ้มค่าในการผลิตน้ำมันข้าวโพดเพียงอย่างเดียว (Boyer and Hannah, 2001) นักวิจัยหลายท่านได้พยายามปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดให้มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดเพิ่มขึ้น แต่ปัญหาที่พบในการปรับปรุงพันธุ์ คือ ข้าวโพดที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ให้มีปริมาณน้ำมันในเมล็ด

สูงมักให้ผลผลิตต่ำ อ่อนแอต่อโรค อีกทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องถือว่ายังมีน้อยเมื่อเทียบกับข้าวโพดทั่วไป (Alexander, 1987) และในขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดปริมาณน้ำมันสูงยังต้องใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในการสกัดน้ำมัน โดยทั่วไปจะใช้วิธีสกัดแบบมาตรฐาน AOAC (The Association of Official Agricultural Chemists) ซึ่งเป็นวิธีที่ยุ่งยาก ใช้เวลานาน และมีการทำลายเมล็ดข้าวโพด ทำให้ไม่สามารถนำเมล็ดไปปลูกในฤดูต่อไปได้ จึงนับว่าเป็นข้อจำกัดที่ส่งผลต่อการปรับปรุงพันธุ์เป็นอย่างมาก

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดน้ำมันสูงเริ่มเมื่อ ค.ศ. 1896 ที่มหาวิทยาลัย Illinois ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยคัดเลือกพันธุ์ Illinois High Oil และพันธุ์ Illinois Low Oil จากพันธุ์ผสมเปิด Burr's White ซึ่งมีปริมาณน้ำมัน 4.7 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นคัดเลือกรวมในประชากร Illinois High Oil โดยในแต่ละรอบการคัดเลือก มีปริมาณน้ำมันเฉลี่ยเพิ่มขึ้น จนกระทั่งในรอบคัดเลือกที่ 90 มีปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 22 เปอร์เซ็นต์ (Dudley, 1974) และในปี ค.ศ.1999 ได้คัดเลือกถึงรอบการคัดเลือกที่ 100 ซึ่งได้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยเท่ากับ 20.37 เปอร์เซ็นต์ (Dudley and Lambert, 2004) การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดน้ำมันสูงในประเทศไทย ได้มีการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมน้ำมันสูงได้ 3 พันธุ์ ได้แก่ มก.3501 มก.3502 และ มก.3503 ซึ่งมีปริมาณน้ำมัน 8.7 เปอร์เซ็นต์ 7.8 เปอร์เซ็นต์ และ 7.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ชำนาญ และคณะ, 2537, 2538) หลังจากนั้นนักวิจัยได้ทำวิจัยต่อเนื่องโดยใช้ข้อมูลเดิมจากงานวิจัยของชำนาญ และคณะ (2513, 2522, 2537, 2538) ซึ่งถือว่ายังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควรเนื่องจากยังมีปริมาณน้ำมัน และผลผลิตต่ำประกอบกับประสบปัญหาขาดแคลนเครื่องมือในการประเมินหาปริมาณน้ำมัน ซึ่งทำให้การคัดเลือกไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร (ธีรพันธ์, 2529; เมธี, 2531; ศฎาวุฒิ, 2540; ชเนษฎ์, 2541)

เนื่องจากลักษณะทางพันธุกรรมของปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพดเป็นลักษณะที่มีอัตราพันธุกรรมสูง (Lambert, 2001) ในงานวิจัยนี้จึงเลือกวิธีการ Mass Selection ในการปรับปรุงประชากรข้าวโพดน้ำมันสูง ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย โดยคัดเลือกจากลักษณะทางฟีโนไทป์ ประกอบกับการใช้วิธีการผสมตัวเอง เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของลักษณะต่างๆ ทำให้สามารถกำจัดลักษณะที่ไม่ต้องการออกไปได้ (Hallauer and Miranda, 1988) จึงคาดว่าน่าจะเป็นวิธีที่ง่ายและเหมาะสมในการนำมาใช้ปรับปรุงประชากรข้าวโพดน้ำมันสูง พร้อมทั้งมีการใช้เครื่องอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรมิเตอร์ (near infrared spectrometer) เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการสกัดแบบมาตรฐาน AOAC เครื่องมือนี้สามารถวัดหาปริมาณน้ำมันข้าวโพดได้ทั้งเมล็ดโดยไม่ต้องมีการบดทำลายเมล็ด จึงสามารถนำเมล็ดไปปลูกต่อได้ (Jiang *et al.*, 2007) แผนการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดในครั้งนี้ คาดว่าจะได้ประชากรข้าวโพดน้ำมันสูงที่ดี ซึ่งจะเป็นพื้นฐานในการสกัดสายพันธุ์อินเบรดเพื่อผลิตพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมน้ำมันสูงต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อปรับปรุงประชากรข้าวโพดให้มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูงขึ้น

2. เพื่อทราบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันในเมล็ดต่อผลผลิตและลักษณะของเมล็ด

3. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดน้ำมันสูงโดยการใช้เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปีในขั้นตอนการทำนายหาปริมาณน้ำมัน เพื่อความรวดเร็วในการปรับปรุงพันธุ์

การตรวจเอกสาร

ข้าวโพดน้ำมันสูงเป็นข้าวโพดที่ถูกปรับปรุงพันธุ์ขึ้นมาเพื่อให้มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดมากกว่าในข้าวโพดทั่วๆ ไป ซึ่งมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบเพียง 3-5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำมันในส่วนของเอ็มบริโอ (Orthoefer *et al*., 2003) น้ำมันข้าวโพดถูกนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้านได้แก่ การบริโภค เช่น ทำเนยเทียม น้ำมันสลัด และประกอบอาหารอื่นๆ (ไพจิตร, 2530) น้ำมันข้าวโพดเป็นน้ำมันที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และไม่มีคลอเลสเตอรอล การบริโภคน้ำมันข้าวโพดช่วยลดปริมาณคลอเลสเตอรอลในเลือดซึ่งเป็นสาเหตุของโรคหัวใจ (อำพล, 2536) ในด้านอุตสาหกรรม Jugenheimer (1976) รายงานว่า น้ำมันข้าวโพดสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ ทอผ้า สี กาว น้ำมันขัดเงา สารดินระเบิด สารเคมี สารป้องกันสนิม และสบู่ เป็นต้น

การนำข้าวโพดที่มีปริมาณน้ำมันสูงไปใช้ประโยชน์ที่สำคัญอีกด้านหนึ่งคือ การทำอาหารสัตว์ มีการทำวิจัยโดยใช้ข้าวโพดน้ำมันสูงเป็นวัตถุดิบผลิตอาหารสัตว์หลายงานวิจัย โดยทำการทดลองในสัตว์หลายชนิด ได้แก่ ไก่ สุกร โคนม และแกะ Han *et al*. (1987) ได้เปรียบเทียบระหว่างการให้อาหารที่เป็นข้าวโพดธรรมดา กับข้าวโพดปริมาณน้ำมันสูง ในไก่ไข่ และไก่เนื้อ โดยการทดลองในไก่ไข่ให้อาหารสูตรที่ 1 มีน้ำมัน 5.7 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 9.5 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ อาหารสูตรที่ 2 เป็นสูตรที่ใช้ทั่วไปมีน้ำมัน 3.6 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 8.7 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ และอาหารสูตรที่ 3 ใช้ข้าวโพดน้ำมันสูงซึ่งมีปริมาณโปรตีน 17 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อาหารสูตรที่ 1 ซึ่งมีปริมาณสารอาหารสูงไม่ได้ทำให้ผลผลิตไข่ และน้ำหนักตัวไก่ไข่เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารสูตรที่ 2 ซึ่งเป็นสูตรธรรมดา ในขณะที่อาหารสูตรที่ 3 ที่มีการให้ข้าวโพดปริมาณน้ำมันสูงซึ่งมีโปรตีน 17 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ทำให้ไก่ไข่มีอัตราในการออกไข่ต่อการให้อาหารดีกว่าการให้อาหารทั้ง 2 สูตร เมื่อไก่ไข่อายุได้ 23-38 สัปดาห์ ส่วนการทดลองในไก่เนื้อ การให้อาหารโดยใช้ข้าวโพดที่มีปริมาณน้ำมันสูง 6-13 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับอาหารที่ใช้ข้าวโพดธรรมดาซึ่งมีปริมาณน้ำมันเพียง 4.5 เปอร์เซ็นต์ ปรากฏว่าไก่เนื้อที่เลี้ยงด้วยข้าวโพดปริมาณน้ำมันสูงมีน้ำหนักตัวมากกว่าการเลี้ยงด้วยข้าวโพดธรรมดาอย่างชัดเจน Nordstrom *et al.* (1972) รายงานว่า การให้อาหารสุกรด้วยข้าวโพดน้ำมันสูงมีผลทำให้น้ำหนักตัวและระดับไขมันในนมน้ำเหลืองสูงกว่าการให้อาหารที่มีปริมาณน้ำมันต่ำ แต่ไม่มีผลต่อขนาดและน้ำหนักแรกเกิดของลูกสุกร และ Adum and Jensen (1987) พบว่า การให้อาหารที่เป็น

ข้าวโพดปริมาณน้ำมันสูงไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลใดๆ ต่อคุณภาพของเนื้อสุกรเมื่อเปรียบเทียบกับการให้อาหารที่เป็นข้าวโพดปริมาณน้ำมันต่ำกว่า แต่เมื่อให้อาหารโดยใช้ข้าวโพดปริมาณน้ำมันสูงกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปทำให้คุณภาพของเนื้อสุกรดีขึ้น จากการทดลองให้อาหารที่เป็นข้าวโพดปริมาณน้ำมันสูง 4 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ในโคนม พบว่า การให้อาหารด้วยข้าวโพดปริมาณน้ำมันสูง 6 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำหนักตัวของโคนมเพิ่มขึ้น หลังจากการให้อาหารเป็นระยะเวลา 4-20 สัปดาห์ ส่วนการให้อาหารด้วยข้าวโพดปริมาณน้ำมันสูง 4 เปอร์เซ็นต์ กลับทำให้น้ำหนักตัวของโคนมลดลง หลังจากการให้อาหารเป็นระยะเวลาดังกล่าว (Atwell *et al.*, 1988) ส่วนในแกะ Garrigus (1961) พบว่า การให้อาหารเป็นข้าวโพดปริมาณน้ำมันและโปรตีนสูงมีผลทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวแกะมากกว่าการใช้ข้าวโพดธรรมดา และการให้อาหารเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของแกะ ถ้าอาหารที่เป็นข้าวโพดปริมาณน้ำมันและโปรตีนสูงสามารถให้ในปริมาณที่น้อยกว่าอาหารที่เป็นข้าวโพดธรรมดา 6 เปอร์เซ็นต์

ส่วนประกอบของเมล็ดและองค์ประกอบเคมีในเมล็ดข้าวโพด

ข้าวโพดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เมล็ดของข้าวโพดประกอบด้วย เปลือกของผล (pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) เอนโดสเปอร์ม (endosperm) และส่วนของเอ็มบริโอ (embryo) หรือเยิร์ม (germ) ซึ่งเอ็มบริโอประกอบด้วย ใบเลี้ยง (scutellum) และแกนต้นอ่อน (embryonic axis) โดยแกนต้นอ่อนจะมีส่วนประกอบย่อยลงไปอีก ได้แก่ ปลอกหุ้มยอดอ่อน (coleoptile) ยอดอ่อน (plumule) เมโซคอททิล (mesocotyl) รากอ่อน (redicle) และปลอกหุ้มรากอ่อน (coleorhyza) (จวงจันทร์, 2529)

โดยทั่วไปแล้วในเมล็ดของข้าวโพดที่สุกแก่ มีสัดส่วนของแป้ง 70-75 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีน 10 เปอร์เซ็นต์ น้ำมัน 4-5 เปอร์เซ็นต์ และอื่นๆ อีก 10 เปอร์เซ็นต์ (Boyer and Hannah, 2001) นอกจากนี้ Neukom and Buchi (1979) รายงานว่า ภายในเมล็ดมีองค์ประกอบเคมี คือ แป้ง 72 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 10 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 4.8 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 8.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาล 3.0 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 1.7 เปอร์เซ็นต์

น้ำมันและสัดส่วนของกรดไขมันในเมล็ดข้าวโพด

White and Webber (2003) รายงานว่า ปริมาณน้ำมันในส่วนต่างๆ ของเมล็ดมีปริมาณแตกต่างกันออกไป คือ ในส่วนเอ็มบริโอ มีปริมาณน้ำมันเป็นส่วนใหญ่ คือ 85 เปอร์เซ็นต์ เอนโดรสเปิร์มมีปริมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเปลือก (bran) มีปริมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์ และ tip cap มีปริมาณ 0.7 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนของชนิดกรดไขมันในน้ำมันข้าวโพด ประกอบด้วย กรดไขมันปาล์มมิติค 11.6 เปอร์เซ็นต์ สเตียริค 1.8 เปอร์เซ็นต์ โอเลอิค 25.2 เปอร์เซ็นต์ ไลโนเลอิค 59.7 เปอร์เซ็นต์ ไลโนเลนิค 0.8 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันชนิดอื่นๆ 0.9 เปอร์เซ็นต์ โดยสัดส่วนนี้ได้มาจากค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดไขมันชนิดต่างๆ ในข้าวโพดลูกผสมจำนวน 418 ตัวอย่าง ของ Iowa ในปี ค.ศ.1992

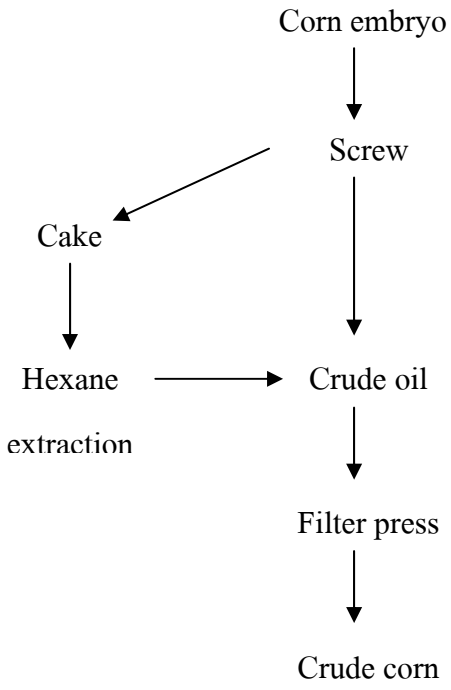
วิธีการผลิตน้ำมันข้าวโพด

เนื่องจากในเอ็มบริโอ เป็นส่วนที่มีปริมาณน้ำมันมากที่สุดคือ 85 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันทั้งหมดในเมล็ด ในการผลิตน้ำมันข้าวโพดจึงต้องบีบอัดและสกัดน้ำมันจากส่วนของเอ็มบริโอ โดยเอ็มบริโอ จะได้มาจากกรรมวิธีบดเปียก และบดแห้ง ในกระบวนการผลิตแป้งข้าวโพด

1. วิธีการบดเปียก

วิธีการนี้จะแยกเอาเอ็มบริโอออกมาจากเมล็ดโดยมีขั้นตอน คือ นำเมล็ดไปแช่น้ำหรือสารละลายที่มีคุณสมบัติช่วยให้เอ็มบริโอ กับเอนโดสเปิร์มแยกออกจากกันได้ง่ายขึ้น ส่วนของเอนโดสเปิร์มจะนำไปผลิตแป้งข้าวโพดต่อไป ส่วนเอมบริโอที่แยกออกมาจะนำมาทำความสะอาดเพื่อกำจัดส่วนของแป้งที่ยังเหลืออยู่ออกจากเอ็มบริโอ หลังจากนั้นปล่อยให้เอ็มบริโอแห้ง แล้วนำไปบีบน้ำมันร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยการบีบน้ำมันจากเอ็มบริโอของข้าวโพดทำได้โดยใช้เครื่องบีบน้ำมัน (screw presses) ภายใต้ความดันสูงและความร้อนปานกลาง การบีบน้ำมันโดยวิธีนี้จะได้น้ำมันอย่างมากประมาณ 94 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำมันทั้งหมดในเอ็มบริโอ แต่โดยทั่วไปแล้วสามารถบีบน้ำมันได้เพียงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ในบางกรณีจะไม่ใช้วิธีการบีบน้ำมันจากเอ็มบริโอเพียงอย่างเดียว หลังจากกระบวนการบีบน้ำมันแล้ว กากของเอ็มบริโอ จะถูกนำไปทำให้เป็นชิ้นเล็กลง จากนั้นนำไปสกัดน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน จะได้สารละลายที่เรียกว่า micella ซึ่งจะถูกกรองและทำการระเหยแห้งโดยเครื่องระเหยแห้ง (evaporator) จากนั้นนำเข้าสู่ stripping column เพื่อแยกเฮกเซนออกจากน้ำมันให้หมดด้วยการ

ระเหย ส่วนกากเอ็มบริโอจะถูกนำไปแยกตัวทำละลายออกโดยการใช้ความร้อนในการระเหยเฮกเซนออกไป ซึ่งเป็นการแยกตัวทำละลายเฮกเซนออกมาทั้งจากน้ำมันและกากเอ็มบริโอ เพื่อการนำเฮกเซนกลับมาใช้ในการสกัดได้อีกในครั้งต่อไป ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการสกัดน้ำมันจากเอ็มบริโอข้าวโพด ที่มา: Orthoefer *et al.* (2003)

2. วิธีการบดแห้ง

ในกระบวนการบดแห้งเป็นกระบวนการผลิตแป้งที่มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากในการบดแบบแห้งไม่มีการแยกเอ็มบริโอออกมาจากเอนโดสเปิร์ม เมื่อนำไปผลิตแป้งจึงทำให้ได้แป้งที่ไม่มีคุณภาพ การนำน้ำมันออกมาอาจทำได้โดยใช้วิธีการบีบอัดเพียงอย่างเดียว หรือวิธีการบีบอัดร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายเช่นเดียวกับวิธีการบดเปียก แต่โดยมากการผลิตน้ำมันข้าวโพดเป็นการค้าจะใช้เอ็มบริโอที่ได้มาจากกระบวนการบดเปียกเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากวิธีการบดเปียกมีการแยกส่วนของเอ็มบริโอออกมา โดยไม่รวมอยู่ในส่วนที่จะนำไปทำแป้งเหมือนกับวิธีการบดแห้ง จึงทำให้ได้แป้งที่มีคุณภาพ

จากกรรมวิธีการบีบและสกัดน้ำมันข้างต้นจะได้น้ำมันข้าวโพดที่เป็นน้ำมันดิบ (crude oil) ซึ่งน้ำมันดิบที่ได้นี้ประกอบไปด้วย triacylgryceride (TAG) และส่วนประกอบอื่นๆ แต่ส่วนประกอบที่มีความสำคัญเชิงพาณิชย์ คือ TAG น้ำมันข้าวโพดเกือบทั้งหมดที่ผลิตได้จะถูกนำมาใช้ในการบริโภคของมนุษย์ ดังนั้น เพื่อให้ได้น้ำมันข้าวโพดที่มีคุณภาพจึงต้องมีการกำจัดส่วนประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่ TAG ในน้ำมันดิบออกไป การทำให้น้ำมันข้าวโพดบริสุทธิ์ประกอบด้วย 1. การกำจัดสารขี้ผึ้ง (degumming) เป็นขั้นตอนที่แยกฟอสโฟลิปิด (phospholipid) เป็นจำนวนมากออก 2. การใช้สารละลายด่างเพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ (free fatty acid ; FFA) ฟอสโฟลิปิด และสี 3. การฟอกสีโดยกำจัด รงควัตถุและฟอสโฟลิปิด 4. การกำจัดไข และ 5. การกำจัดกลิ่น เพื่อให้มีรสชาติและกลิ่นที่ดีขึ้น และลดองค์ประกอบที่เป็น FFA ที่ยังเหลืออยู่ เป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนจะได้น้ำมันข้าวโพดบริสุทธิ์ และนำออกสู่ท้องตลาดต่อไป (Orthoefer *et al.*, 2003)

ลักษณะทางพันธุกรรมและการถ่ายทอดลักษณะปริมาณและคุณภาพของน้ำมันในเมล็ดข้าวโพด

1. ยีนควบคุมลักษณะปริมาณน้ำมันข้าวโพด

Merino *et al.* (1975) รายงานว่าจากการสร้างคู่ผสมระหว่าง Illinois High Oil (IHO) x Illinois Low Oil (ILO) พบว่า ความแปรปรวนของลักษณะการแสดงออกแบบบวกสะสม (additive gene effect) มีค่ามากกว่าความแปรปรวนของการแสดงออกแบบข่ม (dominance gene effect) แสดงให้เห็นว่าลักษณะปริมาณน้ำมันมียีนควบคุมหลายตำแหน่ง โดยมีการทำงานร่วมกัน และมีรายงานว่า ลักษณะปริมาณน้ำมันเป็นลักษณะปริมาณ ซึ่งควบคุมโดยยีน 20-40 คู่ และอาจมากถึง 200-400 คู่ (Jugenheimer, 1958) ในทำนองเดียวกัน Dudley (1977) รายงานว่า ใน IHO และ ILO มียีนควบคุมอย่างน้อย 54 ตำแหน่ง ที่แตกต่างกันในระหว่างทั้งสองสายพันธุ์

จากการศึกษาตำแหน่งของยีนที่ควบคุมลักษณะปริมาณน้ำมันด้วยวิธี monosomic analysis ของ Plewa and Weber (1973) พบว่ามีตำแหน่งของยีนอยู่บนโครโมโซมคู่ที่ 2, 6 และ 10 ซึ่งต่อมาได้มีการศึกษา QTL (Quantitative Trait Loci) mapping ในประชากรข้าวโพดเขตร้อนโดยใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอ 75 microsatellites และใช้วิธี CIM (Composite Interval Map) ซึ่งได้ประเมินความแปรปรวนของลักษณะทางจีโนไทป์ ลักษณะฟีโนไทป์ และค่าอัตราพันธุกรรม ประมวลผลโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่ามี QTL 13 ตำแหน่ง จาก 10 กลุ่มลิงค์เกจ โดยระยะระหว่าง markers เฉลี่ย เท่ากับ 19.18 cM มีปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 58.40 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่าอัตราพันธุกรรม

แบบกว้างสูงถึง 0.98 กระจายอยู่บน 8 โครโมโซม มีความผันแปรทางพันธุกรรม 26.64 เปอร์เซ็นต์ โดยตำแหน่งที่อยู่ในโครโมโซมคู่ที่ 1, 5 และ 6 เป็นตำแหน่งที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันในเมล็ดมากที่สุด และพบตำแหน่ง QTL จำนวน 9 ตำแหน่ง จากทั้งหมด 13 ตำแหน่ง ที่มีความสัมพันธ์กับพ่อ-แม่ที่มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูง โดยการแสดงออกของยีนอยู่ในช่วงการแสดงออกแบบบวกสะสมไปจนถึงการแสดงออกแบบข่มเกิน (Mangolin *et al.*, 2004)

นอกจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพดอีกประการหนึ่ง คือ อิทธิพลของพ่อแม่ (parental effect) Miller and Brimhall (1951) รายงานว่า ทั้งขนาดเอ็มบริโอ และปริมาณน้ำมันในเอ็มบริโอ ของเมล็ดข้าวโพด ได้รับอิทธิพลมาจากทั้งพ่อและแม่ โดยจะได้รับอิทธิพลมาจากแม่ (maternal effect) มากกว่าอิทธิพลจากพ่อหรือเกสรตัวผู้ (xenia effect) ซึ่งจากการผสมพันธุ์ข้าวโพดระหว่างพันธุ์ที่มีปริมาณน้ำมันสูงกับพันธุ์ที่มีปริมาณน้ำมันต่ำ พบว่าเมื่อใช้พันธุ์ที่มีปริมาณน้ำมันสูงเป็นพ่อจะทำให้ปริมาณน้ำมันในเมล็ดของลูกที่ได้เพิ่มขึ้น แต่จะเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการใช้พันธุ์น้ำมันสูงเป็นแม่ เมื่อเปรียบเทียบกับลูกที่ได้จากการผสมระหว่างพ่อแม่ที่มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดต่ำทั้งคู่

2. ยีนที่ควบคุมลักษณะคุณภาพของน้ำมันข้าวโพด

จากการศึกษาการถ่ายทอดชนิดของกรดไขมันในเมล็ดข้าวโพดตามกฎของเมนเดล พบว่ามียีน 1 หรือ 2 ตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับชนิดกรดไขมัน ทั้งนี้ขึ้นกับสายพันธุ์แท้ที่นำมาศึกษา (Poneleit and Alexander, 1965) โดยยีนบนโครโมโซมคู่ที่ 2 มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์กรดไขมันไลโนเลอิค และพบว่าแขนข้างยาวของโครโมโซมคู่ที่ 5 มียีนที่มีผลต่อชนิดกรดไขมัน (Plewa and Weber, 1975) ต่อมามีรายงานเพิ่มเติมว่ายีนที่มีอิทธิพลต่อกรดไขมันไลโนเลอิคอยู่บนแขนข้างยาวของโครโมโซมคู่ที่ 5 และอยู่บนแขนข้างสั้นของโครโมโซมคู่ที่ 1 (Shedley and Weber, 1980; Widstrom and Jellum, 1984)

ลักษณะอื่นๆ และปัจจัยที่มีผลต่อน้ำมันในเมล็ดข้าวโพด

1. ขนาดเอ็มบริโอ และขนาดเมล็ด

เมล็ดข้าวโพดปริมาณน้ำมันสูงจะมีขนาดเอ็มบริโอใหญ่กว่าเมล็ดข้าวโพดที่มีปริมาณน้ำมันต่ำกว่า (ชำนาญ และคณะ, 2513) และลักษณะขนาดของเมล็ดมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณน้ำมันในเมล็ด (Alexander and Seif, 1963) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Watson and Freeman (1975) กล่าวว่า การเพิ่มขึ้นของน้ำมัน 1 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้โปรตีนเพิ่มขึ้น 0.38 เปอร์เซ็นต์ แต่ปริมาณแป้งในเมล็ดจะลดลง 1.96 เปอร์เซ็นต์

2. ตำแหน่งของเมล็ดภายในฝัก

จากการศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งเมล็ดภายในฝักของ Jellum (1967) พบว่า จากตำแหน่งปลายฝักไปยังโคนฝักจะมีปริมาณกรดไขมันปาล์มมิติคและไลโนเลอิคลดลง แต่กรดไขมันโอเลอิคจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งปลายฝักมายังโคนฝัก

3. ความชื้น

การลดลงของความชื้นในเมล็ดระหว่างข้าวโพดน้ำมันสูงกับข้าวโพดไร่ทั่วไปหลังระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา พบว่า เมล็ดของข้าวโพดน้ำมันสูงมีอัตราการลดลงของความชื้นช้ากว่าเมล็ดข้าวโพดไร่ทั่วไป (Alexander, 1988)

4. ฤดูปลูก

จากการศึกษาของ Jellum and Marion (1966) พบว่า การปลูกข้าวโพดในช่วงปลายฤดูฝนจะทำให้ปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิคลดลงอย่างมาก ส่วนกรดไขมันสเตียริค (stearic acid) และกรดไขมันโอเลอิคจะลดลงเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อวิเคราะห์รวมแล้วปรากฏว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดน้ำมันสูง

1. การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดน้ำมันสูงในต่างประเทศ

การปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้เมล็ดข้าวโพดมีน้ำมันสูงขึ้น ได้เริ่มขึ้นเมื่อ ปี ค.ศ. 1896 ที่มหาวิทยาลัย Illinois ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยได้มีการคัดเลือกจากพันธุ์ผสมเปิดพันธุ์ Burr's White มีเมล็ดสีขาว และมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันเฉลี่ยเท่ากับ 4.70 เปอร์เซ็นต์ ได้มาจากฟาร์มของ F.E. Burr ที่เมือง Champaign รัฐ Illinois ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยคัดเลือกข้าวโพด 163 ฝัก มาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมัน แล้วคัดเลือกฝักที่มีน้ำมันสูงไว้ 24 ฝัก (Illinois High Oil: IHO) และคัดเลือกฝักที่มีปริมาณน้ำมันต่ำ 12 ฝัก (Illinois Low Oil: ILO) จากนั้นทำการคัดเลือกแบบวงจรโดยพิจารณาจากลักษณะปรากฏ (recurrent selection for phenotypic characteristic) หรือการคัดเลือกรวม (mass selection) ปรากฏว่าในชั่วที่ 50 พันธุ์ IHO มีปริมาณน้ำมันเฉลี่ย เท่ากับ 15.36 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณน้ำมันเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 16.64 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วที่ 70 (Dudley, 1974) และชั่วที่ 76 Dudley (1977) ทำการคัดเลือกจนได้เปอร์เซ็นต์น้ำมันเพิ่มขึ้นเป็น 19 เปอร์เซ็นต์ และในชั่วที่ 90 Dudley และ Lambert (1992) คัดเลือกได้ข้าวโพดที่มีปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นถึง 22 เปอร์เซ็นต์ และในปี ค.ศ.1999 ได้ทำการปรับปรุงพันธุ์มาถึงรอบการคัดเลือกที่ 100 ได้ข้าวโพดที่มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดเฉลี่ย 20.37 เปอร์เซ็นต์ (Dudley and Lambert, 2004)

Misevic and Alexander (1989) รายงานว่า การตอบสนองต่อการคัดเลือกและข้อจำกัดในการคัดเลือกข้าวโพดน้ำมันสูงขึ้นอยู่กับประชากรและวิธีการคัดเลือก โดยการคัดเลือกแบบหมุนเวียนในประชากร Alexho synthetic ได้มีการคัดเลือกถึงรอบที่ 24 ซึ่งในแต่ละรอบของการคัดเลือกจะนำมาประเมินเพื่อศึกษาการตอบสนองต่อการคัดเลือก และพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมัน กรดไขมัน ผลผลิต และลักษณะทางเกษตรอื่นๆ โดยนำมาทดสอบ 2 วิธี คือ การทดสอบแบบ line per se และการทดสอบโดยผสมกับตัวทดสอบ 2 สายพันธุ์ พบว่า การทดสอบแบบแรกมีอัตราการเพิ่มของปริมาณน้ำมันต่อรอบการคัดเลือกสูงกว่า คือ 0.49 เปอร์เซ็นต์ ส่วนวิธีที่สองมีอัตราการเพิ่มของปริมาณน้ำมันสำหรับตัวทดสอบสายพันธุ์ที่ 1 และ 2 คือ 0.21 และ 0.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

นอกจากวิธีการคัดเลือกแล้ว ยังมีข้อจำกัด ด้านแหล่งรวมของยีนซึ่งเป็นยีนเดี่ยว (single gene pool source) การหาแหล่งรวมของยีนใหม่ๆ จึงเป็นแนวทางที่ดีในการปรับปรุงพันธุ์ เพื่อเพิ่ม

ปริมาณน้ำมัน ผลผลิต และสมรรถนะการผสม ซึ่งการลดปัญหาเหล่านี้สามารถทำได้โดยการผสมระหว่างประชากรข้าวโพดน้ำมันสูง จะทำให้ทราบถึงรูปแบบของเฮทเทอโรซีส และสามารถแยกประชากรข้าวโพดน้ำมันสูงเพื่อใช้ในการคัดเลือกแบบหมุนเวียนได้ Misevic *et al.* (1989) ทดลองใช้ประชากรข้าวโพดน้ำมันสูง 6 ประชากร ซึ่งมีปริมาณน้ำมันอยู่ระหว่าง 6-18 เปอร์เซ็นต์ ผสมแบบพบกันหมด ทดสอบผลผลิตและปริมาณน้ำมันโดยใช้พันธุ์การค้าเป็นพันธุ์เปรียบเทียบ พบว่าการแสดงออกเป็นแบบ additive gene มากกว่า non-additive gene โดยคู่ผสมที่ให้สมรรถนะการผสมสูงสุด คือ RSSSC x ASKC24 จึงสรุปได้ว่าทั้งสองประชากรเหมาะที่จะใช้ทำการคัดเลือกแบบหมุนเวียนสลับ เนื่องจากเกิดเฮทเทอโรซีสสูงและมีสมรรถนะการผสมที่ตอบสนองต่อปริมาณน้ำมันและผลผลิตสูง

จากการทดสอบรุ่นลูก F_1 และ F_2 โดยการผสมแบบพบกันหมดของสายพันธุ์แท้ 9 สายพันธุ์ พบว่า ค่า mean square ของสมรรถนะการรวมตัวทั่วไป (General Combining Ability, GCA) มีค่ามากกว่า ค่า mean square ของสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (Specific Combining Ability, SCA) และค่า GCA mean square ของสายพันธุ์แท้สามารถทำนายได้โดยตรงจากค่าเฉลี่ยของสายพันธุ์แท้ทั้ง 9 สายพันธุ์ นอกจากนี้การปรับปรุงพันธุ์เพื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณและคุณภาพของน้ำมันในเมล็ดจะมีประสิทธิภาพเมื่อใช้แหล่งความแปรปรวนแบบ additive และการคัดเลือกปริมาณและคุณภาพของน้ำมันควบคู่กันไปจะทำให้เกิดความก้าวหน้าในการปรับปรุงพันธุ์ (Poneleit and Bauman, 1970)

2. การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดน้ำมันสูงในประเทศไทย

ในประเทศไทย ชำนาญ และคณะ (2513) สำรวจปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพดจำนวน 35 สายพันธุ์ พบว่า ทั้ง 35 สายพันธุ์มีปริมาณน้ำมันตั้งแต่ 1.60-9.32 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์ต่างประเทศ 2 พันธุ์ คือ Alexander High Oil Cycle 8 และ Syn D.O. Cycle 6 มีปริมาณน้ำมัน 15.72 และ 13.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณน้ำมันสูงกว่าพันธุ์ทั่วไปแต่ให้ผลผลิตต่ำกว่า ต่อมา ชำนาญ และคณะ (2522) ใช้ข้าวโพดพันธุ์ต่างประเทศ 2 พันธุ์ ดังกล่าว ผสมกับข้าวโพดไร่พันธุ์ต่างๆ ปรากฏว่าได้ข้าวโพดที่มีผลผลิตและปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้น แต่ความต้านทานต่อโรคยังมีความแปรปรวนมาก และจากรายงานการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมน้ำมันสูงของ ชำนาญ และคณะ ปี 2537 และ 2538 รายงานว่ามีการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมน้ำมันสูงได้จำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์มก.3501 มก.3502 และ มก.3503 ซึ่งมีปริมาณน้ำมัน 8.7 7.8 และ 7.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งถือว่าเป็นข้าวโพดลูกผสมน้ำมันสูงที่มีศักยภาพในประเทศไทย

สุนีรัตน์ (2528) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แป้งกับเปอร์เซ็นต์น้ำมัน โดยการนำพันธุ์ AHO มาผสมตัวเอง 2 ชั่ว แล้วนำเมล็ดของสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 ไปวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์แป้งและน้ำมัน โดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แป้งและน้ำมัน พบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงลบ นอกจากนี้ยังพบว่าการผสมตัวเองของข้าวโพดทั้ง 2 ชั่ว ทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำมันลดลง โดยการผสมตัวเองชั่วที่ 2 ปริมาณน้ำมันลดลงในอัตราต่ำกว่าการผสมตัวเองชั่วที่ 1 แต่จากการนำมาทดสอบกับสายพันธุ์ทดสอบ ปรากฏว่าในลูกทดสอบมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันเพิ่มขึ้น ต่อมา ธีรพันธ์ (2529) ได้คัดเลือกสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 1 ในข้าวโพดน้ำมันสูงเพื่อสร้างพันธุ์สังเคราะห์ โดยการคัดเลือก พิจารณาจากปริมาณน้ำมันที่สูงกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ และการให้ผลผลิตตั้งแต่ 78 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตพันธุ์สุวรรณ 1 รอบการคัดเลือกที่ 9 ชั่วที่ 2 ขึ้นไป ซึ่งคัดเลือกจากคู่ผสมที่ได้มาจากการผสมแบบพบกันหมดจำนวน 45 คู่ ได้คู่ผสมจำนวน 5 คู่ ได้แก่ AHO42-1 x DA(HO)8-1 AHO41-1 x HO1-16 AHO21-2 x HO1-3 AHO41-1 x HO1-2 และ AHO21-2 x HO1-24 เมื่อเทียบจากผลผลิตของพันธุ์สุวรรณ 1 รอบการคัดเลือกที่ 9 ชั่วที่ 2 ซึ่งให้น้ำมันเพียง 4.2 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตเท่ากับ 82 81 80 80 และ 78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำมันและแป้ง ของสายพันธุ์ผสมตัวเอง 1 ชั่ว ของคู่ผสม พบว่า คู่ผสม AHO42-1 x DA(HO)8-1 มีความสัมพันธ์ในเชิงลบ ส่วนคู่ผสมอื่นๆ พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน เมธี (2531) ใช้สายพันธุ์น้ำมันสูงเป็นพันธุ์พ่อในการสร้างลูกผสมเดี่ยวและลูกผสมสามทาง พบว่า ลูกผสมเดี่ยวมีแนวโน้มให้ผลผลิตมากกว่าลูกผสมสามทาง โดยลูกผสมเดี่ยวให้ผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 731 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนลูกผสมสามทางให้ผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 698 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนปริมาณน้ำมันเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันคือ เท่ากับ 5.6 และ 5.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการนำข้าวโพดน้ำมันสูงจำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ DAHO AHO และ IHO มาผสมกันโดยตรง และผสมตัวเอง 1 ชั่ว แล้วนำมาผสมกับสายพันธุ์แท้ Ki ต่างๆ และผสมแบบพบกันหมดระหว่างข้าวโพดน้ำมันสูงทั้ง 3 พันธุ์ รวมทั้งหมดจำนวน 60 คู่ผสม พบว่า คู่ผสมที่มีปริมาณน้ำมันสูงสุดเท่ากับ 8.1 เปอร์เซ็นต์ คือ Ki21 x DAHO และ Ki21 x AHO-S1-3 และพบว่าข้าวโพดลูกผสมน้ำมันสูงทั้งหมดมีลักษณะทางเกษตรที่ดีขึ้น (ศุภาวุฒิ, 2540) ต่อมา ชเนษฎ์ (2541) ปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมน้ำมันสูง โดยคัดเลือกได้จำนวน 23 สายพันธุ์ จากสายพันธุ์ข้าวโพดน้ำมันสูงทั้งหมด 119 สายพันธุ์ ซึ่งได้มาจาก 3 กลุ่มประชากร ได้แก่ AHO IHO และ DAHO โดยทำการผสมแบบ factorial กับสายพันธุ์แท้ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ Ki35 Ki41 และ Ki44 ตามลำดับ ได้ลูกผสมจำนวน 69 ลูกผสม แล้วนำมาทดสอบผลผลิตร่วมกับข้าวโพดลูกผสมน้ำมันสูงจำนวน 9 ลูกผสม และพันธุ์เปรียบเทียบ 3 พันธุ์ จากผลการทดลอง พบว่า ยังไม่มีลูกผสมใดที่ให้ทั้งผลผลิตและเปอร์เซ็นต์น้ำมันสูง โดยลูกผสม [(AHO x Ki37)-#-S5-76-4-4] ซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงเท่ากับ

1,262 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณน้ำมันเท่ากับ 5.84 เปอร์เซ็นต์ และลูกผสม [(AHO x Ki 37)-#-S5-76-9-1] ซึ่งเป็นลูกผสมที่มีปริมาณน้ำมันสูงเท่ากับ 7.78 เปอร์เซ็นต์ แต่ให้ผลผลิตต่ำ เท่ากับ 711 กิโลกรัมต่อไร่

3. ปัญหาในการปรับปรุงพันธุ์

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดให้มีปริมาณน้ำมันสูงเพื่อให้ได้ทั้งผลผลิตและปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่สูงด้วยนั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากในกระบวนการผลิตและการเปลี่ยนแปลงน้ำตาลซูโครสไปเป็นแป้งจะใช้น้ำตาลซูโครสเพียง 1 แคลอรี เพื่อใช้ในการเปลี่ยนไปเป็นแป้งจำนวน 1 แคลอรี ในขณะที่การเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสไปเป็นน้ำมันจะต้องใช้ซูโครสถึง 2 แคลอรี เพื่อให้ได้น้ำมันเพียง 1 แคลอรี ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ข้าวโพดที่มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูงๆ มักให้ผลผลิตต่ำ (Alexander, 1987)

การปรับปรุงประชากรโดยวิธีคัดการเลือกรวม (Mass Selection)

วิธีการคัดเลือกรวม (Mass Selection) เป็นวิธีการคัดเลือกที่ง่าย และใช้มานาน โดยใช้การคัดเลือกด้วยสายตา การใช้เครื่องมือในการคัดเลือก การคัดเลือกโดยธรรมชาติ และอาจจะมีการประยุกต์ใช้วิธีการอื่นๆ อีกหลายวิธีมาช่วยตัดสินใจในการคัดเลือก (Jensen, 1988) ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดโดยทั่วไปมีวิธีการคือ คัดเลือกฝักที่ดีจากต้นที่ดี แล้วนำเมล็ดจากฝักที่คัดเลือกทั้งหมดไปปลูกต่อในฤดูปลูกถัดไป ซึ่งความสำเร็จในการคัดเลือกของวิธีนี้เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของความถี่ยีน และความแม่นยำในการคัดเลือก ส่วนมากในสหรัฐอเมริกาใช้ในการคัดเลือกข้าวโพดพันธุ์ผสมเปิด โดยพันธุ์ที่เป็นที่รู้จัก ได้แก่ พันธุ์ Reid Yellow Dent ซึ่งเป็นพันธุ์ผสมเปิดที่มีลักษณะดี คือมีการปรับตัวที่ดีต่อสภาพแวดล้อม มีประสิทธิภาพในการนำมาเป็นอาหารสัตว์ และมีลักษณะทางเกษตรที่ดี ต่อมานักปรับปรุงพันธุ์พืชหลายท่านได้นำพันธุ์นี้มาใช้ในโครงการปรับปรุงพันธุ์อย่างต่อเนื่อง โดยนำมาสกัดสายพันธุ์อินเบรดแล้วสร้างลูกผสมที่ดีอีกหลายพันธุ์ มีการนำวิธีการนี้มาใช้ในการปรับปรุงลักษณะอื่นๆ ในข้าวโพดอีก เช่น ระยะเก็บเกี่ยว ลักษณะต้น ลักษณะฝัก และองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ด เป็นต้น (Robert and Jugenheimer, 1976)

Jugenheimer (1976) กล่าวว่า ข้อได้เปรียบของวิธีการคัดเลือกรวมเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการคัดเลือกแบบอื่น คือ เป็นวิธีที่ง่ายในการปฏิบัติ ใช้เวลาน้อยในการคัดเลือกแต่ละรอบการคัดเลือก

นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่ใช้ในการรวบรวมเชื้อพันธุกรรมได้ดี เนื่องจาก ในการรักษาเชื้อพันธุกรรมมีจำนวนต้นจำกัด วิธีการคัดเลือกรวมเป็นวิธีที่ดีในการคงความแปรปรวนของพันธุกรรมเอาไว้ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังมีข้อจำกัด คือ ประชากรที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์เป็นผลมาจากการคัดเลือกจากลักษณะฟีโนไทป์ ในสภาพแวดล้อมเดียว ซึ่งการแสดงออกของลักษณะที่คัดเลือกอาจได้รับอิทธิพลมาจากสิ่งแวดล้อมเป็นส่วนใหญ่ Jensen (1988) กล่าวว่า การปรับปรุงพันธุ์โดยใช้วิธี Mass Selection ควรมีข้อมูลเบื้องต้น ได้แก่ ข้อมูลอัตราพันธุกรรมของลักษณะที่ต้องการ ค่าสหสัมพันธ์ของลักษณะทางพันธุกรรม และข้อมูลทางสถิติของลักษณะอื่นๆ การปรับปรุงพันธุ์ที่ประสบความสำเร็จหลายงานนั้น ลักษณะที่ต้องการคัดเลือกเป็นลักษณะที่มีอัตราพันธุกรรมสูง

กฤษฎา (2551) กล่าวว่า การคัดรวมพื้นฐาน (วิธีการคัดเลือกรวม) เป็นการคัดเลือกโดยพิจารณาจากประชากรโดยตรง และนำพืชที่คัดไว้มารวมกัน โดยไม่มีการทดสอบรุ่นลูก และอาจมีหรือไม่มีการควบคุมการถ่ายละอองเกสรก็ได้ สำหรับในพืชผสมข้ามที่ไม่มีการควบคุมการถ่ายละอองเกสร เมล็ดจากแต่ละต้นเป็น halfsibs เนื่องจากมีแม่ร่วมกันมา และมีพ่อมาจากหลายต้น เรียกวิธีปรับปรุงประชากรแบบนี้ว่า การคัดรวมแบบพื้นฐาน half-sib ถ้าต้นที่คัดเลือกมีการควบคุมการถ่ายละอองเกสรแบบต้นต่อต้น เป็นการคัดรวมแบบพื้นฐานแบบ full-sib และถ้าต้นที่ได้รับการคัดเลือกมาจากการผสมตัวเอง 1 ครั้ง เป็นการคัดรวมแบบพื้นฐานแบบ S_1 วิธีการคัดรวมพื้นฐานแบบ half-sib น่าจะเหมาะสำหรับการรักษาลักษณะโดยทั่วไปของประชากรให้คงอยู่ หรือเพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนอย่างช้าๆ ส่วนวิธีการคัดรวมพื้นฐานแบบ S_1 น่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสมเมื่อต้องการคัดลักษณะแฝงที่ไม่ต้องการออกจากประชากรอย่างรวดเร็ว การผสมแบบต้นต่อต้นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการอนุรักษ์กลุ่มของยีนที่ยึดเกาะกันในแบบ ข่ม-แฝง เพื่อเปิดโอกาสให้มีการแยกตัวออกจากกันในชั่วหลังๆ

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในเมล็ด

1. การวิเคราะห์โดยวิธีปกติ

ในขบวนการคัดเลือกสายพันธุ์จำเป็นต้องทราบปริมาณน้ำมันทั้งหมดในเมล็ดของข้าวโพดสายพันธุ์นั้นๆ โดยทั่วไปจะใช้วิธีการตรวจวัดปริมาณน้ำมันของ AOAC (Association of Official Chemist Society) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่อาศัยหลักการการสกัดทางเคมี เป็นวิธีที่ใช้กันมานาน มีขั้นตอนที่ยุ่งยากใช้เวลานาน และเมล็ดข้าวโพดที่ผ่านขบวนการสกัดดังกล่าว จะถูกบดทำลายและไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อีก ดังนั้นหากจะใช้วิธีการสกัดน้ำมันในการทำนายปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพดที่มีจำนวนมากจึงทำได้ยากเพราะต้องใช้เวลานาน (ชำนาญ และคณะ, 2513)

2. การวิเคราะห์โดยใช้นิวเคลียร์แมกเนตติกแรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy)

นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) เป็นเครื่องมือที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจาก การที่ช่วงของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นช่วงคลื่นวิทยุ (radio wave) ซึ่งเป็นพลังงานที่ต่ำที่สุดและมีผลทำให้นิวเคลียสของธาตุเกิดแมกเนติกโมเมนต์ (magnetic moment) ได้ ภายใต้ทรานซิชันระหว่างการสปินของนิวเคลียส เมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีความแรง โดยสารอินทรีย์ที่อยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมระหว่างสนามแม่เหล็กกับความถี่ในช่วงคลื่นวิทยุ จะทำให้เกิดปรากฏการณ์นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ของนิวเคลียสในโมเลกุลของสารนั้น เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ของพลังงานกับความเข้มของพีคการดูดกลืนจะได้เป็นสเปกตรัมของ NMR โดยจะนำมาประเมินค่าเคมีของตัวอย่างได้ และเป็นวิธีการที่ไม่มีการทำลายตัวอย่าง (non destructive testing) (สมเดช, 2547)

ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดน้ำมันสูงพันธุ์ Alexho synthetic ได้มีการนำ NMR มาใช้ในการประเมินหาปริมาณน้ำมันในเมล็ด เพื่อการคัดเลือกข้าวโพดที่มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูง ซึ่งมีการประเมินหาปริมาณน้ำมันทีละเมล็ด (single-kernel selection) โดย Lambert *et al.* (2004) รายงานว่ามีการปรับปรุงพันธุ์มาถึงรอบการคัดเลือกที่ 28 ได้ข้าวโพดน้ำมันสูงที่มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดเฉลี่ยเท่ากับ 22.06 เปอร์เซ็นต์ จากประชากรเริ่มต้นที่มีปริมาณน้ำมันเฉลี่ยเท่ากับ 4.58 เปอร์เซ็นต์

3. การวิเคราะห์โดยใช้อินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี (near infrared spectroscopy; NIRS)

รังสีอินฟราเรด (infrared ray) เป็นรังสีที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 0.78-1000 ไมโครเมตร ซึ่งอยู่ระหว่างช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (visible spectrum) และช่วงคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 3 ช่วงความยาวคลื่น ได้แก่ อินฟราเรดย่านใกล้ (near infrared) มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.78-2.5 ไมโครเมตร อินฟราเรดย่านกลาง (mid infrared) มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 2.5-50 ไมโครเมตร และอินฟราเรดย่านไกล (far infrared) มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 50-1000 ไมโครเมตร

อินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี (near-infrared spectroscopy; NIRS) เป็นสเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดอีกช่วงคลื่นหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าทางเคมีของสารที่ไม่มีการทำลายตัวอย่าง โดยเกิดจากการที่สารดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงความยาวคลื่น NIR 785-265 นาโนเมตร เป็นผลทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นที่ความถี่สูง โมเลกุลจะถูกกระตุ้นจากสภาวะพื้น ไปยังสภาวะเร้าและให้แถบ weak bands โดยสารประกอบทุกชนิดมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสง พลังงานที่ถูกดูดกลืนสามารถวัดได้โดยทางอ้อม ด้วยการวัดปริมาณพลังงานที่ถูกส่งผ่านตัวอย่างหรือพลังงานแสงที่สะท้อนกลับออกมาจากตัวอย่าง พิจารณาตัวอย่างที่โปร่งแสงวางอยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์วัดแสง เมื่อปล่อยแสงจากแหล่งกำเนิดแสงซึ่งมีความเข้มแสงเริ่มต้น (I_0) ผ่านตัวอย่างที่โปร่งแสงจะเหลือความเข้มแสงสุดท้าย (I) ซึ่งจะมีค่าน้อยลง เนื่องจากแสงส่วนหนึ่งถูกตัวอย่างดูดกลืนไว้โดยอัตราส่วนระหว่างความเข้มแสงที่ทะลุผ่านตัวอย่างต่อความเข้มแสงเริ่มต้น เรียก Transmittance

$$\text{Transmittance } (T) = I/I_0$$

เมื่อต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่าง Transmittance กับความเข้มข้นของค่าทางเคมีในตัวอย่าง มักจะใช้ Absorbance เนื่องจากเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนกับความเข้มข้น ดังนี้

$$\text{Absorbance} = -\log T = \log 1/T$$

เมื่อ $I/I_0 = 1$ จะเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ Absorbance หรือ 100 เปอร์เซ็นต์ Transmittance

ความยาวคลื่นที่ถูกดูดกลืนโดยสาร เป็นฟังก์ชันของโครงสร้างทางโมเลกุลของสารประกอบนั้นๆ ดังนั้นการดูดกลืนแสงจึงเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสารประกอบนั้นๆ โดยสารประกอบแต่ละชนิดจะมี ค่าสเปกตรัมของการดูดกลืนแสง (absorbance spectrum) ที่แตกต่างกัน โดยที่ absorbance spectrum เป็นรูปแบบระหว่างการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่น (นิพนธ์, 2545)

โดยทั่วไปเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 5 ส่วน ได้แก่ แหล่งกำเนิดรังสี อุปกรณ์ในทางเดินแสง ตัวทำแสงเอกรงค์ อุปกรณ์วัดรังสี และ เครื่องบันทึกผล แหล่งกำเนิดรังสีที่นิยมใช้ คือ เนินสต์ฟิลาเมนต์ (Nernst filament) และโกลบาร์ (globar) โดยรังสีอินฟราเรดที่เกิดขึ้นจะถูกแยกเป็น 2 ทาง ซึ่งทางแรกจะส่องผ่านเซลล์ที่บรรจุสารอ้างอิง ส่วนทางที่สองจะเป็นเซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่าง โดยรังสีที่ส่องผ่านสารอ้างอิงจะต้องผ่านตัวลดลำรังสี จากนั้นรังสีทั้งสองจะผ่านตัวช็อปเปอร์ (chopper) ซึ่งมีหน้าที่ตัดสลับให้ลำรังสีที่ส่องผ่านสารตัวอย่างและผ่านสารอ้างอิงแล้วผ่านเข้าสู่ตัวทำแสงเอกรงค์ซึ่งทำหน้าที่เลือกความยาวคลื่น นิยมใช้ปริซึม (prism) และเกรตติง (grating) ในการทำอุปกรณ์ทำแสงเอกรงค์ ลำรังสีเอกรงค์ที่ส่องผ่านสารแล้วจะผ่านเข้าสู่อุปกรณ์ที่ใช้วัดรังสี โดยภายในอุปกรณ์วัดรังสีจะมีส่วนที่เปลี่ยนรังสีให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า เข้าสู่ส่วนขยาย แล้วส่งต่อไปยังส่วนบันทึกผลซึ่งสัญญาณจะถูกบันทึกในรูปของกราฟระหว่างความยาวคลื่นหรือความถี่ของรังสีอินฟราเรดก่อนผ่านสารกับค่าการดูดกลืนแสงหลังจากผ่านสารตัวอย่าง (เย็นหทัย, 2549)

ในการหาปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพด สเปกตรัมที่ได้จากการสแกนเมล็ดข้าวโพดจะถูกนำไปเข้าสมการที่สร้างมาจากข้อมูลสเปกตรัมอินฟราเรดย่านใกล้ และข้อมูลปริมาณน้ำมันจากการสกัดทางเคมีของเมล็ดข้าวโพด เพื่อทำนายหาปริมาณน้ำมัน โดยสมการที่ใช้ข้อมูลจำนวนมากจะส่งผลให้ค่าการทำนายมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

3.1 การสร้างสมการเพื่อประเมินค่าทางเคมี

การสร้างสมการ ประกอบไปด้วยขั้นตอนที่สำคัญ คือ ขั้นตอนการสร้างสมการ (calibration) โดยการใช้ข้อมูลทางเคมีและข้อมูลสเปกตรัมของตัวอย่างชุดมาตรฐานที่จะนำมาใช้ในการสร้างสมการ และการทดสอบสมการ (validation) ซึ่งสมการประเมินค่าทางเคมีแบ่งเป็น 4 แบบ ได้แก่

1. Single term linear regression
2. Multiterm linear regression
3. Principle component regression
4. Partial least square regression

หลังจากได้สมการประเมินค่าทางเคมีที่สัมพันธ์มากที่สุดกับปริมาณของสิ่งที่ต้องการหาแล้ว จะต้องมีการทดสอบสมการก่อนนำไปใช้จริง ซึ่งวิธีที่นิยมแพร่หลายมีอยู่ 2 วิธี ได้แก่

1. Full cross validation เป็นการทดสอบสมการภายใน คือ ใช้ตัวอย่างในการทดสอบที่เป็นตัวอย่างชุดมาตรฐานทั้งหมดที่ใช้ในการสร้างสมการ โดยนำมาหาค่า root mean square error of cross validation (RMSECV)

2. การทดสอบผลการประเมิน (prediction testing) วิธีนี้จะทดสอบสมการแบบภายนอก โดยทดสอบจากชุดตัวอย่างที่เตรียมขึ้นใหม่ นำมาวิเคราะห์ในสภาวะเดียวกับชุดตัวอย่างมาตรฐาน และนำไปหาสเปคตรัม แล้วนำไปคำนวณจากสมการประเมินค่าทางเคมีที่ต้องการทดสอบ แล้วดูผลการคำนวณที่ได้และค่าสถิติ ซึ่งค่าที่ควรพิจารณา ได้แก่ ค่า bias และ ค่า root mean square error of prediction (RMSEP) (ศุมาพร, 2545)

ธงชัย (2545) กล่าวว่า ค่าสถิติที่ใช้ในการตรวจสอบว่าสมการทำนาย ที่สร้างขึ้นมาถูกต้องและสามารถนำไปใช้งานได้หรือไม่ คือ ค่า standard error of prediction (SEP) และ ค่า bias ซึ่งควรจะมีค่าน้อยๆ ถึงจะแสดงว่าสมการทำนาย มีความเหมาะสมที่จะนำเครื่องอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรมิเตอร์มาใช้ในการทำนายคุณลักษณะที่ต้องการหา รวมทั้งค่า สัมประสิทธิ์ตัวกำหนด coefficient of determination (r^2) ควรจะมีค่าเข้าใกล้ 1

3.2 การนำ NIRS มาใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรและด้านอื่นๆ

การนำเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี มาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน แป้ง และน้ำมันในข้าวโพดโดยไม่ทำให้เมล็ดได้รับความเสียหาย จากการนำเมล็ดข้าวโพดพันธุ์ทั่วไปจำนวน 309 ตัวอย่าง มาตรวจสอบด้วยรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ และนำไปสกัดหาค่าทางเคมี จากนั้นหารูปแบบความสัมพันธ์ของลักษณะของสเปกตรัมกับองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้สมการ

หลายตัวแปร (partial least square regression; PLSR) โดยมีค่าพารามิเตอร์ของรีเกรสชั่น คือค่าทางเคมีของข้าวโพด และค่าสเปกตรัมของเมล็ดข้าวโพดที่ได้จากการตรวจสอบด้วยรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ (Jiang *et al.*, 2007) ในการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดทานตะวัน ซึ่งได้แก่การตรวจสอบปริมาณน้ำมัน โปรตีน และองค์ประกอบของกรดไขมัน การใช้เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี เป็นวิธีที่สำคัญเนื่องจากเป็นวิธีที่แม่นยำ ประหยัดเวลา และเสียค่าใช้จ่ายน้อยเมื่อเทียบกับวิธีการวิเคราะห์โดยทั่วไป นอกจากการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดทานตะวันแล้วยังสามารถนำไปปรับใช้กับงานด้านการปรับปรุงพันธุ์ทานตะวันต่อไป (Biskupek and Moschner, 2006) นอกจากด้านการเกษตรแล้ว ยังมีการนำ NIRS มาใช้ในด้านอื่นๆ ด้วย เช่น อุตสาหกรรมด้านเภสัชกรรมและยาสมุนไพร อุตสาหกรรมอาหารสัตว์น้ำ อุตสาหกรรมโพลีเมอร์ ใช้หาค่าเคมีต่างๆ ของผลไม้ และอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ เป็นต้น (วารุณี, 2545)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ประชากรข้าวโพดน้ำมันสูง 2 ประชากร ได้แก่
   1.1 High Oil Dent DMR Population (HODDMR)
   [{Suwan (SW) 5 (S)C4 x Alex syn. C23}-F_2 x KS23(S)C3]-F_5
   1.2 High Oil Flint DMR Population (HOFDMR)
   [{SW 1(S)C11 x Illinois high oil (IHO) C10}-F_2 x SW1(S)C12]-F_5

2. เมล็ดข้าวโพดพันธุ์เปรียบเทียบ
   2.1 SW1 C12
   2.2 K23 C3
   2.3 Alex syn.C23
   2.4 IHO C10
   2.5 NK40
   2.6 SW4452

3. ปุ๋ยเคมี
   3.1 ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ใส่ในอัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่
   3.2 ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ใส่ในอัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่

4. สารเคมี
   4.1 สารควบคุมวัชพืช Atrazine
   4.2 ยาคลุกเมล็ด Metalaxyl 35 SD (Apron 35 SD)
   4.3 ยารมเมล็ดกันแมลงศัตรู Aluminium phosphide 56 เปอร์เซ็นต์

5. เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพด อินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรมิเตอร์ BRAN + LUEBE รุ่น Infra Alyzer 500

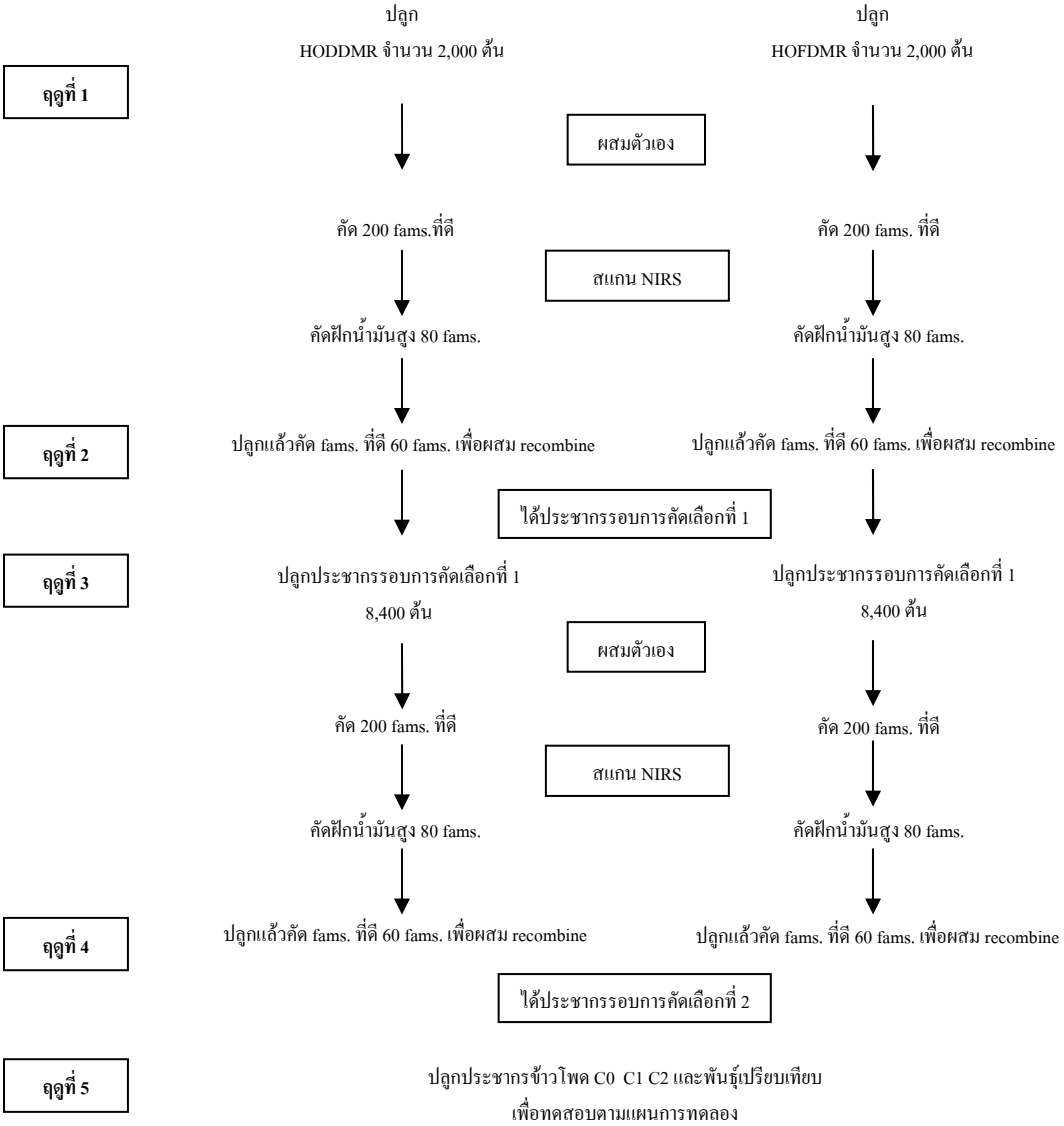
6. ชุดสกัด sohxlet สำหรับสกัดน้ำมันในเมล็ดข้าวโพด

7. อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการผสมข้าวโพด และบันทึกข้อมูล

วิธีการ

1. การคัดเลือกประชากรข้าวโพดเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันในเมล็ด

คัดเลือกโดยใช้วิธี Mass Selection โดยคัดเลือกใน 2 ประชากรไปพร้อมกัน ได้แก่ 1) ประชากรข้าวโพดน้ำมันสูง HODDMR และ 2) ประชากรข้าวโพด HOFDMR มีการคัดเลือกดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2 วิธีการคัดเลือกประชากรข้าวโพดเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันโดยวิธี Mass Selection

ฤดูที่ 1

ปลูกประชากรข้าวโพดน้ำมันสูง HODDMR และ HOFDMR ประชากรละ 2,000 ต้นในพื้นที่ 400 ตารางเมตร โดยใช้ระยะห่างระหว่างแถว 75 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างต้น 25 เซนติเมตร คัดเลือกต้นที่มีลักษณะทางการเกษตรที่ดีจำนวนประชากรละ 1,000 ต้น นำมาผสมตัวเอง เก็บเกี่ยวและคัดเลือกฝักที่ดี 200 families (200 ฝัก) เพื่อนำไปประเมินหาปริมาณน้ำมันด้วยเครื่องอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรมิเตอร์ หลังจากนั้นคัดเลือก 80 families ที่มีปริมาณน้ำมันสูงของแต่ละประชากร

ฤดูที่ 2

เนื่องจากข้าวโพดที่คัดเลือกไว้ทั้ง 80 families ได้รับการผสมตัวเองในฤดูปลูกที่ 1 ทำให้อาจเกิดการถดถอยทางพันธุกรรม ซึ่งอาจมีบางสายพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรค หรืออาจมีลักษณะดอกตัวผู้เป็นหมัน ดังนั้น จึงคัดเลือก families ที่มีลักษณะตามต้องการเพียง 60 families แล้วผสมให้เกิดการรวมตัวกันของพันธุกรรม (recombination) โดยปลูกข้าวโพด 80 families จำนวน family ละ 2 แถว ใช้ระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร และระยะระหว่างต้น 25 เซนติเมตร เมื่อข้าวโพดถึงระยะผสมพันธุ์ คัดเลือกสายพันธุ์ที่มีลักษณะดี 60 families เพื่อผสมในระหว่าง 60 families เมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยว เก็บเกี่ยวฝักจาก 60 families ที่ได้รับการผสม family ละ 6-7 ฝัก ให้ได้ทั้งหมด 400 ฝัก (400 families) นำมากระเทาะแล้วนับเมล็ดฝักละ 20 เมล็ด เพื่อนำมารวมกันได้เป็นประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 อีกส่วนหนึ่งกระเทาะแยกเก็บเป็นแต่ละฝักเพื่อเก็บไว้ปลูกในฤดูที่ 3 และฤดูที่ 5

ฤดูที่ 3

นำเมล็ดของแต่ละประชากรในรอบการคัดเลือกที่ 1 จำนวน 400 families มาปลูก family ละ 1 แถว ใช้ระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร และระยะระหว่างต้น 25 เซนติเมตร คัดเลือกต้นที่มีลักษณะทางการเกษตรที่ดีจำนวน 1,000 ต้น เพื่อผสมตัวเอง จากนั้นเก็บเกี่ยวและคัดเลือกฝักที่มีลักษณะดี 200 families เพื่อนำไปประเมินหาปริมาณน้ำมันด้วยเครื่องอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรมิเตอร์ หลังจากนั้นคัดเลือก 80 families ที่มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูงของแต่ละประชากรเพื่อนำไปปลูกในฤดูที่ 4 ต่อไป

ฤดูที่ 4

ปลูกข้าวโพด 80 families ของแต่ละประชากรจากฤดูที่ 3 ประชากรละ 2 แถว ใช้ระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร และระยะระหว่างต้น 25 เซนติเมตร เมื่อข้าวโพดถึงระยะผสมพันธุ์ คัดเลือกสายพันธุ์ที่มีลักษณะดี 60 families เพื่อผสมให้เกิดการรวมตัวกันของพันธุกรรมในระหว่าง 60 สายพันธุ์ดังกล่าว เมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยว เก็บเกี่ยวจาก 60 families ที่ได้รับการผสม family ละ 6-7 ฝัก ให้ได้ทั้งหมด 400 ฝัก (400 families) นำมากระเทาะแล้วนับเมล็ดฝักละ 20 เมล็ด เพื่อนำมารวมกันได้เป็นประชากรรอบการคัดเลือกที่ 2 อีกส่วนหนึ่งกระเทาะแยกเก็บเป็นแต่ละฝักเพื่อเก็บไว้ปลูกในฤดูที่ 5

ฤดูที่ 5

ปลูกข้าวโพดทั้ง 12 พันธุ์ ได้แก่ ประชากรเริ่มต้น ประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 และประชากรรอบการคัดเลือกที่ 2 ของประชากร HODDMR และ HOFDMR และพันธุ์เปรียบเทียบซึ่งเป็นพื้นฐานพันธุกรรมของทั้งสองประชากรจำนวน 4 พันธุ์ คือ พันธุ์พ่อแม่ของประชากร HODDMR จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ KS23 C3 และพันธุ์ Alex syn. C23 พันธุ์พ่อแม่ของประชากร HOFDMR จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ SW1 C12 และพันธุ์ IHO C10 ใช้พันธุ์เปรียบเทียบที่เป็นพันธุ์ลูกผสมอีกจำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ SW4452 และพันธุ์ NK 40 ตามแผนการทดลองเพื่อประเมินผลการคัดเลือก ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ (randomize complete block design; RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ปลูกโดยใช้ระยะปลูกระยะห่างระหว่างแถว 75 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างต้น 25 เซนติเมตร แถวยาว 5 เมตร จำนวน 6 แถว ต่อหน่วยการทดลอง

ปลูกเพื่อประเมินผลผลิต 2 สถานที่ คือ ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ และศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ และเก็บผลผลิตจากสองแถวกลาง คือแถวที่ 3 และ 4

ปลูกเพื่อประเมินปริมาณน้ำมันของแต่ละพันธุ์ที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ เนื่องจากปริมาณน้ำมันในเมล็ดเป็นลักษณะที่มีอิทธิพลของเกสรตัวผู้ (xenia effect) ดังนั้นในการปลูกเพื่อประเมินน้ำมันของข้าวโพดในแต่ละหน่วยทดลองจึงต้องมีการควบคุมการผสมพันธุ์ โดยจะใช้แถวที่ 1 และ 6 ในการผสมพันธุ์เพื่อเก็บข้อมูลไปประเมินปริมาณน้ำมัน ทำการผสมพันธุ์

โดยนำเกสรจากแถวที่ 1 และ 6 แถวละ 10 ต้น มารวมกันแล้วนำมาผสมกับดอกตัวเมีย (ฝัก) ทุกต้นของแถวที่ 1 และ 6

บันทึกข้อมูลแล้วนำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ เพื่อประเมินความก้าวหน้าของการคัดเลือก

2. การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลจาก 2 แถวกลางของแต่ละหน่วยการทดลอง ดังนี้

1. วันดอกตัวผู้บาน หมายถึง วันที่ครึ่งหนึ่งของจำนวนต้นทั้งหมดในแต่ละหน่วยการทดลอง โปรยละอองเกสรจากยอดลงมาได้ 50 เปอร์เซ็นต์ของช่อดอก

2. วันออกไหม หมายถึง วันที่ครึ่งหนึ่งของจำนวนต้นทั้งหมดในแต่ละหน่วยการทดลองมีไหมโผล่พ้นปลายฝัก

3. ความสูงต้น วัดจากพื้นดินจนถึงคอใบธง สุ่มวัด 10 ต้นต่อหน่วยการทดลองแล้วหาค่าเฉลี่ย หน่วยวัดเป็นเซนติเมตร

4. ความสูงฝัก วัดจากพื้นดินถึงข้อของฝักบนสุด สุ่มวัด 10 ต้นต่อหน่วยการทดลองแล้วหาค่าเฉลี่ย หน่วยวัดเป็นเซนติเมตร

5. การหักล้ม

1 หมายถึง ไม่มีต้นหักล้ม
2 หมายถึง มีการหักล้ม 25 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนต้นทั้งหมด
3 หมายถึง มีการหักล้ม 50 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนต้นทั้งหมด
4 หมายถึง มีการหักล้ม 75 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนต้นทั้งหมด
5 หมายถึง มีการหักล้มทั้งแปลง

5.1 การหักล้มของราก คิดจากจำนวนต้นที่เอียงจากแนวดิ่งมากกว่า 30 องศา

5.2 การหักล้มของลำต้น คิดจากจำนวนต้นที่หักล้มต่ำกว่าฝักบนสุดลงมา

6. การเกิดโรคทางใบ

1 หมายถึง ไม่แสดงอาการของโรค
2 หมายถึง แสดงอาการของโรค 25 เปอร์เซ็นต์
3 หมายถึง แสดงอาการของโรค 50 เปอร์เซ็นต์
4 หมายถึง แสดงอาการของโรค 75 เปอร์เซ็นต์
5 หมายถึง ไม่ต้านทานต่อโรค

7. เปอร์เซ็นต์การกระเทาะ คำนวณดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกระเทาะ} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดต่อหน่วยการทดลอง}}{\text{น้ำหนักฝักต่อหน่วยการทดลอง}} \times 100$$

8. เปอร์เซ็นต์ความชื้นประเมินโดย นำตัวอย่างเมล็ดน้ำหนัก 100 กรัมจากแต่ละหน่วยการทดลองมาวัดความชื้นโดยใช้เครื่องวัดความชื้น Steinlite Model G

9. ผลผลิต

$$\text{ผลผลิตที่ความชื้น 15\% (เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์)} = \frac{\text{(น้ำหนักฝักสด) x (100-\%ความชื้น) x (\% กระเทาะ) x 10,000}}{\text{(100-15) x พื้นที่เก็บเกี่ยว}}$$

10. เปอร์เซ็นต์น้ำมันในเมล็ด

10.1 วิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในเมล็ดจาก 400 ฝัก ที่คัดเลือกไว้ของทั้ง 2 ประชากรในฤดูที่ 1 และ 3 โดยใช้เครื่องอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี

10.2 วิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในเมล็ดจากฤดูที่ 5 เพื่อประเมินผลการคัดเลือก โดยใช้ฝักที่สุ่มมาจากแถวที่ 1 กับแถวที่ 6 ของแต่ละหน่วยการทดลอง จำนวน 10 ฝัก โดยใช้วิธีสกัดแบบมาตรฐาน AOAC (2000)

11. น้ำหนักแห้งเมล็ด (กรัม)

หาน้ำหนักแห้งของแต่ละหน่วยการทดลอง มีการสุ่ม 10 ฝัก ต่อหน่วยการทดลอง ใช้เมล็ดจำนวน 10 เมล็ดต่อฝัก ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำเข้าโถดูดความชื้นให้เย็น ชั่งน้ำหนักแห้งเมล็ดด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง จากนั้นนำไปอบต่ออีก 1 ชั่วโมง นำเข้าโถดูดความชื้น นำมาชั่งอีกครั้งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง โดยให้น้ำหนักทั้งสองครั้งต่างกันไม่เกิน 0.002 กรัม ถ้าน้ำหนักแตกต่างกันมากกว่า 0.002 กรัม ให้นำไปอบอีก 1 ชั่วโมง นำเข้าโถดูดความชื้นแล้วนำมาชั่งจนกว่าจะได้น้ำหนัก 2 ครั้ง ที่ต่างกันไม่เกิน 0.002 กรัม แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

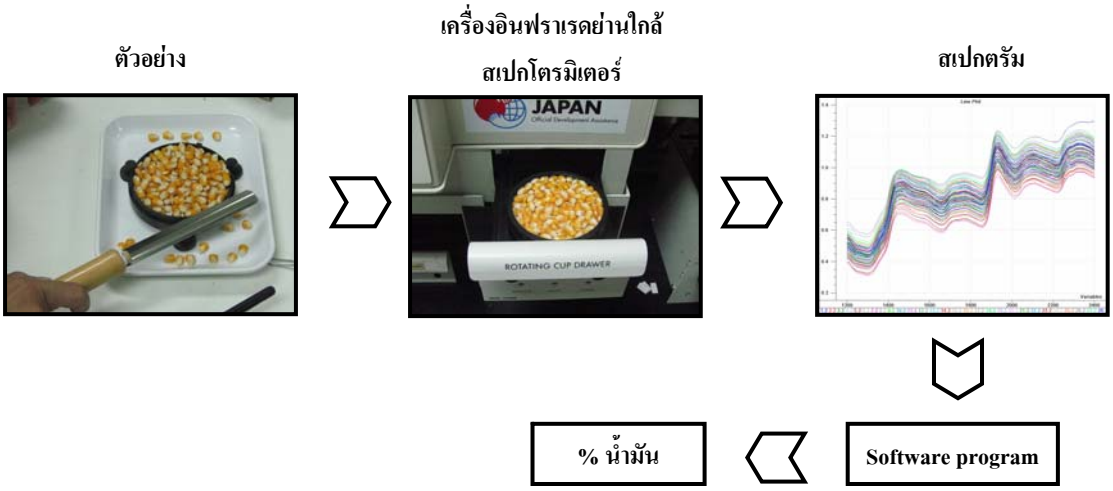
12. น้ำหนักแห้งเอมบริโอ (กรัม)

นำเมล็ดจากแต่ละหน่วยการทดลองโดยใช้จำนวน 10 เมล็ด จาก 10 ฝัก ของแต่ละหน่วยการทดลอง มาแช่น้ำเปล่าเป็นเวลา 1 วัน เพื่อให้เมล็ดมีความนิ่ม จากนั้นแกะเอมบริโอออกจากเอนโดรสเปิร์ม นำไปอบเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นำเข้าโถดูดความชื้นให้เย็นแล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง แล้วนำไปอบต่ออีก 1 ชั่วโมง นำเข้าโถดูดความชื้น นำมาชั่งอีกครั้งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง โดยน้ำหนักทั้งสองครั้งต่างกันไม่เกิน 0.002 กรัม ถ้าน้ำหนักแตกต่างกันมากกว่า 0.002 กรัม ให้นำไปอบอีก 1 ชั่วโมง นำเข้าโถดูดความชื้นแล้วนำมาชั่งจนกว่าจะได้น้ำหนัก 2 ครั้ง ที่ต่างกันไม่เกิน 0.002 กรัม แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3. การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันข้าวโพด

3.1 วิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในข้าวโพดจากฤดูที่ 1 และฤดูที่ 3 เพื่อการคัดเลือกฝักที่มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูง โดยนำเมล็ดข้าวโพดจากฝักของต้นที่คัดเลือกไว้ ใส่ลงไปใน rotating cup ให้เต็ม นำไปสแกนเก็บข้อมูลสเปคตรัมของอินฟราเรดย่านใกล้ แล้วนำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการ calibration ที่สร้างขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสเปกตรัมกับข้อมูลปริมาณน้ำมันที่ได้จาก

การสกัดทางเคมีโดยวิธีมาตรฐาน AOAC (2000) ของเมล็ดข้าวโพด โดยใช้สมการหลายตัวแปรเพื่อทำนายปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพดแต่ละตัวอย่าง (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการประเมินหาปริมาณน้ำมันในเมล็ดของข้าวโพดแต่ละฝัก โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี

3.2 ในฤดูที่ 5 วิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันโดยใช้การสกัดทางเคมีซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน AOAC (2000) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินความก้าวหน้าของปริมาณน้ำมัน จากค่าเคมีที่สกัดได้จริง โดยทำการสกัดโดยใช้ชุดสกัด soxhlet (ภาพที่ 3)

ภาพที่ 3 ชุดสกัด soxhlet ที่ใช้ในการสกัดน้ำมันในเมล็ดข้าวโพด

ขั้นตอนการสกัดน้ำมัน

1. อบขวดแก้วก้นกลม (flask) ที่อุณภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง
2. นำไปใส่โถดูดความชื้นนาน 30 นาที
3. ชั่งน้ำหนัก flask ก้นกลม (ใช้ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) จดน้ำหนัก เพื่อคำนวณ (W1)
4. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่อบหาความชื้นแล้ว 2 กรัม ลงบนกระดาษกรองเบอร์ 1 (W)
5. พับกระดาษกรองให้เป็นรูปสี่เหลี่ยม เขียนรหัสตัวอย่างที่กระดาษกรองใส่ลงในทิมเบิลเรียงลำดับ แล้วใส่ลงใน extraction tube
6. เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงใน flask ก้นกลมที่ชั่งน้ำหนักแล้ว ประมาณ 2 ใน 3 ของขวด
7. ประกอบเข้ากับชุดสกัด soxhlet กลั่นเป็นเวลา 16 ชั่วโมง
8. เมื่อครบ 16 ชั่วโมงให้ใช้คีมคีบเอาทิมเบิลที่มีตัวอย่างออกจาก extraction tube แล้วนำทิมเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศา นาน 1 ชั่วโมง 30 นาที
9. กลั่นปิโตรเลียมอีเทอร์เปล่าเทกลับใส่ขวดเก็บ 1 ครั้ง จากนั้นกลั่นปิโตรเลียมอีเทอร์ใน flask ก้นกลมเกือบหมด
10. นำ flask ก้นกลมที่มีน้ำมันและปิโตรเลียมอีเทอร์เหลือเล็กน้อยไปอบที่อุณภูมิ 100 องศาเซลเซียส อบนาน 1 ชั่วโมง 30 นาที
11. หลังจากอบแล้วนำไปดูดความชื้นที่โถดูดความชื้น นาน 30 นาที
12. ชั่งน้ำหนัก จดน้ำหนักที่ได้เพื่อคำนวณ (W2)
13. กรณีตัวอย่างที่ไม่เคยสกัดไขมันมาก่อน ให้นำ flask ก้นกลมไปอบเพิ่มอีก 30 นาที
14. นำไปดูดความชื้น 30 นาที
15. ชั่งน้ำหนัก จดน้ำหนักที่ได้เพื่อคำนวณเปรียบเทียบกับเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ผลต่างควรไม่เกิน 0.002 กรัม
16. นำตัวเลขทั้งหมดมาคำนวณ ดังนี้

$$\text{ปริมาณน้ำมัน (\%)} = \frac{(W2-W1)}{W} \times 100$$

4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 วิเคราะห์สถิติตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ randomized complete block design (RCBD) โดยมีข้าวโพด 12 พันธุ์ จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้

1. ประชากรเริ่มต้น HODDMR
2. ประชากร HODDMR รอบการคัดเลือกที่ 1
3. ประชากร HODDMR รอบการคัดเลือกที่ 2
4. ประชากรเริ่มต้น HOFDMR
5. ประชากร HOFDMR รอบการคัดเลือกที่ 1
6. ประชากร HOFDMR รอบการคัดเลือกที่ 2
7. SW1 C_{12}
8. K23 C_3
9. Alex syn. C_{23}
10. IHO C_{10}
11. NK40
12. SW4452

4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

นำข้อมูลทั้งหมดจาก 12 สิ่งทดลองมาวิเคราะห์ตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ ตามวิธีของ Cochran and Cox (1957) วิเคราะห์โดยใช้ R โปรแกรม (ชูศักดิ์, 2552)

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์

Source of variation	**d.f.**	**SS**	**MS**	**F value**
Blocks	r-1	$\frac{\sum_{i=1}^{t} R_i^2}{t} - CT$	$\frac{Blk.SS}{r-1} = M_3$	$\frac{M_3}{M_1}$
Treatments	t-1	$\frac{\sum_{j=1}^{t} T_j^2}{r} - CT$	$\frac{Tr.SS}{t-1} = M_2$	$\frac{M_2}{M_1}$
Error	(r-1)(t-1)	(4)-(1)-(2)	$\frac{Error.SS}{(r-1)(t-1)} = M_1$	
Total	tr-1	$\sum_{i=1}^{n} Y_{ij}^2 - CT$		

4.3 การวิเคราะห์รวม

สำหรับการวิเคราะห์ผลผลิต เนื่องจากมีการทดสอบผลผลิต 2 สถานที่ จำเป็นต้องมีการทดสอบเอกภาพความแปรปรวน โดยใช้วิธี Battlet's Test เมื่อผลการวเคราะห์ออกมาว่ามีเอกภาพของความแปรปรวน จึงสามารถใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมได้ แต่ถ้าผลการวิเคราะห์ออกมาว่าไม่มีความเป็นเอกภาพของความแปรปรวน จะต้องทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแยกเป็นของแต่ละสถานที่ สำหรับการวิเคราะห์รวมตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ ตามวิธีของ Cochran and Cox (1957) โดยจะนำค่าผลรวมของแต่ละสิ่งทดลองมาใช้โดยตรง

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์รวมตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์

Source of variation	d.f.	MS	Expected mean square
Location	e-1	MS.S	$\sigma_{\varepsilon}^2 + t\sigma_{r/e}^2 + tr\sigma_e^2$
Reps. within location	e(r-1)	MS.RS	$\sigma_{\varepsilon}^2 + t\sigma_{r/e}^2$
Treatments (com.)	(t-1)	MS.T	$\sigma_{\varepsilon}^2 + r\sigma_{te}^2 + re\sigma_t^2$
Location x treatments	(e-1) (t-1)	MS.ST	$\sigma_{\varepsilon}^2 + r\sigma_{te}^2$
Pooled error	e (r-1) (t-1)	MSE	σ_{ε}^2
Total	ert-1		

5. การประเมินความก้าวหน้าและการตอบสนองต่อการคัดเลือก

คำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยของรอบการคัดเลือกที่ต้องการหาอัตราการตอบสนองต่อการคัดเลือก ลบด้วยค่าเฉลี่ยของรอบการคัดเลือกก่อนรอบการคัดเลือกที่ต้องการหาอัตราการตอบสนองต่อการคัดเลือก คูณด้วย 100 แล้วหารด้วยค่าค่าเฉลี่ยของรอบการคัดเลือกก่อนรอบการคัดเลือกที่ต้องการหาอัตราการตอบสนองต่อการคัดเลือก ซึ่งจะได้เป็นเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของแต่ละรอบการคัดเลือก

$$\text{\% การตอบสนองต่อการคัดเลือกของรอบการคัดเลือกใดๆ} = \frac{\text{ค่าเฉลี่ยของลักษณะที่รอบการคัดเลือกใดๆ} - \text{ค่าเฉลี่ยของลักษณะที่รอบการคัดเลือกก่อนรอบการคัดเลือกใดๆ หนึ่งรอบ}}{\text{ค่าเฉลี่ยของลักษณะที่รอบการคัดเลือกก่อนรอบการคัดเลือกใดๆ หนึ่งรอบ}} \text{ X } 100$$

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

สถานที่ทำการวิจัย

1. แปลงปรับปรุงประชากรข้าวโพดน้ำมันสูง ตั้งอยู่ที่ ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา

2. แปลงทดสอบประชากร
   - 2.1 ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา
   - 2.2 ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์

3. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพด
   - 3.1 หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีการตรวจสอบสินค้าโดยวิธีไม่ทำลาย สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร
   - 3.2 ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

ระยะเวลาทำการวิจัย

เริ่มตั้งแต่ เดือนตุลาคม พ.ศ. 2549 ถึง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2552

ผลและวิจารณ์

ผล

การปรับปรุงประชากรข้าวโพดน้ำมันสูงจำนวน 2 ประชากร ประชากรแรก คือ High Oil Dent DMR (HODDMR) ซึ่งมีพื้นฐานพันธุกรรมมาจากพันธุ์สุวรรณ 5 รอบการคัดเลือกที่ 4 (SW5 C4) 25 เปอร์เซ็นต์ พันธุ์ Alex syn. รอบการคัดเลือกที่ 23 (Alex syn. C23) 25 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์ KS23 รอบการคัดเลือกที่ 3 (KS23 C3) 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนประชากรที่สอง คือ ประชากร High Oil Flint DMR (HOFDMR) มีพื้นฐานพันธุกรรมมาจากพันธุ์สุวรรณ 1 รอบการคัดเลือกที่ 11 (SW1 C11) 25 เปอร์เซ็นต์ พันธุ์ Illinois High Oil รอบการคัดเลือกที่ 10 (IHO C10) 25 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์สุวรรณ 1 รอบการคัดเลือกที่ 12 (SW1 C12) 50 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้วิธีการคัดเลือกรวมที่คัดเลือกจากการผสมตัวเอง และประเมินหาปริมาณน้ำมันโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี สำหรับคัดเลือกฝักที่มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูง เพื่อนำไปปลูกแล้วผสมให้เกิดการรวมตัวกัน (recombination) ใช้เวลา 2 ฤดูปลูก ต่อ 1 รอบการคัดเลือก และมีการปรับปรุงประชากรจำนวน 2 รอบการคัดเลือก โดยทำการปรับปรุงประชากรที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ

ในฤดูปลูกที่ 5 ทำการปลูกเพื่อประเมินผลผลิตและปริมาณน้ำมันในเมล็ด ของประชากรเริ่มต้น ประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 และประชากรรอบการคัดเลือกที่ 2 ในประชากร HODDMR และ HOFDMR โดยใช้พันธุ์เปรียบเทียบซึ่งเป็นพื้นฐานพันธุกรรมของทั้งสองประชากรจำนวน 4 พันธุ์ คือ พันธุ์พ่อแม่ของประชากร HODDMR จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ KS23 C3 และพันธุ์ Alex syn. C23 พันธุ์พ่อแม่ของประชากร HOFDMR จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ SW1 C12 และพันธุ์ IHO C10 ใช้พันธุ์เปรียบเทียบที่เป็นพันธุ์ลูกผสมอีกจำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ SW4452 และพันธุ์ NK 40 โดยปลูกเพื่อประเมินผลผลิต 2 สถานที่ ได้แก่ ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ และศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ และปลูกเพื่อประเมินปริมาณน้ำมัน ที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ ได้ผลการทดลองดังนี้

การวิเคราะห์ความแปรปรวน

1. ผลผลิต

จากการทดสอบความเป็นเอกภาพของความแปรปรวนของผลผลิตทั้งสองสถานที่ โดยใช้วิธีการ Bartlett's Test ผลการทดสอบ พบว่า ผลผลิตจากสองสถานที่ ไม่มีความเป็นเอกภาพของความแปรปรวน จึงต้องทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน แยกเป็นของแต่ละสถานที่ดังนี้

1.1 การทดลองที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ

จากการวิเคราะห์ทางสถิติของการประเมินผลผลิตที่ระดับความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3) โดยพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดคือพันธุ์ลูกผสมจำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ NK40 และพันธุ์ SW4452 ให้ผลผลิตเท่ากับ 9.90 และ 9.81 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำที่สุดคือพันธุ์น้ำมันสูงจำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Alex syn. C23 และพันธุ์ IHO C10 ให้ผลผลิตเท่ากับ 3.28 และ 2.81 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตจากแปลงทดสอบที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ

Source of variation	**d.f.**	**SS**	**MS**	**F value**
Replications	2	4.17	2.09	2.80
Treatments	11	147.23	13.38	17.98 **
Error	22	16.37	0.74	
Total	35	167.77		

C.V. = 13.47 %

หมายเหตุ ** highly significant

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ ผลผลิต ปริมาณน้ำมันในเมล็ด ปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่ น้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด น้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด และสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด

Varieties	Grain yield I[1/] (Mg/ha)		Grain yield II[2/] (Mg/ha)		Kernel oil content (%)		Oil per area (Mg/ha)		Dry weight of 100 kernels (g)		Dry weight of 100 embryo (g)		Embryo:kernel (%)	
HODDMR C_0	5.67 b	±0.21	4.40 b	±0.87	5.81 cd	±0.05	0.33	±0.01	28.03 d	±0.19	4.26 ab	±0.02	15.21 c	±0.00
HODDMR C_1	6.07 b	±1.10	5.14 b	±0.71	5.65 de	±0.12	0.34	±0.05	28.21 cd	±0.29	4.04 bcd	±0.05	14.30 cd	±0.01
HODDMR C_2	5.82 b	±0.75	4.70 b	±0.41	6.10 c	±0.28	0.36	±0.05	27.55 d	±0.06	4.20 ab	±0.01	15.25 c	±0.01
KS23 C_3	6.69 b	±0.88	5.11 b	±0.46	4.10 g	±0.15	0.27	±0.05	30.49 bc	±0.06	3.57 de	±0.04	11.71 e	±0.01
Alex syn. C_{23}	3.28 c	±2.07	1.40 c	±0.58	11.79 a	±0.38	0.39	±0.25	16.64 e	±0.04	3.72 cde	±0.03	22.35 a	±0.02
HOFDMR C_0	5.76 b	±1.11	4.39 b	±0.85	5.45 e	±0.13	0.31	±0.06	29.41 cd	±0.12	4.05 abc	±0.01	13.79 d	±0.00
HOFDMR C_1	6.85 b	±1.02	5.09 b	±0.94	5.56 de	±0.11	0.38	±0.05	29.80 cd	±0.16	4.04 bcd	±0.04	13.53 d	±0.00
HOFDMR C_2	7.13 b	±0.59	5.30 b	±0.21	5.77 de	±0.25	0.41	±0.05	28.74 cd	±0.10	4.18 abc	±0.01	14.56 cd	±0.01
SW1 C_{12}	7.04 b	±0.13	4.59 b	±1.09	4.49 f	±0.25	0.32	±0.02	29.46 cd	±0.05	3.46 e	±0.01	11.75 e	±0.00
IHO C_{10}	2.81 c	±0.76	2.17 c	±0.45	8.55 b	±0.11	0.24	±0.06	15.68 e	±0.17	2.80 f	±0.04	17.83 b	±0.01
SW4452	9.81 a	±0.26	6.54 a	±0.63	4.27 fg	±0.04	0.42	±0.01	32.69 ab	±0.06	4.52 a	±0.00	13.83 d	±0.00
NK40	9.90 a	±0.41	7.20 a	±0.81	3.21 h	±0.05	0.32	±0.01	34.16 a	±0.12	3.52 e	±0.04	10.27 f	±0.01

หมายเหตุ [1/] ผลผลิตจากแปลงทดลองที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ

[2/] ผลผลิตจากแปลงทดลองที่สถานีวิจัยพืชไร่นครสวรรค์

1.2 การทดลองที่สถานีวิจัยพืชไร่นครสวรรค์

จากการวิเคราะห์ทางสถิติของการประเมินผลผลิตที่ระดับความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5) โดยพบว่า พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงที่สุด คือพันธุ์ลูกผสมจำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ NK 40 และพันธุ์ SW4452 ให้ผลผลิตเท่ากับ 7.20 และ 6.54 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำที่สุด คือพันธุ์น้ำมันสูงจำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ IHO C10 และ Alex syn. C23 ให้ผลผลิตเท่ากับ 2.17 และ 1.40 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

จากการเปรียบเทียบผลผลิตจากสองสถานที่ของประชากร HODDMR และประชากร HOFDMR ในแต่ละรอบการคัดเลือกของแต่ละประชากร พบว่า ผลผลิตของทุกรอบการคัดเลือกในทั้งสองประชากร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

จากการเปรียบเทียบผลผลิตของแต่ละประชากรกับพันธุ์พ่อแม่ พบว่า ผลผลิตของประชากร HODDMR ทุกรอบการคัดเลือก ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์ KS23 C3 แต่ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ Alex syn. C23 ส่วนในประชากร HOFDMR พบว่า ประชากรในทุกรอบการคัดเลือกให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ SW1 C12 แต่ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ IHO C10

และเมื่อเปรียบเทียบผลผลิตของทั้งสองประชากรกับพันธุ์ลูกผสมทั้งสองพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ NK40 และพันธุ์ SW4452 พบว่า ทั้งสองประชากรในทุกรอบการคัดเลือก ให้ผลผลิตต่ำกว่าพันธุ์ลูกผสมทั้งสองพันธุ์

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตจากแปลงทดสอบที่สถานีวิจัยพืชไร่นครสวรรค์

Source of variation	d.f.	SS	MS	F value
Replications	2	4.18	2.09	5.77 **
Treatments	11	84.01	7.64	21.12 **
Error	22	7.96	0.36	
Total	35	96.15		

C.V. = 12.88 %

หมายเหตุ ** highly significant

2. ปริมาณน้ำมันในเมล็ด

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำมันในเมล็ดซึ่งประเมินที่ระดับความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 6) โดยพบว่าพันธุ์ที่มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูงที่สุดได้แก่ พันธุ์ Alex syn. C23 ซึ่งมีปริมาณน้ำมันในเมล็ดเท่ากับ 11.79 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ พันธุ์ IHO C10 มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดเท่ากับ 8.55 เปอร์เซ็นต์ และลำดับถัดมาคือ ประชากร HODDMR C2 ประชากร HODDMR C0 ประชากร HOFDMR C2 ประชากร HODDMR C1 ประชากร HOFDMR C1 ประชากร HOFDMR C0 พันธุ์ SW1 C12 พันธุ์ลูกผสม SW4452 และพันธุ์ KS23 C3 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณน้ำมันในเมล็ดอยู่ในช่วง 4.10-6.10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพันธุ์ที่มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดต่ำที่สุดได้แก่ พันธุ์ลูกผสม NK40 ซึ่งมีปริมาณน้ำมันในเมล็ดเท่ากับ 3.21 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4)

จากการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันในเมล็ดของแต่ละรอบการคัดเลือกของแต่ละประชากร พบว่า ในประชากร HODDMR มีความแตกต่างกันทางสถิติของปริมาณน้ำมันในเมล็ด โดยในประชากรรอบการคัดเลือกที่ 2 มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูงกว่าในประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 ส่วนในประชากร HOFDMR พบว่า ปริมาณน้ำมันในเมล็ดของทุกรอบการคัดเลือกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

จากการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันของแต่ละประชากรกับพันธุ์พ่อแม่ พบว่า ประชากร HODDMR ทุกรอบการคัดเลือกมีปริมาณน้ำมันสูงกว่าพันธุ์ KS23 C3 แต่มีปริมาณน้ำมันต่ำกว่าพันธุ์ Alex syn. C23 ส่วนในประชากร HOFDMR พบว่า ทุกรอบการคัดเลือกมีปริมาณน้ำมันสูงกว่าพันธุ์ SW1 C12 แต่มีปริมาณน้ำมันต่ำกว่าพันธุ์ IHO C10

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันในเมล็ด ของประชากรกับพันธุ์ลูกผสมทั้งสองพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ NK40 และ พันธุ์ SW4452 พบว่า ในทุกรอบการคัดเลือกของทั้งสองประชากร มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูงกว่าพันธุ์ลูกผสม ทั้งสองพันธุ์

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำมันในเมล็ด

Source of variation	d.f.	SS	MS	F value
Replications	2	0.02	0.01	0.23
Treatments	11	171.78	15.62	402.36 **
Error	22	0.85	0.04	
Total	35	172.65		

C.V. = 3.35 %

หมายเหตุ ** highly significant

3. ปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่

จากข้อมูลผลผลิตและปริมาณน้ำมันในเมล็ด นำมาประเมินหาปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่ และเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 7) โดย ทั้ง 12 พันธุ์ มีปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่อยู่ในช่วง 0.24-0.42 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่

Source of variation	d.f.	SS	MS	F value
Replications	2	0.03	0.01	2.26
Treatments	11	0.09	0.01	1.34 ^{ns}
Error	22	0.14	0.01	
Total	35	0.26		

C.V. = 23.42 %

หมายเหตุ ^{ns} non significant

4. น้ำหนักเมล็ด น้ำหนักเอ็มบริโอ และสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 8) โดยพบว่าพันธุ์ NK40 และพันธุ์ SW4452 มีน้ำหนักเมล็ดสูงที่สุดเท่ากับ 34.16 และ 32.69 กรัม ตามลำดับ ส่วนพันธุ์น้ำมันสูงทั้งสองพันธุ์ได้แก่ พันธุ์ Alex syn. C23 และพันธุ์ IHO C10 มีน้ำหนักแห้งของ 100 เมล็ดต่ำที่สุดเท่ากับ 16.64 และ 15.68 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

จากการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด ในแต่ละรอบการคัดเลือกของแต่ละประชากร พบว่า น้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด ของทุกรอบการคัดเลือก ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในทั้งสองประชากร

จากการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด ระหว่างประชากรกับพันธุ์พ่อแม่ที่เป็นพื้นฐานพันธุกรรมของแต่ละประชากร พบว่า ประชากร HODDMR มีน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ดต่ำกว่าพันธุ์ KS23 C3 แต่มีน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ดสูงกว่าพันธุ์ Alex syn. C23 ส่วนในประชากร HOFDMR มีน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ดไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ SW1 C12 แต่มีน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ดสูงกว่าพันธุ์ IHO C10

และเมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด ระหว่างประชากร กับพันธุ์ลูกผสม NK40 และ SW4452 พบว่า ทุกรอบการคัดเลือกในทั้งสองประชากร มีน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด ต่ำกว่า พันธุ์ NK40 และ พันธุ์ SW4452

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด

Source of variation	d.f.	SS	MS	F value
Replications	2	5.57	2.78	1.55
Treatments	11	1058.40	96.22	52.76 **
Error	22	40.12	1.82	
Total	35	1104.09		

C.V. = 4.89 %

หมายเหตุ ** highly significant

จากการประเมินน้ำหนักแห้งเฉพาะส่วนของเอ็มบริโอจำนวน 100 เมล็ด แล้วนำมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 9) โดยพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งของเอ็มบริโอ 100 เมล็ด สูงที่สุด ได้แก่ พันธุ์ SW4452 ประชากร HODDMR C0 ประชากร HODDMR C2 ประชากร HOFDMR C2 และประชากร HOFDMR C0 ซึ่งมีน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ดอยู่ในช่วง 4.05-4.52 กรัม ส่วนพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด ต่ำที่สุด เท่ากับ 2.80 กรัม ได้แก่ พันธุ์ IHO C10 (ตารางที่ 4)

จากการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด ในแต่ละรอบการคัดเลือกของแต่ละประชากร พบว่า ประชากรทุกรอบการคัดเลือก ทั้งในประชากร HODDMR และประชากร HOFDMR ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด ของประชากรกับพันธุ์พ่อแม่ของแต่ละประชากร พบว่า ในประชากร HODDMR ประชากรทุกรอบการคัดเลือก มีน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด สูงกว่าพันธุ์ KS23 C3 และพันธุ์ Alex syn. C23 ส่วนในประชากร HOFDMR

พบว่า ประชากรทุกรอบการคัดเลือก มีน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ดสูงกว่าพันธุ์ SW1 C12 และพันธุ์ IHO C10

ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด ของประชากรกับพันธุ์ลูกผสม NK40 และ SW4452 พบว่า ประชากรเริ่มต้น และประชากรรอบการคัดเลือกที่ 2 ของทั้งประชากร HODDMR และประชากร HOFDMR มีน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด ไม่แตกต่างกับพันธุ์ SW4452 แต่ในประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 ของทั้งสองประชากรมีน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด ต่ำกว่าพันธุ์ SW4452 และพบว่า ประชากรทุกรอบการคัดเลือกของทั้งสองประชากรมีน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด สูงกว่าพันธุ์ NK40

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด

Source of variation	d.f.	SS	MS	F value
Replications	2	0.35	0.18	2.25
Treatments	11	7.22	0.66	8.36 **
Error	22	1.73	0.08	
Total	35	9.30		

C.V. = 7.25 %

หมายเหตุ ** highly significant

จากการนำน้ำหนักแห้งของเมล็ดและเอ็มบริโอมาประเมินหาสัดส่วนของน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของเอ็มบริโอต่อน้ำหนักแห้งของเมล็ด แล้วนำมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 10) โดยพันธุ์ที่มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ดสูงที่สุดได้แก่พันธุ์ Alex syn. C23 มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด เท่ากับ 22.35 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ พันธุ์ IHO C10 มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด เท่ากับ 17.83 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพันธุ์ที่มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ดต่ำที่สุด ได้แก่ พันธุ์ NK40 มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด เท่ากับ 10.27 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4)

จากการเปรียบเทียบสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ดในแต่ละรอบการคัดเลือก ของแต่ละประชากร พบว่า ประชากรทุกรอบการคัดเลือก ของทั้งประชากร HODDMR และประชากร HOFDMR ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด ของประชากรกับพันธุ์พ่อแม่ของแต่ละประชากร พบว่า ในประชากร HODDMR ทุกรอบการคัดเลือก มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ดต่ำกว่าในพันธุ์น้ำมันสูง Alex syn. C23 แต่มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด สูงกว่าพันธุ์ KS 23 ส่วนในประชากร HOFDMR พบว่า ประชากรทุกรอบการคัดเลือกมีสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ดต่ำกว่าในพันธุ์น้ำมันสูง IHO C10 แต่มีเปอร์เซ็นต์สูงกว่าพันธุ์ SW1 C12

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด ของประชากรกับพันธุ์ลูกผสม SW4452 และ NK40 พบว่า ในประชากร HODDMR ประชากรเริ่มต้น และประชากรรอบการคัดเลือกที่ 2 มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด สูงกว่า พันธุ์ SW4452 แต่ประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ดต่ำกว่า พันธุ์ SW4452 ส่วนในประชากร HOFDMR พบว่า ประชากรทุกรอบการคัดเลือก มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ดไม่แตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์ SW4452 ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด ของประชากรกับพันธุ์ NK40 พบว่า ประชากรทุกรอบการคัดเลือกของทั้งสองประชากร มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ดสูงกว่าพันธุ์ NK40

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด

Source of variation	**d.f.**	**SS**	**MS**	**F value**
Replications	2	2.10	1.05	2.02
Treatments	11	326.83	29.71	57.36 **
Error	22	11.40	0.52	
Total	35	340.33		

C.V. = 4.96 %

หมายเหตุ ** highly significant

การตอบสนองต่อการคัดเลือก

1. การตอบสนองต่อการคัดเลือกของผลผลิต

จากการประเมินอัตราการตอบสนองต่อการคัดเลือกของผลผลิต ของแปลงทดลองศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ พบว่า ประชากร HODDMR ประชากรเริ่มต้นมีผลผลิตเท่ากับ 5.67 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ เมื่อคัดเลือกได้ประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 ได้ผลผลิตเท่ากับ 6.07 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ มีอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.05 เปอร์เซ็นต์ และในรอบการคัดเลือกที่ 2 ให้ผลผลิตเท่ากับ 5.82 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ ลดลงจากรอบการคัดเลือกที่ 1 เท่ากับ 4.12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในประชากร HOFDMR ประชากรเริ่มต้นมีผลผลิตเท่ากับ 5.76 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ หลังจากคัดเลือกได้ประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 พบว่าได้ผลผลิตเท่ากับ 6.85 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ มีอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 18.92 เปอร์เซ็นต์ และในประชากรรอบการคัดเลือกที่ 2 ให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 7.13 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ มีอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.09 เปอร์เซ็นต์ของรอบการคัดเลือกที่ 1

จากผลการประเมินอัตราการตอบสนองต่อการคัดเลือกของผลผลิต จากแปลงทดลองสถานีวิจัยพืชไร่นครสวรรค์ พบว่า ประชากร HODDMR ในประชากรเริ่มต้นมีผลผลิตเท่ากับ 4.40 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ ประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 มีผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 5.14 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ มีอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 16.82 เปอร์เซ็นต์ และในประชากรรอบการคัดเลือกที่ 2 ให้ผลผลิตเท่ากับ 4.70 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ มีอัตราการลดลงเท่ากับ 8.56 เปอร์เซ็นต์ สำหรับประชากร HOFDMR ในประชากรเริ่มต้นมีผลผลิตเท่ากับ 4.39 ในประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 และ 2 ให้ผลผลิตเท่ากับ 5.09 และ 5.30 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นทั้งสองรอบการคัดเลือกคือ 15.95 และ 4.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 อัตราการตอบสนองต่อการคัดเลือกของผลผลิต จากแปลงทดลองที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ และสถานีวิจัยพืชไร่นครสวรรค์

Populations		Location I[1/]		Location II[2/]	
		Grain yield (Mg/ha)	Rate of response (%)	Grain yield (Mg/ha)	Rate of response (%)
HODDMR	C0	5.67	-	4.40	-
	C1	6.07	7.05	5.14	16.82
	C2	5.82	-4.12	4.70	-8.56
HOFDMR	C0	5.76	-	4.39	-
	C1	6.85	18.92	5.09	15.95
	C2	7.13	4.09	5.30	4.13

หมายเหตุ [1/] ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ
[2/] สถานีวิจัยพืชไร่นครสวรรค์

2. การตอบสนองต่อการคัดเลือกของปริมาณน้ำมันในเมล็ด และปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่

จากการประเมินอัตราการตอบสนองต่อการคัดเลือกของปริมาณน้ำมันในเมล็ด พบว่าประชากรเริ่มต้นทั้งในประชากร HODDMR และ HOFDMR มีปริมาณน้ำมันเท่ากับ 5.81 และ 5.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หลังจากปรับปรุงประชากร ในรอบการคัดเลือกที่ 1 พบว่า HODDMR มีปริมาณน้ำมันเท่ากับ 5.65 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการลดลงจากประชากรเริ่มต้น เท่ากับ 2.75 เปอร์เซ็นต์ และ HOFDMR มีปริมาณน้ำมันเท่ากับ 5.56 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นจากประชากรเริ่มต้น เท่ากับ 2.02 เปอร์เซ็นต์ และในรอบการคัดเลือกที่ 2 ประชากร HODDMR และ HOFDMR มีปริมาณน้ำมันเท่ากับ 6.10 และ 5.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นจากรอบการคัดเลือกที่ 1 เท่ากับ 7.96 และ 3.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 12)

ส่วนผลการประเมินการตอบสนองต่อการคัดเลือกของปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่พบว่าในรอบการคัดเลือกที่ 1 และ 2 ของทั้งสองประชากรมีอัตราการเพิ่มขึ้น โดยในประชากรเริ่มต้น

ของประชากร HODDMR และ HOFDMR มีปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่เท่ากับ 0.33 และ 0.31 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ในประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 ทั้งสองประชากรมีปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่เท่ากับ 0.34 และ 0.38 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ และมีอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.03 และ 22.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในรอบการคัดเลือกที่ 2 ทั้งสองประชากรมีปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่เท่ากับ 0.36 และ 0.41 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำมันเท่ากับ 5.88 และ 7.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 12 อัตราการตอบสนองต่อการคัดเลือกของปริมาณน้ำมันในเมล็ด และปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่

Population		Oil content (%)	Rate of response (%)	Oil content per area (Mg/ha)	Rate of response (%)
HODDMR	C0	5.81	-	0.33	-
	C1	5.65	-2.75	0.34	3.03
	C2	6.10	7.96	0.36	5.88
HOFDMR	C0	5.45	-	0.31	-
	C1	5.56	2.02	0.38	22.58
	C2	5.77	3.78	0.41	7.89

3. การตอบสนองต่อการคัดเลือกของน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด น้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด และสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด

ประชากรเริ่มต้นของประชากร HODDMR และ HOFDMR มีน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด เท่ากับ 28.03 และ 29.41 กรัม ตามลำดับ ในประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 มีน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด เท่ากับ 28.21 และ 29.80 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.64 และ 1.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในประชากรรอบการคัดเลือกที่ 2 มีน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ดเท่ากับ 27.55 และ 28.74 กรัม ตามลำดับ ลดลงจากรอบการคัดเลือกที่ 1 เท่ากับ 2.34 และ 3.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ประชากร HODDMR และ HOFDMR มีน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด ในประชากรเริ่มต้นเท่ากับ 4.26 และ 4.05 กรัม ตามลำดับ ในประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 มีน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด เท่ากับ 4.04 และ 4.04 กรัม ตามลำดับ ซึ่งในรอบการคัดเลือกนี้ทั้งสองประชากรมีน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ดลดลงจากประชากรเริ่มต้นเท่ากับ 5.16 และ 0.25

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในรอบการคัดเลือกที่ 2 มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด ในทั้งสองประชากรคือ 4.20 และ 4.18 กรัม ตามลำดับ และมีอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.96 และ 3.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ส่วนการตอบสนองต่อการคัดเลือกของสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด พบว่า ประชากร HODDMR และ HOFDMR มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด ของประชากรเริ่มต้น เท่ากับ 15.21 และ 13.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด เท่ากับ 14.30 และ 13.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองประชากรมีอัตราการลดลงเท่ากับ 5.98 และ 1.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ในรอบการคัดเลือกที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์เอ็มบริโอต่อเมล็ด เท่ากับ 15.25 และ 14.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มขึ้นทั้งสองประชากรโดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.64 และ 7.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 อัตราการตอบสนองต่อการคัดเลือกของน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด น้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด และสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด

Population		Dry weight of 100 kernels (g)	Rate of response (%)	Dry weight of 100 embryos (g)	Rate of response (%)	Ratio of embryo per kernel (%)	Rate of response (%)
HODDMR	C0	28.03	-	4.26	-	15.21	-
	C1	28.21	0.64	4.04	-5.16	14.30	-5.98
	C2	27.55	-2.34	4.20	3.96	15.25	6.64
HOFDMR	C0	29.41	-	4.05	-	13.79	-
	C1	29.80	1.33	4.04	-0.25	13.53	-1.89
	C2	28.74	-3.56	4.18	3.47	14.56	7.61

ความสัมพันธ์ของผลผลิต ปริมาณน้ำมันในเมล็ด และลักษณะทางการเกษตรที่สำคัญ

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต และปริมาณน้ำมันในเมล็ด กับลักษณะทางการเกษตรที่สำคัญอื่นๆ ของประชากร HODDMR และ HOFDMR ในประชากรเริ่มต้น ประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 และ 2 โดยใช้วิธีการหาค่าสหสัมพันธ์ พบว่า ความสัมพันธ์ของลักษณะที่ให้ค่าสหสัมพันธ์ในเชิงบวก ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่ มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.95 ปริมาณน้ำมันกับสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.76 น้ำหนักแห้ง 100 เมล็ดกับน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.55 และน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ดกับสัดส่วนน้ำหนักเอ็มบริโอ ต่อเมล็ด มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.54 (ตารางที่ 14)

จากค่าสหสัมพันธ์ของลักษณะผลผลิตกับปริมาณน้ำมัน น้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด น้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด และสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด ปริมาณน้ำมันในเมล็ดกับปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่ น้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด และน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด ปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่กับน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด และน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด กับน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กัน (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต ปริมาณน้ำมัน และลักษณะทางการเกษตรต่างๆ ที่สำคัญ

Characteristics	**Grain yield**	**Oil content**	**Oil content per area**	**Dry weight of 100 kernels**	**Dry weight of 100 embryos**
Oil content	-0.16 ^{ns}	-	-	-	-
Oil content per area	0.95**	0.15 ^{ns}	-	-	-
Dry weight of 100 kernels	0.36 ^{ns}	-0.47 ^{ns}	0.20 ^{ns}	-	-
Dry weight of 100 embryos	0.13 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.55*	-
Dry weight of embryo : kernel	-0.21 ^{ns}	0.76**	0.02 ^{ns}	-0.41 ^{ns}	0.54*

หมายเหตุ ** highly significant

* significant

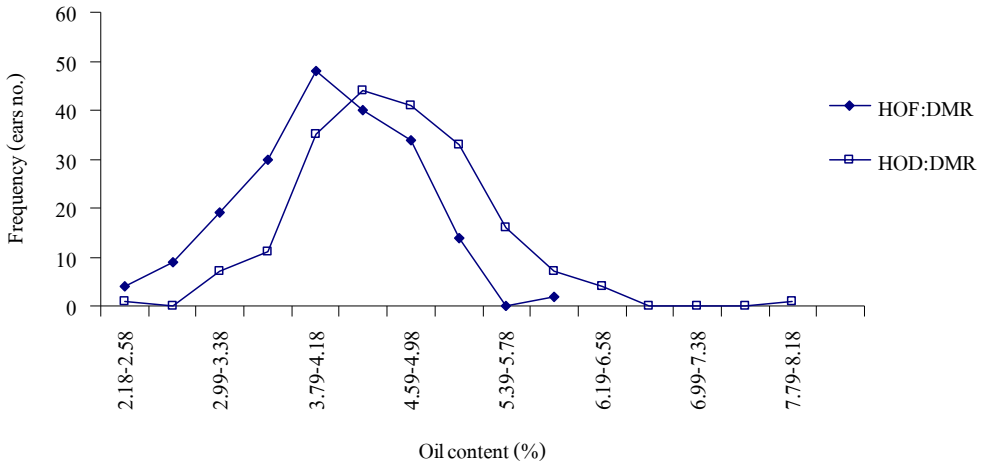
^{ns} non significant

ผลการใช้เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี ในการคัดเลือกข้าวโพดน้ำมันสูง

ในงานทดลองนี้ ได้ปรับปรุงประชากรข้าวโพดน้ำมันสูงโดยวิธีการคัดเลือกรวม ที่คัดเลือกจากฝักที่มีการผสมตัวเอง โดยในฤดูปลูกที่ 1 และ 3 มีการคัดเลือกข้าวโพดที่ได้รับการผสมตัวเองจำนวน 200 familiesไปตรวจหาปริมาณน้ำมันแล้วคัดเลือกฝักที่มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูงจำนวน 80 families ไปปลูกแล้วคัดเลือกให้เหลือ 60 families ผสมเพื่อให้เกิดการรวมตัวกันของพันธุกรรม (recombination) ในประชากร โดยในขั้นตอนการหาปริมาณน้ำมันในเมล็ดมีการนำเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี เข้ามาใช้ในการประเมินปริมาณน้ำมันในเมล็ด ซึ่งใช้เครื่องอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรมิเตอร์ BRAN+LUEBE รุ่น Infra Alyzer 500 ในการตรวจหาสเปกตรัมโดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 1200-2400 นาโนเมตร ซึ่งมีการตรวจหาสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงทุก 2 นาโนเมตร แล้วนำมาประเมินหาปริมาณน้ำมันในเมล็ดโดยใช้สมการทำนาย (calibration model) ที่เป็นสมการหลายตัวแปร (partial least square regression, PLSR) สร้างขึ้นจากความสัมพันธ์ของค่าสเปกตรัมของเมล็ดข้าวโพดกับค่าวิเคราะห์ทางเคมีของปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพด ซึ่งสมการดังกล่าวพัฒนาขึ้นโดยหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีการตรวจสอบสินค้าโดยวิธีไม่ทำลาย สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

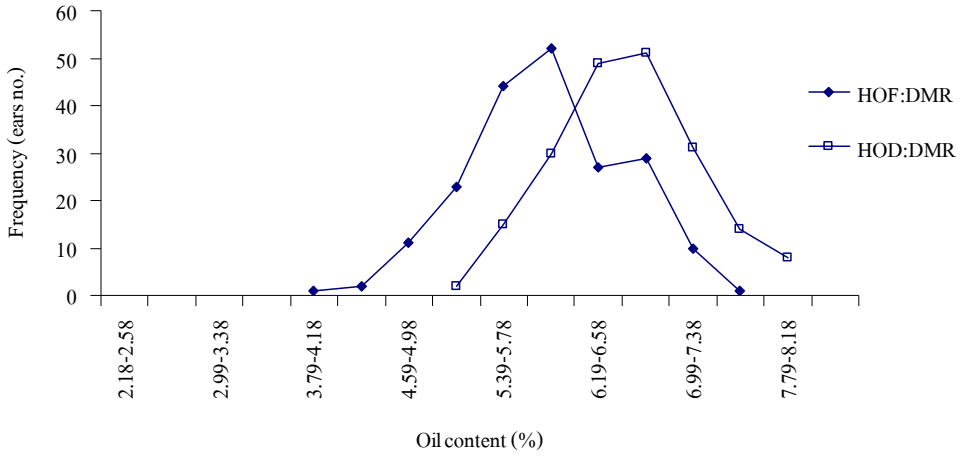
การคัดเลือกในรอบการคัดเลือกที่ 1 ทำนายหาปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพด โดยใช้สมการทำนายเริ่มต้นซึ่งสร้างจากข้อมูล สเปกตรัม และข้อมูลปริมาณน้ำมันที่สกัดโดยวิธี AOAC (2000) ของเมล็ดข้าวโพดสายพันธุ์ต่างๆ จำนวน 102 สายพันธุ์ สมการทำนายเริ่มต้นมีค่า standard error of prediction (SEP) เท่ากับ 0.6621 ค่า bias เท่ากับ 0.0092 และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (coefficient of determination; r^2) เท่ากับ 0.6814

ผลการทำนายหาปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพดจากการคัดเลือกในรอบการคัดเลือกที่ 1 พบว่า ประชากร HODDMR จำนวน 200 ฝัก มีปริมาณน้ำมันอยู่ในช่วง 2.90-8.08 เปอร์เซ็นต์ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.66 เปอร์เซ็นต์) และในประชากร HOFDMR จำนวน 200 ฝัก มีปริมาณน้ำมันอยู่ในช่วง 2.18-5.87 เปอร์เซ็นต์ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.07 เปอร์เซ็นต์) (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 การกระจายตัวของปริมาณน้ำมันในเมล็ดที่ประเมินโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี ของประชากร HODDMR และ HOFDMR ซึ่งคัดเลือกมาประเมินหาปริมาณน้ำมันในเมล็ด จำนวน 200 ฝัก จากการคัดเลือกในรอบการคัดเลือกที่ 1

ส่วนการคัดเลือกในรอบการคัดเลือกที่ 2 สมการทำนายที่ใช้ในการทำนายหาปริมาณน้ำมันเป็นสมการที่มีการพัฒนาโดยการเพิ่มข้อมูลสเปกตรัม และข้อมูลปริมาณน้ำมันที่สกัดได้โดยวิธี AOAC (2000) ของข้าวโพดภายในประชากรทั้งสองจากการคัดเลือกในรอบการคัดเลือกที่ 1 จำนวน 100 ตัวอย่าง ข้อมูลในสมการจึงมีทั้งหมด 202 ตัวอย่าง มีค่า SEP เท่ากับ 0.5686 ค่า bias เท่ากับ -0.0074 และค่า r^2 เท่ากับ 0.8487 ซึ่งผลการทำนาย พบว่า ในประชากร HODDMR จำนวน 200 ฝัก มีปริมาณน้ำมันอยู่ในช่วง 5.26-8.25 เปอร์เซ็นต์ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.67 เปอร์เซ็นต์) และประชากร HOFDMR จำนวน 200 ฝัก มีปริมาณน้ำมันอยู่ในช่วง 4.04-7.98 เปอร์เซ็นต์ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.95 เปอร์เซ็นต์) (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การกระจายตัวของปริมาณน้ำมันในเมล็ดที่ประเมินโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี ของประชากร HODDMR และ HOFDMR ซึ่งคัดเลือกมาประเมินหาปริมาณน้ำมันในเมล็ด จำนวน 200 ฝัก จากการคัดเลือกในรอบการคัดเลือกที่ 2

เมื่อพิจารณาจากการตอบสนองต่อการคัดเลือกของปริมาณน้ำมันร่วมกับค่า SEP และค่า bias ของทั้งสองสมการทำนาย พบว่า ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกัน คือ ในรอบการคัดเลือกที่ 1 ซึ่งใช้สมการทำนายเริ่มต้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (coefficient of determination; r^2) ต่ำ ค่า SEP และค่า bias สูง ทำให้คัดเลือกได้ประชากร HODDMR ซึ่งมีอัตราการลดลงของปริมาณน้ำมันเท่ากับ 2.75 เปอร์เซ็นต์ และประชากร HOFDMR ที่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำมันเพียงเล็กน้อยด้วยอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.02 เปอร์เซ็นต์ และในรอบการคัดเลือกที่ 2 มีการใช้สมการที่มีค่า r^2 สูง ค่า SEP และ bias ที่ต่ำกว่า ทำให้คัดเลือกได้ประชากร HODDMR ที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.99 เปอร์เซ็นต์ และในประชากร HOFDMR มีอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.78 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำมันในรอบการคัดเลือกที่ 1 และ 2 ซึ่งใช้สมการทำนายที่มีค่า SEP และค่า bias ของสมการในขั้นตอนการคัดเลือก

Cycle	Population	Oil content (%)	Increasing of oil content (%)	SEP[1/]	Bias[1/]	r^2 [2/]
C1	HODDMR	5.65	-2.75	0.6621	0.0092	0.6814
	HOFDMR	5.56	2.02			
C2	HODDMR	6.10	7.99	0.5686	-0.0074	0.8487
	HOFDMR	5.77	3.78			

หมายเหตุ [1/] ค่า standard error of prediction (SEP) และค่า bias เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความแม่นยำของสมการทำนาย

[2/] ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (coefficient of determination; r^2) โดยสมการที่มีความแม่นยำจะมีค่าเข้าใกล้ 1

วิจารณ์

1. ผลผลิต

จากการทดสอบผลผลิต ของประชากร HODDMR และประชากร HOFDMR ในประชากรเริ่มต้น ประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 และประชากรรอบการคัดเลือกที่ 2 จากแปลงทดสอบที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ และสถานีวิจัยพืชไร่นครสวรรค์ พบว่าให้รูปแบบของผลผลิตของประชากรในทางเดียวกัน โดยประชากรทุกรอบการคัดเลือกให้ผลผลิต ไม่แตกต่างกันทางสถิติในทั้งสองประชากร โดยประชากร HODDMR C0 ประชากร HODDMR C1 HODDMR C2 ประชากร HOFDMR C0 ประชากร HOFDMR C1 และประชากร HOFDMR C2 ให้ผลผลิตจากแปลงทดสอบศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ เท่ากับ 5.67 6.07 5.82 5.77 6.85 และ 7.13 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ และให้ผลผลิตจากแปลงทดสอบที่สถานีวิจัยพืชไร่นครสวรรค์ เท่ากับ 4.40 5.14 4.70 4.39 5.09 และ 5.30 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาจากการตอบสนองต่อการคัดเลือกของผลผลิตแล้ว พบว่า ในการปรับปรุงประชากรนี้ถึงแม้จะมีการคัดเลือกจากผลการประเมินปริมาณน้ำมันในเมล็ดเพียงอย่างเดียว แต่ก็ยังส่งผลให้อัตราการเพิ่มขึ้นของผลผลิตโดยภาพรวมของทั้งสองประชากร มีการเพิ่มขึ้น ในทั้งสองแปลงทดสอบ จากการเปรียบเทียบผลผลิตของประชากรกับพันธุ์พ่อแม่ของแต่ละประชากร ทั้งสองประชากรทุกรอบการคัดเลือก ให้ผลผลิตมากกว่าพันธุ์พ่อแม่ที่เป็น พันธุ์น้ำมันสูง ได้แก่พันธุ์ Alex syn. C23 และ IHO C10 และให้ผลผลิตไม่แตกต่างกับพันธุ์พ่อแม่ที่เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง ได้แก่ พันธุ์ KS23 C3 และ SW1 C12 ซึ่งขัดแย้งกับผลการประเมินผลผลิตในหลายงานวิจัยที่กล่าวว่า เมื่อปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดให้มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูงขึ้นแล้วผลผลิตที่ได้มักจะต่ำลง (Lambert, 2001) ชเนษฎ์ (2541) ทำการเปรียบเทียบผลผลิตของข้าวโพดทั่วๆ ไปกับข้าวโพดน้ำมันสูง พบว่าข้าวโพดน้ำมันสูงมีผลผลิตต่ำกว่าข้าวโพดทั่วไปอย่างชัดเจน ในขณะที่ Lambert *et al*. (2004) รายงานว่า จากการคัดเลือกเพื่อเพิ่มผลผลิตในพันธุ์ Alexho Elite ซึ่งเป็นพันธุ์น้ำมันสูง จำนวน 6 รอบการคัดเลือก หลังจากนำไปผสมกับพันธุ์ทดสอบ B73 LH185 และ LH202 พบว่า ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.13 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ต่อรอบการคัดเลือก และจากการนำไปผสมทดสอบกับพันธุ์ B73 ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.50 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ต่อรอบการคัดเลือก โดยให้ปริมาณน้ำมันไม่แตกต่างจากเดิม จากงานทดลองในครั้งนี้ สามารถกล่าวได้ว่า ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดน้ำมันสูงนั้น มีแนวโน้มที่จะสามารถปรับปรุงลักษณะปริมาณน้ำมัน ไปพร้อมกับการเพิ่มผลผลิตได้ โดยจากการทดสอบผลผลิตกับพันธุ์ทดสอบ FR1064 ของข้าวโพดน้ำมันสูง IHO ของ

รอบการคัดเลือกที่ 65 79 88 และ 99 ที่มีปริมาณน้ำมันเท่ากับ 12.1 12.3 12.9 และ 12.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สามารถให้ผลผลิตได้เท่ากับ 7.07 7.63 7.50 และ 7.41 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (Dudley and Lambert, 2004) ซึ่งจะเห็นว่าพันธุ์ IHO รอบการคัดเลือกดังกล่าวสามารถให้ผลผลิตอยู่ในเกณฑ์สูง เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ผสมเปิดทั่วไป ได้แก่พันธุ์ KS23 และ SW1 ที่ให้ผลผลิตจากแปลงทดสอบศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติเท่ากับ 6.69 และ 7.04 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ และให้ผลผลิตจากแปลงทดสอบศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์เท่ากับ 5.11 และ 4.59 เมกกะกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ

สำหรับพันธุ์น้ำมันสูงทั้งสองพันธุ์ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นำมาปลูกเพื่อเปรียบเทียบกับประชากร HODDMR และ HOFDMR ได้แก่ พันธุ์ IHO C10 และ Alex syn. C23 เป็นพันธุ์ของต่างประเทศที่ไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยได้ การนำมาปลูกเพื่อเป็นพันธุ์เปรียบเทียบผลผลิตจึงทำให้ได้ข้อมูลของผลผลิตที่ต่ำกว่าศักยภาพที่แท้จริงของทั้งสองพันธุ์

2. ปริมาณน้ำมันในเมล็ด

จากผลการตอบสนองต่อการคัดเลือกของปริมาณน้ำมันในเมล็ดของ ประชากร HODDMR และ HOFDMR พบว่า ในรอบการคัดเลือกที่ 1 ประชากร HODDMR และประชากร HOFDMR มีอัตราการลดลงเท่ากับ 2.75 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในรอบการคัดเลือกที่ 2 ประชากร HODDMR และ ประชากร HOFDMR มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำมันในเมล็ดเท่ากับ 7.99 และ 3.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจากภาพรวมของการตอบสนองต่อการคัดเลือกของปริมาณน้ำมันในเมล็ด ในทั้งสองประชากร จะเห็นว่า ในรอบการคัดเลือกที่ 2 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำมันในเมล็ดมากกว่าในรอบการคัดเลือกที่ 1 การที่ผลการทดลองเป็นเช่นนี้ คาดว่าเนื่องมาจากในรอบการคัดเลือกที่ 1 มีการประเมินหาปริมาณน้ำมันเพื่อใช้ในการคัดเลือกโดยใช้สมการเริ่มต้นที่มีค่า standard error of prediction (SEP) เท่ากับ 0.6621 ค่า bias เท่ากับ 0.0092 และ ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (coefficient of determination; r^2) เท่ากับ 0.6814 ผลการประเมินจึงมีความแม่นยำน้อย ตามที่ ธงชัย (2545) ได้กล่าวว่า ค่าสถิติที่ใช้ในการตรวจสอบว่าสมการทำนาย ที่สร้างขึ้นถูกต้อง และสามารถนำไปใช้งานได้หรือไม่ คือ ค่า SEP และค่า bias ควรจะมีค่าน้อย รวมทั้งค่า r^2 จะต้องมีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งจะบ่งชี้ว่าสมการทำนาย มีความเหมาะสมที่จะนำเครื่องอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรมิเตอร์มาใช้ในการทำนายคุณลักษณะที่ต้องการ จึงทำให้ในรอบการคัดเลือกที่ 1 ประชากร HODDMR มีการลดลงของปริมาณน้ำมัน

และประชากร HOFDMR มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำมันเพียงเล็กน้อย แต่ในรอบการคัดเลือกที่ 2 สมการมีความแม่นยำมากขึ้น (SEP เท่ากับ 0.5686 bias เท่ากับ -0.0074 และ r^2 เท่ากับ 0.8487) จึงทำให้ปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นในประชากรข้าวโพดทั้งสอง ซึ่งสมการที่ใช้ในรอบการคัดเลือกที่ 2 นี้พัฒนาขึ้นจากการเพิ่มข้อมูลสเปกตรัม และค่าทางเคมีของปริมาณน้ำมัน ของสองประชากรที่นำไปประเมินหาปริมาณน้ำมันในรอบการคัดเลือกที่ 1 อาจเป็นเพราะว่าการพัฒนาสมการโดยใช้ข้อมูลของข้าวโพดที่มีพื้นฐานพันธุกรรมเดียวกัน ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับสัดส่วนองค์ประกอบเคมีในเมล็ดที่คล้ายกัน จึงทำให้สมการมีความแม่นยำขึ้น ในขณะที่สมการเริ่มต้น เป็นสมการที่สร้างขึ้นมาจากข้าวโพดต่างสายพันธุ์จำนวน 102 สายพันธุ์ ทำให้ไม่มีความแม่นยำเพียงพอในการนำมาประเมินเพื่อใช้ในการคัดเลือก ซึ่งการทำนายด้วยเครื่องอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรมิเตอร์นั้น สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมี ขนาดอนุภาค และความชื้นที่แตกต่างกันของชุดตัวอย่างมาตรฐานที่ใช้สร้างสมการกับตัวอย่างที่ต้องการประเมินโดยใช้สมการ เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าสเปกตรัม (อนุพันธุ์, 2545)

จากการเปรียบเทียบผลการตอบสนองต่อการคัดเลือกของปริมาณน้ำมันในเมล็ด ของงานทดลองนี้กับงานวิจัยของ Spraque *et al.*(1952) ซึ่งได้ใช้วิธีการคัดเลือกรวมที่คัดเลือกจากการผสมตัวเองซึ่งเป็นวิธีเดียวกันกับงานทดลองนี้ มีความเข้มข้นของการคัดเลือก(intensity of selection) เท่ากับ 1.7 (คัดเลือก 10 %) เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพดพันธุ์ Stiff Stalk Synthetic ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำมันเริ่มต้นเท่ากับ 4.2 % แต่หลังจากการปรับปรุงประชากร รอบการคัดเลือกที่ 1 และรอบการคัดเลือกที่ 2 พบว่า มีปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นเป็น 5.2 และ 7.0 % ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นมากถึง 23.81 และ 34.62 % ตามลำดับ จะเห็นว่า มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำมัน มากกว่าในงานทดลองนี้อย่างชัดเจน คาดว่าเนื่องจากในการทดลองในครั้งนี้มีการใช้ความเข้มข้นของการคัดเลือกที่น้อยกว่าคือ 1.16 (คัดเลือก 30 %) เนื่องจากประชากรที่นำมาคัดเลือกยังมีลักษณะต่างๆ ที่ไม่มีความสม่ำเสมอ การคัดเลือกที่ความเข้มข้นของการคัดเลือกมากอาจทำให้ลักษณะที่ดีบางประการสูญหายไประหว่างการคัดเลือกได้ ส่วนการปรับปรุงประชากรข้าวโพดน้ำมันสูง IHO ซึ่งคัดเลือกโดยใช้วิธีคัดเลือกรวม และ Alexho synthetic ซึ่งคัดเลือกโดยใช้วิธี single kernel selection ที่มีการประเมินหาปริมาณน้ำมันทีละเมล็ดโดยใช้เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรมิเตอร์ (nuclear magnetic resonance, NMR) พบว่า ประชากรเริ่มต้น ประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 และประชากรรอบการคัดเลือกที่ 2 ของพันธุ์ IHO มีปริมาณน้ำมันเท่ากับ 4.69 4.79 และ 5.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในพันธุ์ Alexho synthetic มีปริมาณน้ำมันเท่ากับ 5.43 6.43 และ 7.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าการปรับปรุงประชากร IHO มีการ

ตอบสนองต่อการคัดเลือกที่ใกล้เคียงกับการปรับปรุงประชากร HODDMR และ HOFDMR ส่วนในพันธุ์ Alexho synthetic พบว่ามีการตอบสนองต่อการคัดเลือกที่สูงกว่า (Dudley and Lambert., 2004; Lambert *et al.*, 2004)

3. ความสัมพันธ์ของผลผลิต ปริมาณน้ำมัน และลักษณะของเมล็ด

จากความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่ ซึ่งให้ค่าสหสัมพันธ์ในเชิงบวก แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่ของทั้งสองประชากร ขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของผลผลิตเป็นสำคัญ ส่วนผลผลิตกับปริมาณน้ำมันในเมล็ด พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งขัดแย้งกับงานทดลองของชเนษฎ์ (2541) ที่รายงานว่า ผลผลิตกับปริมาณน้ำมันในเมล็ดให้ค่าสหสัมพันธ์ในเชิงลบ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันในเมล็ดกับสัดส่วนน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด ซึ่งให้ค่าสหสัมพันธ์ในเชิงบวก และปริมาณน้ำมันในเมล็ดกับน้ำหนักแห้ง 100 เมล็ด และน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอ 100 เมล็ด ซึ่งพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน สามารถกล่าวได้ว่าปริมาณน้ำมันในเมล็ดที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดเมล็ด หรือขนาดของเอ็มบริโอ เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่จะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของน้ำหนักแห้งเอ็มบริโอต่อเมล็ด เป็นสำคัญ

สรุปและข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงประชากรข้าวโพดเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันในเมล็ด โดยใช้วิธีการคัดเลือกรวม ซึ่งคัดเลือกจากการผสมตัวเอง เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ สามารถนำมาปรับปรุงประชากรให้มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดเพิ่มขึ้นได้ ทั้งนี้ความแม่นยำในการประเมินหาปริมาณน้ำมันในเมล็ดสำหรับการคัดเลือกข้าวโพดที่มีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูง เป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้การคัดเลือกมีความก้าวหน้าของปริมาณน้ำมันได้ ซึ่งในงานทดลองนี้ใช้เทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปีในการประเมินหาปริมาณน้ำมัน โดยสมการทำนายที่จะนำมาใช้ในการประเมินหาปริมาณน้ำมันนั้น ควรสร้างมาจากชุดตัวอย่างมาตรฐาน ที่มีพื้นฐานพันธุกรรมเดียวกันกับประชากรที่จะปรับปรุงพันธุ์ จึงจะทำให้ได้ค่าสเปกตรัมที่จะนำไปสร้างสมการประเมินปริมาณน้ำมันของประชากรที่ปรับปรุงพันธุ์ มีรูปแบบใกล้เคียงกับสเปกตรัมของชุดตัวอย่างมาตรฐานมากที่สุดซึ่ง จะทำให้การประเมินหาปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพดเพื่อการคัดเลือกมีความแม่นยำมากขึ้น

การพิจารณาขนาดของเอ็มบริโอ และน้ำหนักเมล็ดในเบื้องต้น ก่อนการนำไปประเมินหาปริมาณน้ำมันด้วยเครื่องอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรมิเตอร์ น่าจะทำให้สามารถคัดเลือกได้ประชากรที่มีผลผลิตที่ดี และส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นด้วย

สำหรับการทดลองนี้ เป็นการเริ่มต้นในการปรับปรุงประชากรข้าวโพดเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันในเมล็ด ซึ่งทำการปรับปรุงประชากรเพียง 2 รอบการคัดเลือก หากมีการปรับปรุงประชากรอย่างต่อเนื่อง จะทำให้ทราบแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการปรับปรุงประชากรได้ชัดเจนยิ่งขึ้น และหากมีการพัฒนาสมการเพื่อทำนายพร้อมกับการคัดเลือก โดยการเพิ่มข้อมูลของสเปกตรัมและค่าทางเคมีของปริมาณน้ำมัน ของข้าวโพดจากแต่ละรอบการคัดเลือกเข้าไปในสมการทำนาย จะทำให้การประเมินหาปริมาณน้ำมันในเมล็ดในแต่ละรอบการคัดเลือกมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับการคัดเลือกในระยะยาวต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กฤษฎา สัมพันธารักษ์. 2551. **การปรับปรุงพันธุ์พืช พื้นฐาน วิธีการ และแนวคิด**. ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. **การตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์**. ครั้งที่ 1. กลุ่มหนังสือเกษตร, กรุงเทพฯ.

ชเนษฎ์ ม้าลำพอง. 2541. **การปรับปรุงข้าวโพดลูกผสมน้ำมันสูง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชูศักดิ์ จอมพุก. 2552. **สถิติ: การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยด้านพืชด้วย "R"**. ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชำนาญ ฉัตรแก้ว, นิพนธ์ เอี่ยมสุภาษิต, สมศรี ไทยเวสน์, พิศมัย ศรีสุขประเสริฐ และ สมรัก นรเดชานนท์. 2522. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับน้ำมันข้าวโพด, น. 85. *ใน* **รวมเรื่องย่อการประชุมวิชาการครั้งที่ 17 สาขาพืช**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____, วัชรี เลิศมงคล, สมศักดิ์ สอนไว, สกล ฉายศรี, สุพจน์ เอี่ยมแสงศรี, สรรเสริญ จำปาทอง และ ประเทืองศรี สินชัยศรี. 2537. ข้าวโพด มก. พันธุ์ใหม่ : ลูกผสมเดี่ยว KOSX 3503 และ ลูกผสมสามทาง KTX 3501, น. 127-140. *ใน* **การสัมมนาทางวิชาการปรับปรุงพันธุ์พืชครั้งที่ 4 เรื่อง พันธุ์พืชใหม่และความปลอดภัยทางชีวภาพ**. กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____, สุมิตร พุกกะเวส และ อำพล เสนาณรงค์. 2513. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับข้าวโพดน้ำมัน, น. 98-104. *ใน* **รายงานการประชุมทางวิชาการเกษตรและชีววิทยา ครั้งที่ 9 สาขาพืช**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชำนาญ ฉัตรแก้ว , R.S. Paroda และ J.M. Marathee. 2538. ข้าวโพดลูกผสมดีเด่นของเขตร้อนในเอเซีย II. น. 244-252. *ใน* **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 33 สาขาพืช**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธงชัย สุวรรณสิชณน์. 2545. การวิเคราะห์สเปกตรัม NIR ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ, น. 99-129. *ใน* **การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อแข่งขันในเวทีการค้าโลก**. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธีรพันธ์ บัญญัติรัชต. 2529. **การคัดเลือกสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 1 ในข้าวโพดลูกผสมน้ำมันสูงเพื่อสร้างพันธุ์สังเคราะห์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์. 2545. หลักการพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี, น. 39-66. *ใน* **การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อแข่งขันในเวทีการค้าโลก**. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไพจิตร จันทรวงศ์. 2530. **พืชน้ำมันและน้ำมันพืช 52 ชนิด**. กองเกษตรเคมี, กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 124 น.

เมธี เอกศิรินิมิตร. 2531. **การปรับปรุงข้าวโพดลูกผสมน้ำมันสูง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เย็นหทัย แน่นหนา. 2549. **สเปกโตรสโกปีสำหรับเคมีอินทรีย์**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 530 น.

วารุณี ธนะแพสย์. 2545. สถานการณ์ปัจจุบันของงานวิจัยและพัฒนา และการใช้ประโยชน์จากเทคนิค NIR Spectroscopy ในประเทศไทย, น. 25-37. *ใน* **การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อแข่งขันในเวทีการค้าโลก**. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศฎาวุฒิ กุลมณี. 2540. **เฮทเทอโรซีสและสมรรถนะการผสมข้าวโพดน้ำมันสูง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุมาพร เกษมสำราญ. 2545. ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและการทดสอบสมการในเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด, น. 131-151. *ใน* **การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อแข่งขันในเวทีการค้าโลก**. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมเดช กนกเมธากุล. 2547. **สเปกโทรสโกปีในการพิสูจน์โครงสร้างสารอินทรย์**. ครั้งที่ 1. หจก. ขอนแก่นการพิมพ์, ขอนแก่น.

สุนีรัตน์ จงมี. 2528. **การทดสอบสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 เพื่อสกัดสายพันธุ์แท้ในการสร้างข้าวโพดลูกผสมน้ำมันสูง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนุพันธุ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2545. การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์, น. 67-98. *ใน* **การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อแข่งขันในเวทีการค้าโลก**. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อำพล เสนาณรงค์. 2536. น้ำมันข้าวโพด-ข้าวโพดน้ำมัน. *ใน* **ประมวลบทความทางวิชาการเกษตรปี 2503-2535**. กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 702 น.

Adums, K.L. and A.H. Jensen. 1987. High-fat maize in diets for pigs and sows. **Ann. Feed Soc. Tech**. 17: 201-212.

Alexander, D.E. 1987. **High Oil Corn**. University of Illinois, Illinois. 2 p.

Alexander, D.E. 1988. Breeding special nutritional and industrial and industrial types, pp. 869-880. *In* G.F. Sprague, ed., **Corn and Corn Improvement**. American Society of Agronomy Inc., Pub., Madison, Wisconsin.

_____and R.D. Seif. 1963. Relation of kernel oil content to some agronomic traits of maize. **Crop Sci**. 3: 354-355.

Atwell, D.G., E.H. Jaster, K.J. Moore and R.L. Fernando. 1988. Evaluation of high oil corn and corn silage for lactating cow. **J. Dairy Sci**. 71: 2689-2698.

Biskupek, B. and C.R. Moschner. 2006. Near-infrared spectroscopy (NIRS) for quality assurance in breeding, cultiation and marketing of high-oleic sunflowers. **HELIA** 29:73-80.

Boyer, C.D. and L.C. Hannah. 2001. Kernel Mutants of Corn, pp. 1-31. *In* A.R. Hallaauer, ed. **Specialty Corns**. CRC Press LLC, United State of America.

Brown, W.L. and L.L. Darrah. 1985. **Origin, Adaptation and Type of Corn**. National Corn Handbook. Iowa State University, Iowa. 6 p.

Cochran, W.G. and G.M. Cox. 1957. **Experimental Designs**. ed. John Wiley & Son, Inc., New York. 611 p.

Dudley, J.W. 1974. **Seventy Generations of Selection for Oil and Protein in Maize**. Crop Society of America, Inc., Marison, Wisconsin. 212 p.

Dudley, J.W. 1977. Seventy-six generation for selection for oil and protein maize, pp. 459-473. *In* E. Pollak *et al.*, eds. **Proc. Int. Conf. Quant. Genet**. Iowa State Univ, Iowa.

_____ and R.J. Lambert. 1992. Ninety generation of selection for oil and protein in maize. **Maydica** 37: 81-87.

_____ and R.J. Lambert. 2004. 100 Generations of Selection for Oil and Protein in Corn. *In* J.Janick, ed. **Plant Breeding Previews, V.24**. John Wiley & Sons, Inc. U.S.A

Garrigus, U.S. 1961. Biological evaluation of high oil higher protein corn by sheep. *In* **Proceedings of a Symposium on High Oil Corn**. Univ. Ill. mimeo, Dep. Agron.

Hallauer, A.R. and J.B. Miranda. 1988. **Quantitative Genetics in Maize Breeding**. Iowa State Univ., Press, Ames. 879 p.

Han, Y., C.M. Parsons and D.E. Alexander. 1987. Nutritive value of high oil corn for poultry. **Poultry Sci**. 66: 103-111.

Jellum, M.D. 1967. Fatty acid composition of corn (*Zea mays* L.) oil as influenced by kernel position on ear. **Crop Sci**. 7: 593-595.

_____ and J.E. Marion. 1966. Factors affecting oil content and oil composition (*Zea mays* L.) grain. **Crop Sci**. 6: 41-42.

Jensen, N.F. 1988. **Plant Breeding Methodology**. Wiley, New York. 676 p.

Jiang, H.Y., Y.J. Zhu, L.M. Wei, J.R. Dai, T.M. Song, Y.L. Yan and S.J. Chen. 2007. Analysis of protein, starch and oil content of single intact kernels by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) in maize (*Zea mays* L.). **Plant Breeding** 126: 492-497.

Jugenheimer, R.W. 1958. Oil for Industry and High Energy Feed. *In* **FAO Agricultural Development Paper Hybrid Maize Breeding and Seed Production**, Rome, Italy.

_____. 1976. **Corn Important Seed Production and Uses**. John Wiley and Sons, New York.

Lambert, R.J. 2001. High oil corn hybrids, pp. 131-154. *In* A.R. Hallaauer, ed. **Specialty Corns**. CRC Press LLC, U.S.A.

_____, D.E. Alexander and I.J. Mejaya. 2004. Single Kernel Selection for Increased Grain Oil in Maize Synthetics and High-oil Hybrid Development. *In* J. Janick, ed. **Plant Breeding Previews, V.24**. John Wiley & Sons, Inc. U.S.A.

Mangolin, C.A., C.L. de Souza Jr., A.A.F. Garcia, S.T. Sibov and A.P. de Souza. 2004. Mapping QTLs for kernel oil content in a tropical maize population. **Euphytica** 137: 251-259.

Merino, G. J., J.W. Dudley and J.R. Lambert. 1975. A Design III study of linkage disequilibrium for percent oil in maize. **Crop Sci**. 15: 840-843.

Miller, P.A. and B. Brimhall. 1951. Factors influencing the oil and protein content of corn grain. **Agron. J**. 43: 305-311.

Misevic, D. and D.E. Alexander. 1989. Twenty-Four cycles of phenotypic recurrent selection for percent oil in maize I. Per se and Test-cross Performance. **Crop Sci**. 29: 320-324.

Misevic, D., A. Maric, D.E. Alexander, J. Dumanovic and S. Ratkovic. 1989. Population cross diallel among high oil population of maize. **Crop Sci**. 29: 613-617.

Neukom, H. and W. Buchi. 1979. **Industrial Utilization of Maize**. Toms River, New Jersey. 24 p.

Nordstrom, J.W., B.R. Becrends, R.J. Meade and E.H. Thompson. 1972. Effects of feeding high oil corns to growing-finishing swine. **J. An. Sci**. 35: 357-361.

Orthoefer, F., J. Eastman and G. List. 2003. Corn Oil: Composition, Processing and Utilization, pp. 671-692. *In* P.J. White and L.A. Johnson, eds. **CORN: Chemistry and Tecchnology**. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA.

Plewa, M.J. and D.F. Weber. 1973. The use of monosomics to detect genes conditioning lipid content in *Zea mays* L. embryos. **Can. J. Gent. Cytol**. 15: 313-320.

_____ and _____. 1975. Monosomic analysis of fatty acid composition in embryo lipids of *Zea mays* L. Genetics. **Crop sci**. 81: 277-286.

Poneleit, C.G. and D.E. Alexander. 1965. Inheritance of linoleic and oleic acids in maize. **Science** 147: 1585-1586.

_____ and L.F. Bauman. 1970. Diallel analyse of fatty acids in corn (*Zea mays* L.) oil. **Crop Sci**. 10: 338-341.

Shedley, J.D. and D.F. Weber. 1980. Identification of a factor in maize that increases embryo fatty acid unsaturation by trisomic and B-A translocation analysis. **Can. J. Gent. Cytol**. 22: 11-19.

Spraque, G.F., P.A. Miller and B. Brimhall. 1952. Additional studies on the effectiveness of two systems of selection for oil content of corn kernel. **Agron. J**. 44: 329-331.

Watson, S.A. and J.E. Freeman. 1975. Breeding corn for increased oil content, pp. 251-275. *In* **Proc. 30th Ann. Corn and Sorghum Res. Conference. American Seed Trade Association.** Washington, D.C.

White, P.J. and E.J. Webber. 2003. Lipid of Kernel, pp. 355-405. *In* P.J. White and L.A. Johnson, eds. **CORN: Chemistry and Tecchnology**. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA.

Widstrom, N.W. and M.D. Jellum. 1984. Chromosomal location of gene controlling oleic and linoleic acid composition in the germ of two maize inbreds. **Crop Sci**. 24: 1113-1115.

ภาคผนวก

การผสมเพื่อให้เกิดการรวมตัวกันของพันธุกรรม (recombination)

การผสม recombination เป็นการผสมพันธุ์ เพื่อให้เกิดการรวมตัวกันของพันธุกรรมประชากรที่ถูกคัดเลือกไว้ ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งของการคัดเลือกแบบวงจร (recurrent selection) โดยการผสม recombination นั้น สามารถทำได้หลายวิธี สำหรับงานทดลองนี้มีการปลูกเพื่อผสม recombination จำนวน 2 ครั้ง คือในฤดูปลูกที่ 2 และ 4 มีวิธีการ ดังนี้

ปลูกข้าวโพดสายพันธุ์ที่มีปริมาณน้ำมันสูงอันดับที่ 1-80 ซึ่งมีจำนวน 80 families ติดป้ายกระดาษของแต่ละสายพันธุ์เป็นหมายเลข 1-80 โดยใช้ระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร และระยะระหว่างต้น 25 เซนติเมตร จำนวน 2 แถวต่อ family เมื่อถึงระยะผสมพันธุ์ คือ เมื่อข้าวโพดอายุได้ประมาณ 55-66 วัน คัดเลือกสายพันธุ์ที่มีลักษณะทางการเกษตรที่ดี 60 families เพื่อทำการผสมพันธุ์ให้เกิด recombination จากนั้นติดป้ายกระดาษจัดลำดับหมายเลขใหม่ให้กับ 60 families ที่ถูกคัดเลือก เป็นหมายเลข 1-60 เพื่อให้ง่ายแก่การจัดกลุ่มสำหรับผสม recombination ซึ่งมีการจัดกลุ่มผสมจำนวน 2 ครั้ง

การจัดกลุ่มผสม

เขียนหมายเลข 1-60 เป็นตาราง โดยให้เป็นจตุรัสมากที่สุดเพื่อให้ง่ายในการจัดกลุ่มผสม ดังรูป

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60				

1. การผสมพันธุ์เพื่อให้เกิดการรวมตัวกันของพันธุกรรม (recombination) ครั้งที่ 1

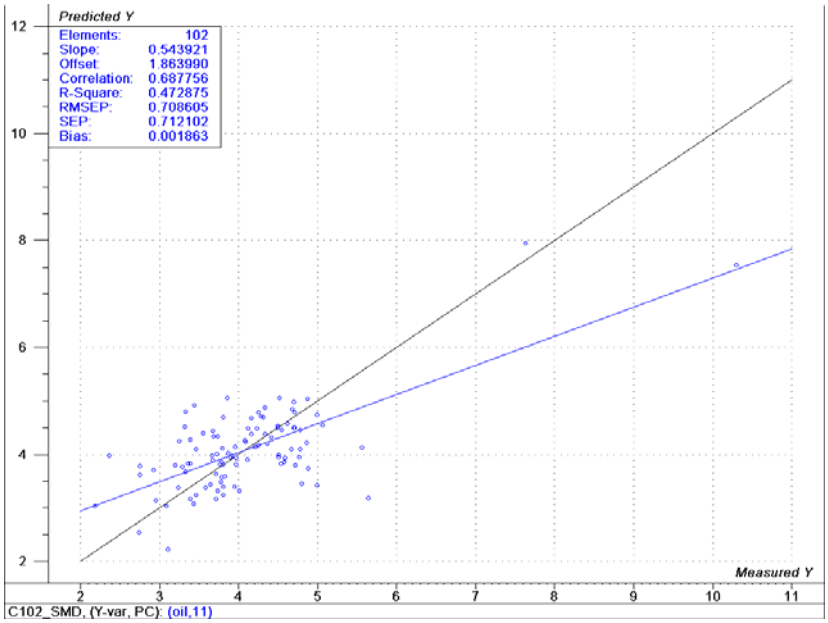
จัดกลุ่มตามแนวนอนได้จำนวน 8 กลุ่ม ให้เป็นกลุ่มที่ 1-8 เคาะละอองเกสรครึ่งหนึ่งของจำนวนต้นในแต่ละ family ซึ่งแต่ละ family จะมีจำนวนต้นทั้งหมดประมาณ 42 ต้น ดังนั้นจำนวนครึ่งหนึ่งจึงเท่ากับ 21 ต้น มารวมกันเป็นกลุ่มๆ ตามตาราง ในการผสมถ้าจะผสมกลุ่มใดให้นำละอองเกสรจากกลุ่มอื่นๆ ที่เหลือมารวมกัน กลุ่มละ 1 ช้อนชา เท่าๆ กัน แล้วนำไปผสมให้ได้ 21 ต้นของกลุ่มที่จะผสมนั้น เพื่อไม่ให้มีการผสมตัวเองโดยผสมให้ได้ประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนต้นข้าวโพดในแต่ละสายพันธุ์ หลังจากนั้นเว้นการผสม 1 วัน แล้วทำการผสมครั้งที่ 2 อีกครึ่งหนึ่งที่เหลือในแต่ละสายพันธุ์ ในวันที่ 3

1	1	2	3	4	5	6	7	8
2	9	10	11	12	13	14	15	16
3	17	18	19	20	21	22	23	24
4	25	26	27	28	29	30	31	32
5	33	34	35	36	37	38	39	40
6	41	42	43	44	45	46	47	48
7	49	50	51	52	53	54	55	56
8	57	58	59	60				

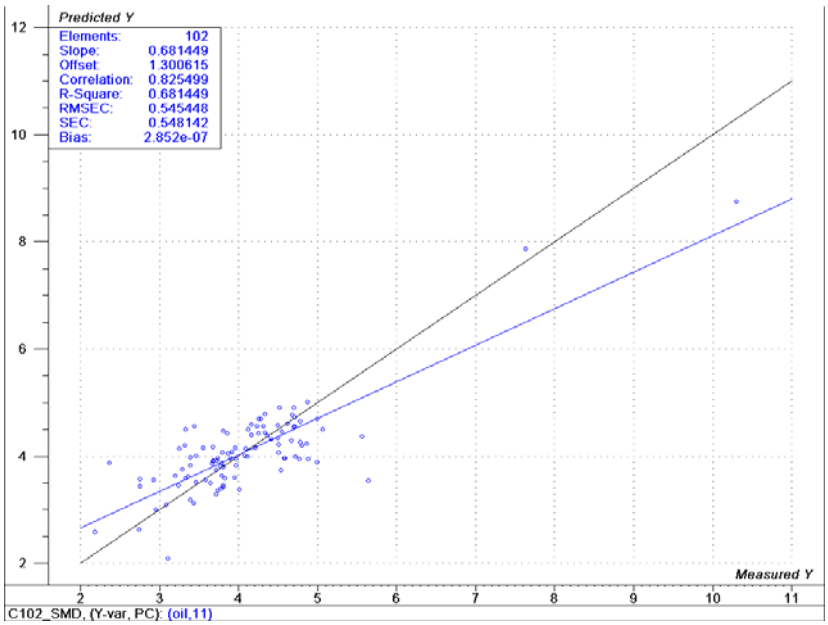
2. การผสมพันธุ์เพื่อให้เกิดการรวมตัวกันของพันธุกรรม (recombination) ครั้งที่ 2

จัดกลุ่มตามแนวตั้งได้เป็น 8 กลุ่ม และทำการผสมเช่นเดียวกับครั้งที่ 1 โดยผสมอีกครึ่งหนึ่งที่เหลือหลังจากเว้นจากการผสมครั้งที่ 1 เป็นเวลา 1 วัน

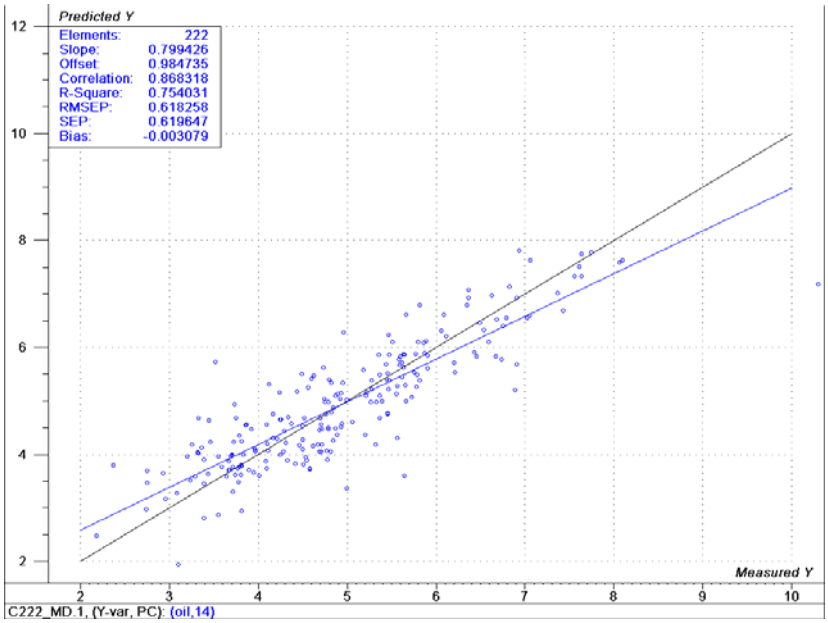
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60				



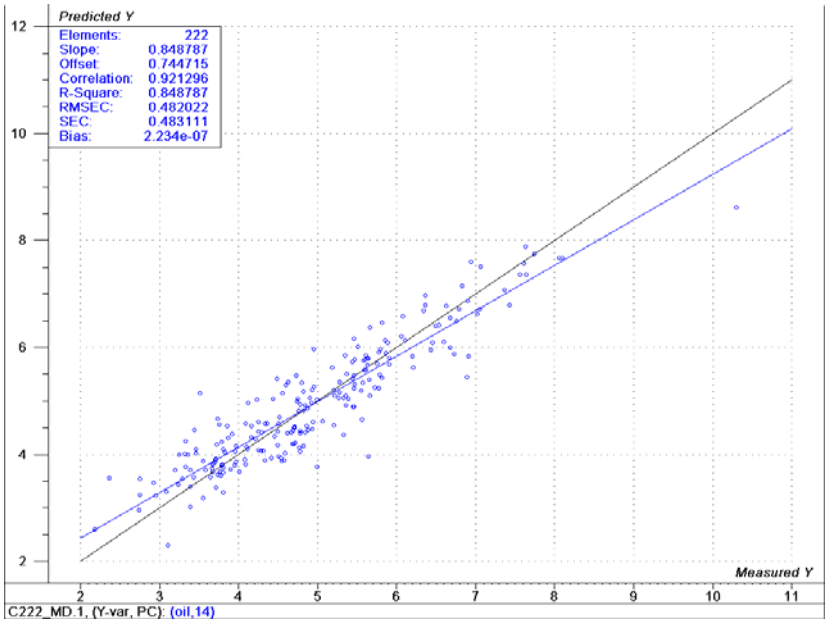
ภาพผนวกที่ 1 แสดงค่า standard error of prediction (SEP) และ bias ของสมการทำนายที่ 1 ที่ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพด เพื่อการคัดเลือกของรอบการคัดเลือกที่ 1



ภาพผนวกที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (coefficient of determination, r^2 หรือ R-square) ของสมการทำนายที่ 1 ที่ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพดเพื่อการคัดเลือกของรอบการคัดเลือกที่ 1



ภาพผนวกที่ 3 แสดงค่า standard error of prediction (SEP) และ bias ของสมการทำนายที่ 2 ที่ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพด เพื่อการคัดเลือกของรอบการคัดเลือกที่ 2



ภาพผนวกที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (coefficient of determination, r^2 หรือ R-square) ของสมการทำนายที่ 2 ที่ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำมันในเมล็ดข้าวโพดเพื่อการคัดเลือกของรอบการคัดเลือกที่ 2

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณน้ำมันที่ประเมินด้วยเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปีของประชากร HODDMR จำนวน 200 ฝัก ในรอบการคัดเลือกที่ 1

Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)
1	2.90	21	3.80	41	4.05	61	4.29	81	4.48
2	3.05	22	3.80	42	4.05	62	4.32	82	4.49
3	3.18	23	3.80	43	4.06	63	4.32	83	4.50
4	3.24	24	3.82	44	4.08	64	4.33	84	4.50
5	3.29	25	3.82	45	4.10	65	4.34	85	4.50
6	3.33	26	3.86	46	4.11	66	4.35	86	4.51
7	3.35	27	3.87	47	4.12	67	4.35	87	4.51
8	3.38	28	3.88	48	4.13	68	4.38	88	4.52
9	3.46	29	3.88	49	4.13	69	4.38	89	4.52
10	3.47	30	3.90	50	4.13	70	4.39	90	4.53
11	3.55	31	3.90	51	4.14	71	4.39	91	4.54
12	3.57	32	3.90	52	4.15	72	4.39	92	4.55
13	3.59	33	3.96	53	4.15	73	4.41	93	4.56
14	3.61	34	3.97	54	4.17	74	4.42	94	4.57
15	3.61	35	3.98	55	4.22	75	4.42	95	4.58
16	3.64	36	4.00	56	4.22	76	4.42	96	4.58
17	3.75	37	4.01	57	4.24	77	4.43	97	4.58
18	3.78	38	4.03	58	4.25	78	4.44	98	4.58
19	3.78	39	4.04	59	4.27	79	4.44	99	4.61
20	3.79	40	4.05	60	4.27	80	4.46	100	4.63

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)
101	4.65	121	4.85	141	5.00	161	5.20	181	5.54
102	4.66	122	4.86	142	5.02	162	5.26	182	5.64
103	4.67	123	4.87	143	5.02	163	5.26	183	5.64
104	4.68	124	4.87	144	5.07	164	5.27	184	5.66
105	4.72	125	4.88	145	5.10	165	5.28	185	5.69
106	4.75	126	4.88	146	5.12	166	5.29	186	5.69
107	4.75	127	4.90	147	5.13	167	5.30	187	5.70
108	4.76	128	4.90	148	5.13	168	5.31	188	5.71
109	4.76	129	4.90	149	5.13	169	5.34	189	5.83
110	4.76	130	4.91	150	5.13	170	5.37	190	5.87
111	4.77	131	4.92	151	5.13	171	5.37	191	5.97
112	4.78	132	4.92	152	5.14	172	5.38	192	5.97
113	4.78	133	4.93	153	5.14	173	5.39	193	5.99
114	4.78	134	4.94	154	5.15	174	5.40	194	6.02
115	4.80	135	4.94	155	5.17	175	5.41	195	6.15
116	4.80	136	4.95	156	5.17	176	5.42	196	6.30
117	4.81	137	4.95	157	5.17	177	5.43	197	6.38
118	4.81	138	4.97	158	5.19	178	5.43	198	6.38
119	4.82	139	4.98	159	5.19	179	5.50	199	6.49
120	4.85	140	5.00	160	5.20	180	5.51	200	8.08

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณน้ำมันที่ประเมินด้วยเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปีของประชากร HOFDMR จำนวน 200 ฝัก ในรอบการคัดเลือกที่ 1

Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)
1	2.18	21	3.14	41	3.52	61	3.74	81	3.92
2	2.23	22	3.21	42	3.53	62	3.75	82	3.93
3	2.42	23	3.27	43	3.53	63	3.79	83	3.93
4	2.52	24	3.28	44	3.55	64	3.80	84	3.94
5	2.62	25	3.28	45	3.55	65	3.84	85	3.95
6	2.66	26	3.29	46	3.56	66	3.84	86	3.96
7	2.68	27	3.30	47	3.57	67	3.84	87	3.97
8	2.72	28	3.30	48	3.57	68	3.84	88	3.97
9	2.72	29	3.31	49	3.58	69	3.85	89	3.98
10	2.73	30	3.35	50	3.60	70	3.85	90	3.99
11	2.80	31	3.36	51	3.61	71	3.85	91	4.00
12	2.92	32	3.36	52	3.61	72	3.86	92	4.01
13	2.96	33	3.40	53	3.64	73	3.86	93	4.01
14	3.00	34	3.41	54	3.67	74	3.87	94	4.03
15	3.03	35	3.43	55	3.67	75	3.88	95	4.03
16	3.05	36	3.44	56	3.69	76	3.89	96	4.06
17	3.06	37	3.46	57	3.69	77	3.90	97	4.07
18	3.09	38	3.48	58	3.70	78	3.90	98	4.08
19	3.09	39	3.49	59	3.72	79	3.90	99	4.10
20	3.11	40	3.52	60	3.72	80	3.91	100	4.11

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)
101	4.11	121	4.29	141	4.44	161	4.70	181	4.92
102	4.14	122	4.32	142	4.45	162	4.71	182	4.93
103	4.14	123	4.33	143	4.46	163	4.71	183	4.95
104	4.14	124	4.35	144	4.47	164	4.71	184	4.95
105	4.15	125	4.35	145	4.49	165	4.75	185	4.99
106	4.15	126	4.36	146	4.49	166	4.75	186	5.01
107	4.16	127	4.36	147	4.51	167	4.77	187	5.03
108	4.17	128	4.37	148	4.55	168	4.78	188	5.07
109	4.18	129	4.37	149	4.57	169	4.79	189	5.08
110	4.18	130	4.37	150	4.58	170	4.80	190	5.10
111	4.19	131	4.37	151	4.62	171	4.85	191	5.10
112	4.20	132	4.38	152	4.62	172	4.85	192	5.16
113	4.22	133	4.38	153	4.63	173	4.86	193	5.22
114	4.22	134	4.40	154	4.63	174	4.86	194	5.22
115	4.23	135	4.42	155	4.64	175	4.86	195	5.28
116	4.23	136	4.42	156	4.64	176	4.87	196	5.28
117	4.24	137	4.42	157	4.66	177	4.88	197	5.30
118	4.25	138	4.43	158	4.67	178	4.89	198	5.38
119	4.28	139	4.43	159	4.68	179	4.90	199	5.83
120	4.29	140	4.44	160	4.68	180	4.90	200	5.87

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณน้ำมันที่ประเมินด้วยเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี ของประชากร HODDMR จำนวน 200 ฝัก ในรอบการคัดเลือกที่ 2

Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)
1	5.15	21	5.88	41	6.12	61	6.29	81	6.45
2	5.38	22	5.89	42	6.13	62	6.30	82	6.45
3	5.39	23	5.89	43	6.14	63	6.30	83	6.45
4	5.42	24	5.90	44	6.14	64	6.30	84	6.46
5	5.50	25	5.91	45	6.15	65	6.31	85	6.46
6	5.51	26	5.95	46	6.16	66	6.33	86	6.48
7	5.60	27	5.97	47	6.16	67	6.34	87	6.49
8	5.61	28	5.99	48	6.21	68	6.37	88	6.49
9	5.64	29	6.00	49	6.22	69	6.37	89	6.49
10	5.64	30	6.00	50	6.23	70	6.37	90	6.51
11	5.65	31	6.01	51	6.24	71	6.37	91	6.51
12	5.66	32	6.03	52	6.24	72	6.39	92	6.52
13	5.71	33	6.03	53	6.26	73	6.39	93	6.53
14	5.72	34	6.04	54	6.26	74	6.40	94	6.54
15	5.75	35	6.05	55	6.27	75	6.40	95	6.55
16	5.77	36	6.08	56	6.27	76	6.40	96	6.57
17	5.77	37	6.09	57	6.28	77	6.40	97	6.59
18	5.79	38	6.09	58	6.28	78	6.41	98	6.60
19	5.84	39	6.10	59	6.28	79	6.42	99	6.61
20	5.86	40	6.12	60	6.28	80	6.44	100	6.63

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)
101	6.64	121	6.84	141	6.95	161	7.19	181	7.46
102	6.64	122	6.86	142	6.96	162	7.19	182	7.47
103	6.65	123	6.86	143	6.97	163	7.20	183	7.48
104	6.66	124	6.86	144	6.97	164	7.21	184	7.52
105	6.66	125	6.86	145	6.97	165	7.21	185	7.54
106	6.67	126	6.87	146	6.98	166	7.22	186	7.57
107	6.68	127	6.87	147	6.98	167	7.22	187	7.59
108	6.69	128	6.87	148	6.99	168	7.25	188	7.60
109	6.69	129	6.88	149	7.00	169	7.27	189	7.67
110	6.70	130	6.90	150	7.04	170	7.27	190	7.74
111	6.71	131	6.91	151	7.06	171	7.29	191	7.77
112	6.71	132	6.91	152	7.07	172	7.30	192	7.77
113	6.71	133	6.93	153	7.08	173	7.30	193	7.83
114	6.72	134	6.93	154	7.09	174	7.31	194	7.88
115	6.73	135	6.93	155	7.09	175	7.33	195	7.91
116	6.74	136	6.93	156	7.09	176	7.34	196	7.92
117	6.74	137	6.93	157	7.11	177	7.37	197	8.02
118	6.75	138	6.94	158	7.11	178	7.38	198	8.08
119	6.80	139	6.94	159	7.16	179	7.41	199	8.09
120	6.81	140	6.95	160	7.18	180	7.44	200	8.15

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณน้ำมันที่ประเมินด้วยเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโตรสโกปี ของประชากร HOFDMR จำนวน 200 ฝัก ในรอบการคัดเลือกที่ 2

Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)
1	4.04	21	5.16	41	5.42	61	5.56	81	5.78
2	4.47	22	5.16	42	5.43	62	5.56	82	5.78
3	4.51	23	5.17	43	5.44	63	5.57	83	5.79
4	4.59	24	5.25	44	5.44	64	5.58	84	5.80
5	4.59	25	5.26	45	5.45	65	5.61	85	5.80
6	4.59	26	5.29	46	5.47	66	5.61	86	5.81
7	4.83	27	5.29	47	5.47	67	5.63	87	5.82
8	4.84	28	5.31	48	5.49	68	5.64	88	5.82
9	4.85	29	5.33	49	5.49	69	5.65	89	5.82
10	4.89	30	5.34	50	5.50	70	5.66	90	5.83
11	4.90	31	5.34	51	5.50	71	5.66	91	5.83
12	4.91	32	5.34	52	5.51	72	5.67	92	5.84
13	4.93	33	5.35	53	5.51	73	5.70	93	5.84
14	4.96	34	5.35	54	5.52	74	5.71	94	5.84
15	5.00	35	5.36	55	5.53	75	5.72	95	5.88
16	5.01	36	5.37	56	5.53	76	5.73	96	5.89
17	5.04	37	5.37	57	5.54	77	5.75	97	5.90
18	5.07	38	5.39	58	5.54	78	5.76	98	5.93
19	5.11	39	5.40	59	5.54	79	5.77	99	5.93
20	5.15	40	5.41	60	5.55	80	5.77	100	5.94

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)	Ears	Oil content (%)
101	5.94	121	6.12	141	6.25	161	6.58	181	6.83
102	5.95	122	6.12	142	6.25	162	6.60	182	6.83
103	5.96	123	6.12	143	6.26	163	6.61	183	6.88
104	5.99	124	6.12	144	6.26	164	6.61	184	6.89
105	5.99	125	6.12	145	6.28	165	6.63	185	6.93
106	6.00	126	6.14	146	6.28	166	6.64	186	6.93
107	6.00	127	6.14	147	6.29	167	6.66	187	6.93
108	6.02	128	6.15	148	6.37	168	6.66	188	6.95
109	6.02	129	6.15	149	6.37	169	6.67	189	6.97
110	6.03	130	6.16	150	6.43	170	6.67	190	6.99
111	6.03	131	6.17	151	6.44	171	6.67	191	7.03
112	6.04	132	6.17	152	6.45	172	6.67	192	7.04
113	6.04	133	6.17	153	6.46	173	6.69	193	7.04
114	6.09	134	6.20	154	6.46	174	6.69	194	7.05
115	6.09	135	6.21	155	6.50	175	6.70	195	7.06
116	6.09	136	6.23	156	6.51	176	6.72	196	7.07
117	6.10	137	6.23	157	6.51	177	6.73	197	7.13
118	6.10	138	6.23	158	6.55	178	6.76	198	7.13
119	6.11	139	6.24	159	6.55	179	6.77	199	7.34
120	6.11	140	6.25	160	6.58	180	6.78	200	7.98

ตารางผนวกที่ 5 ลักษณะทางเกษตรโดยเฉลี่ยของประชากร HODDMR และ HOFDMR ประชากรเริ่มต้น ประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 และรอบการคัดเลือกที่ 2 กับพันธุ์เปรียบเทียบ ที่แปลงทดลอง ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ

Varieties	Days to 50%		Plant	Ear	Moisture	Shelling	1000	Lodging[1/]		Foliar
	anthesis	silking	height (cm)	height (cm)	content (%)	(%)	kernels (g)	stalk	root	dis.[1/]
HODDMR C_0	74	75	228.40	134.47	20.73	79.73	327	1	2	2.06
HODDMR C_1	76	77	233.27	130.27	21.47	80.04	357	1	2	2.00
HODDMR C_2	75	77	221.77	120.63	21.50	78.15	304	1	2	2.07
KS23 C_3	78	79	231.97	128.43	20.53	78.78	380	1	2	1.86
Alex syn. C_{23}	74	76	166.50	72.30	14.60	78.52	178	2	3	3.52
HOFDMR C_0	75	76	223.40	120.17	21.43	78.90	350	1	2	1.86
HOFDMR C_1	76	77	227.83	125.47	21.97	79.56	353	1	2	1.97
HOFDMR C_2	77	77	216.87	118.10	22.53	79.16	326	1	2	1.76
SW1 C_{12}	76	77	223.30	112.03	21.60	75.53	380	1	1	1.60
IHO C_{10}	77	77	184.23	91.00	15.40	74.97	195	2	3	3.61
SW4452	76	77	221.33	129.83	26.90	78.93	388	1	1	1.52
NK40	74	76	211.53	115.33	22.77	77.63	455	1	1	1.07

หมายเหตุ [1/] การหักล้มและโรคทางใบให้คะแนนระบบ 1-5 โดยการหักล้มและโรคทางใบน้อยที่สุด = 1 คะแนน มากที่สุด= 5 คะแนน

ตารางผนวกที่ 6 ลักษณะทางเกษตรโดยเฉลี่ยของประชากร HODDMR และ HOFDMR ประชากรเริ่มต้น ประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 และรอบการคัดเลือกที่ 2 กับพันธุ์เปรียบเทียบ ที่แปลงทดลอง สถานีวิจัยพืชไร่นครสวรรค์

Varieties	Days to 50%		Plant height (cm)	Ear height (cm)	Moisture content (%)	Shelling (%)	1000 kernels (g)	Lodging[1/]		Foliar dis.[1/]
	anthesis	silking						stalk	root	
HODDMR C_0	65	66	189.67	117.97	15.40	80.13	280	2	3	2.31
HODDMR C_1	64	65	188.67	127.47	15.67	80.28	295	2	3	2.20
HODDMR C_2	64	66	194.67	123.37	15.50	81.15	279	2	3	2.00
KS23 C_3	62	63	197.67	129.90	15.83	80.77	306	2	3	1.90
Alex syn. C_{23}	54	55	146.00	127.07	12.23	81.28	189	3	4	4.50
HOFDMR C_0	64	65	184.67	98.30	15.03	81.20	303	2	3	2.01
HOFDMR C_1	65	66	173.00	118.00	15.00	78.72	289	1	3	2.00
HOFDMR C_2	64	65	185.67	120.07	15.13	79.57	283	1	3	1.80
SW1 C_{12}	63	64	160.33	122.33	15.13	68.92	299	1	2	1.70
IHO C_{10}	53	55	153.33	108.73	13.10	73.90	183	3	2	4.20
SW4452	62	62	195.00	81.37	17.57	82.02	322	1	2	1.70
NK40	61	61	177.33	123.47	16.73	82.76	361	1	1.5	1.30

หมายเหตุ [1/] การหักล้มและโรคทางใบให้คะแนนระบบ 1-5 โดยการหักล้มและโรคทางใบน้อยที่สุด = 1 คะแนน มากที่สุด= 5 คะแนน

ตารางผนวกที่ 7 ขนาดของเมล็ด และเอ็มบริโอ เฉลี่ย ของประชากร HODDMR และ HOFDMR ประชากรเริ่มต้น ประชากรรอบการคัดเลือกที่ 1 และรอบการคัดเลือกที่ 2 กับพันธุ์เปรียบเทียบ

Vareitys	**Kernels size (cm)**			**Embyos size (cm)**	
	width	**length**	**thickness**	**width**	**length**
HODDMR C_0	0.88	1.09	0.44	0.76	0.96
HODDMR C_1	0.90	1.07	0.41	0.55	1.25
HODDMR C_2	0.87	1.09	0.41	0.56	0.96
KS23 C_3	0.92	1.09	0.44	0.51	1.20
Alex syn. C_{23}	0.76	0.90	0.39	0.66	0.84
HOFDMR C_0	0.89	1.39	0.43	0.57	0.95
HOFDMR C_1	0.90	1.07	0.43	0.57	0.95
HOFDMR C_2	0.89	1.10	0.42	0.60	0.99
SW1 C_{12}	0.90	1.06	0.43	0.54	0.90
IHO C_{10}	0.74	0.98	0.37	0.58	0.83
SW4452	0.93	1.20	0.42	0.54	1.05
NK40	0.96	1.11	0.61	0.50	1.60

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสุพัฒนา บุรีรัตน์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	3 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดกาฬสินธุ์
ประวัติการศึกษา	วทบ.(เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน (2545)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนสนับสนุนคุณภาพงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา จาก บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์