บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

ทำการทดลองที่ศูนย์วิจัยพืชไร่สงขลา ตำบลฉลุง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย เริ่มทำการทดลองตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2542 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2544

วัสดุ

1. สารเคมีกำจัดวัชพืชอะลาคลอร์
2. ปุ๋ยเคมีสูตร 15 - 15 - 15 และ 46 - 0 - 0
3. วัสดุที่ใช้ในการผสมพันธุ์ข้าวโพด ได้แก่ ถุงคลุมดอกตัวเมีย ถุงคลุมช่อดอกตัวผู้ ซองเก็บเมล็ดพันธุ์ ลวดเย็บกระดาษ และดินสอดำ
4. เมล็ดสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 1 ของประชากรข้าวโพดฝักอ่อน CM90 RM IV
5. เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนที่ใช้เป็นตัวทดสอบ SW2 (GM)2
6. เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนที่ร่วมทดสอบผลผลิต ได้แก่ พันธุ์เชียงใหม่ 90 มอ.1 และ CM90 RM IV

อุปกรณ์

1. เครื่องหยอดเมล็ดข้าวโพดด้วยมือ
2. อุปกรณ์ชั่ง ตวง วัด ได้แก่ เครื่องชั่งไฟฟ้า กระดานเกรดขนาดฝัก เทปวัดระยะและไม้บรรทัด
3. อุปกรณ์ในการบันทึกข้อมูล ได้แก่ ดินสอดำ กระดาษบันทึกข้อมูล และเครื่องคิดเลข

วิธีการ

ฤดูที่ 1 (มิถุนายน กันยายน 2542)

การสร้างสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2

ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 1 ของประชากร CM90 RM IV ที่ผ่านการคัดเลือกจากศูนย์วิจัยพืชไร่สงขลา จำนวน 300 สายพันธุ์ โดยใช้ระยะปลูกระหว่างต้น 25 เซนติเมตร ระหว่างแถว 75 เซนติเมตร จำนวน 1 ต้นต่อหลุม แถวยาว 5 เมตร ปลูก 1 สายพันธุ์ต่อแถว คัดเลือกต้นที่มีลักษณะฝักดกผสมตัวเอง ทำการเก็บเกี่ยวฝักที่ทำการผสมตัวเอง เมื่อฝักพันระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาไปแล้ว คัดเลือกฝักที่ไม่เป็นโรค และมีการเรียงตัวของเมล็ดที่ดี จำนวน 120 สายพันธุ์ กะเทาะเมล็ดแยกแต่ละสายพันธุ์เก็บไว้ เมล็ดที่ได้เรียกว่า สายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2

ฤดูที่ 2 (ตุลาคม 2542 กุมภาพันธ์ 2543)

การผสมสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 กับตัวทดสอบพันธุ์ SW2 (GM)2

ปลูกสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 ที่คัดเลือกไว้จำนวน 120 สายพันธุ์เป็นต้นแม่ และปลูกพันธุ์ SW2 (GM)2 เป็นต้นพ่อ โดยปลูกสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 จำนวน 1 สายพันธุ์ต่อแถว และปลูกจำนวน 4 สายพันธุ์ สลับกับพันธุ์ SW2 (GM)2 1 แถว ใช้ระยะระหว่างต้น 25 เซนติเมตร ระหว่างแถว 75 เซนติเมตร จำนวน 1 ต้นต่อหลุม แถวยาว 5 เมตร เมื่อต้นข้าวโพดถึงระยะออกดอก ทำการถอดช่อดอกตัวผู้ของสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 ปล่อยให้ได้รับการผสมจากละอองเกสรตัวผู้จากพันธุ์ SW2 (GM)2 ตามธรรมชาติ เก็บเกี่ยวฝักข้าวโพดเมื่อพันระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาไปแล้ว. กะเทาะเมล็ดจากแต่ละฝักรวมกัน โดยแยกเก็บแต่ละสายพันธุ์

ฤดูที่ 3 (มีนาคม พฤษภาคม 2543)

การทดสอบผลผลิตของลูกผสมท้อปครอส

ใช้แผนการทดลองแบบ 11 x 11 simple lattice จำนวน 1 ชุดการทดลอง โดยมี 121 สิ่งทดลอง คือ ลูกผสมที่ได้จำนวน 120 ลูกผสม และพันธุ์เชียงใหม่ 90 เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ ใช้ระยะปลูกระหว่างหลุม 25 เซนติเมตร ระหว่างแถว 75 เซนติเมตร จำนวน

2 ต้นต่อหลุม แถวยาว 5 เมตร จำนวน 2 แถวต่อแปลงย่อย บันทึกข้อมูลและเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งหมดในแต่ละแปลงย่อย

ฤดูที่ 4 (มิถุนายน - ตุลาคม 2543)

การสร้างพันธุ์สังเคราะห์ชั่วที่ 1

คัดเลือกสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 จากข้อมูลการทดสอบผลผลิตของลูกผสมที่เกิดจากสายพันธุ์ผสมตั่วเองชั่วที่ 2 กับตัวทดสอบ ที่ได้เรียงลำดับความดีเด่นของสายพันธุ์แล้ว จำนวน 14 สายพันธุ์ โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 ลำดับที่ 1 - 6 กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย สายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 ลำดับที่ 1 - 8 กลุ่มที่ 3 ประกอบด้วย สายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 ลำดับที่ 1 - 10 กลุ่มที่ 4 ประกอบด้วย สายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 ลำดับที่ 1 - 12 และกลุ่มที่ 5 ประกอบด้วยสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 ลำดับที่ 1 - 14 ปลูกสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 ในแต่ละกลุ่มลงในแปลงผสมพันธุ์ โดยปลูกสายพันธุ์ละ 1 แถวของแต่ละกลุ่ม เพื่อใช้เป็นแถวของต้นตัวเมียคู่กับแถวที่มีต้นของทุกสายพันธุ์ในแต่ละกลุ่ม ยกเว้น สายพันธุ์ที่ปลูกในแถวก่อนหน้านั้น เพื่อใช้เป็นแถวของต้นตัวผู้ของสายพันธุ์ดังกล่าว โดยใช้ระยะปลูกระยะระหว่างต้น 25 เซนติเมตร ระหว่างแถว 75 เซนติเมตร แถวยาว 5 เมตร จำนวน 1 ต้นต่อหลุม เมื่อถึงระยะต้นข้าวโพดออกดอกทำการผสมพันธุ์ เพื่อสร้างเมล็ดพันธุ์สังเคราะห์ชั่วที่ 1 โดยนำเกสรตัวผู้จากแถวต้นตัวผู้แต่ละแถวผสมกับแถวของต้นตัวเมียที่เป็นคู่กันในแต่ละกลุ่ม เมื่อฝักข้าวโพดที่ได้รับการผสมพันระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาไปแล้ว เก็บเกี่ยวฝักข้าวโพดจากแถวของต้นตัวเมียในแต่ละกลุ่มกะเทาะรวมกัน และตั้งชื่อพันธุ์สังเคราะห์ที่ได้สร้างขึ้นในแต่ละกลุ่มว่า SKB1-Syn1 SKB2-Syn1 SKB3-Syn1 SKB4-Syn1 และ SKB5-Syn1 ตามลำดับ

ฤดูที่ 5 (พฤศจิกายน 2543 มีนาคม 2544)

การสร้างพันธุ์สังเคราะห์ชั่วที่ 2

นำเมล็ดข้าวโพดฝักอ่อนพันธุ์สังเคราะห์ชั่วที่ 1 แต่ละพันธุ์ที่ได้จากฤดูที่ผ่านมามาปลูกพันธุ์ละ 20 แถว ใช้ระยะปลูกระหว่างต้น 25 เซนติเมตร ระหว่างแถว 75 เซนติเมตร แถวยาว 5 เมตร จำนวน 1 ต้นต่อหลุม เมื่อต้นข้าวโพดถึงระยะออกดอกทำการผสมภายในแต่ละพันธุ์ โดยแบ่งกลุ่มภายในแต่ละพันธุ์ออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 10 แถว นำเกสรตัวผู้จากกลุ่มหนึ่งผสมรวมกัน นำไปผสมกับฝักของอีกกลุ่มหนึ่ง และกระทำเช่นนี้สลับกัน

Central Library
Prince of Songkla University

ในแต่ละพันธุ์ เมื่อฝักข้าวโพดที่ได้รับการผสมพันระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาไปแล้ว เก็บเกี่ยวฝักข้าวโพดของแต่ละพันธุ์กะเทาะรวมกัน ซึ่งจะได้พันธุ์สังเคราะห์ชั่วที่ 2 จำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ SKB1-Syn2 SKB2-Syn2 SKB3-Syn2 SKB4-Syn2 และ SKB5-Syn2 ตามลำดับ

ฤดูที่ 6 (เมษายน กรกฎาคม 2544)

การเปรียบเทียบผลผลิตและลักษณะทางเกษตรกรรมของพันธุ์สังเคราะห์

เปรียบเทียบข้าวโพดฝักอ่อนพันธุ์สังเคราะห์ที่สร้างขึ้นร่วมกับพันธุ์อื่นๆ ได้แก่ ประชากร CM90 RM IV และ พันธุ์สังเคราะห์ มอ.1 โดยมีพันธุ์เชียงใหม่ 90 เป็นพันธุ์เปรียบเทียบ วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ (randomized complete block, RCB) 8 สิ่งทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ ปลูกสิ่งทดลอง 6 แถวต่อแปลงย่อย ใช้ระยะปลูกระหว่างหลุม 20 เซนติเมตร ระหว่างแถว 75 เซนติเมตร จำนวน 2 ต้นต่อหลุม แถวยาว 5 เมตร บันทึกข้อมูลและเก็บเกี่ยวผลผลิต 4 แถวกลางของแต่ละแปลงย่อย ทำการเปรียบเทียบผลผลิตที่ศูนย์วิจัยพืชไร่สงขลา

การปลูกและดูแลรักษา

ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะเตรียมดิน ยกร่องให้มีระยะระหว่างร่อง 75 เซนติเมตร แถวยาว 5 เมตร ปลูกเมล็ดบนสันร่องโดยใช้เครื่องหยอดเม็ดด้วยมือ โดยหยอดเมล็ดจำนวน 3 เมล็ดต่อหลุม ให้มีระยะห่างระหว่างหลุมตามกำหนดของแต่ละวิธีการในแต่ละฤดูปลูก พ่นสารกำจัดวัชพืชประเภทก่อนงอกอะลาคลอร์ [2-chloro-2,6-diethyl-N-(methoxymethyl) acetanilide] อัตรา 300 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อไร่ หลังปลูกขณะดินมีความชื้น เมื่อข้าวโพดอายุ 2 สัปดาห์ ถอนแยกให้มีจำนวนต้นต่อหลุมตามกำหนดของแต่ละวิธีการในแต่ละฤดูปลูก เมื่อข้าวโพดอายุ 1 เดือน ใส่ปุ๋ยแต่งหน้า (top-dressing) โดยใช้ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ แล้วพูนโคนกลบปุ๋ย

การเก็บเกี่ยวผลผลิต

เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อฝักข้าวโพดมีไหมโผล่จากเปลือกหุ้มฝักยาว 2-3 เซนติเมตร

การบันทึกข้อมูล

ทำการศึกษาและบันทึกข้อมูลลักษณะต่าง ๆ ในแต่ละแปลงย่อย ดังนี้

1. จำนวนฝักทั้งหมด คือ จำนวนฝักที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ทั้งหมด แล้วคำนวณเป็นจำนวนฝักทั้งหมดต่อไร่
2. จำนวนฝักต่อต้น คือ จำนวนฝักที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ทั้งหมดหารด้วยจำนวนต้นที่เก็บเกี่ยวทั้งหมด
3. จำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน คือ จำนวนฝักที่ปอกเปลือกแล้วมีลักษณะฝักตามมาตรฐาน คือ มีความกว้างของฝัก 1.0 – 1.5 เซนติเมตร ความยาวของฝัก 4.0 – 11.0 เซนติเมตร ฝักมีลักษณะเรียวจากโคนไปหาปลาย ไม่บิดเบี้ยว คด งอ ไม่เป็นฝักเน่าเสีย หรือมีลักษณะเป็นดอกหญ้า แล้วคำนวณเป็นจำนวนฝักที่ได้มาตรฐานต่อไร่
4. จำนวนฝักที่ได้มาตรฐานขนาดเล็ก คือ จำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน และมีความยาวของฝัก 4.0–7.0 เซนติเมตร แล้วคำนวณเป็นจำนวนฝักอ่อนที่ได้มาตรฐานขนาดเล็กต่อไร่
5. จำนวนฝักที่ได้มาตรฐานขนาดกลาง คือ จำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน และมีความยาวของฝัก มากกว่า 7.0–9.0 เซนติเมตร แล้วคำนวณเป็นจำนวนฝักที่ได้มาตรฐานขนาดกลางต่อไร่
6. จำนวนฝักที่ได้มาตรฐานขนาดใหญ่ คือ จำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน และมีความยาวของฝัก มากกว่า 9.0–11.0 เซนติเมตร แล้วคำนวณเป็นจำนวนฝักที่ได้มาตรฐานขนาดใหญ่ต่อไร่
7. น้ำหนักฝักทั้งเปลือก คือ น้ำหนักฝักทั้งเปลือกทั้งหมด มีหน่วยเป็นกรัม แล้วคำนวณเป็นกิโลกรัมต่อไร่
8. น้ำหนักฝักปอกเปลือก คือ ชั่งน้ำหนักฝักหลังปอกเปลือกแล้วทั้งหมด มีหน่วยเป็นกรัม แล้วคำนวณเป็นกิโลกรัมต่อไร่
9. น้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐาน คือ ชั่งน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานจากข้อ 3. มีหน่วยเป็นกรัม แล้วคำนวณเป็นกิโลกรัมต่อไร่

10. น้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานขนาดเล็ก คือ ชั่งน้ำหนักของฝักที่ได้มาตรฐานขนาดเล็กจากข้อ 4. มีหน่วยเป็นกรัม แล้วคำนวณเป็นกิโลกรัมต่อไร่
11. น้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานขนาดกลาง คือ ชั่งน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานขนาดกลาง จากข้อ 5. มาชั่งน้ำหนัก มีหน่วยเป็นกรัม แล้วคำนวณเป็นกิโลกรัมต่อไร่
12. น้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานขนาดใหญ่ คือ ชั่งน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานขนาดใหญ่ จากข้อ 6. มาชั่งน้ำหนัก มีหน่วยเป็นกรัม แล้วคำนวณเป็นกิโลกรัมต่อไร่
13. อายุเก็บเกี่ยว คือ นับตั้งแต่วันให้น้ำครั้งแรกจนถึงวันที่เริ่มเก็บเกี่ยว
14. ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว คือ นับตั้งแต่วันที่เริ่มเก็บเกี่ยวฝักแรก จนถึงฝักสุดท้ายในแปลงย่อย

ขั้นตอนของวิธีการพัฒนาข้าวโพดฝักอ่อนพันธุ์สังเคราะห์จากสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 ของประชากร CM90 RM IV ได้แสดงดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 ขั้นตอนในการพัฒนาข้าวโพดฝักอ่อนพันธุ์สังเคราะห์จากสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 ของประชากร CM90 RM IV ในฤดูปลูกต่าง ๆ

สร้างสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 จากสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 1 ของประชากร CM90 RM IV จำนวน 300 สายพันธุ์ — มิ.ย. - ก.ย. 42

↓

ผสมสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 กับตัวทดสอบ [SW2 (GM)2] — ต.ค. 42 - ก.พ. 43

↓

ปลูกทดสอบลูกผสมจำนวน 120 ลูกผสม เปรียบเทียบกับพันธุ์ทดสอบ คือ พันธุ์เชียงใหม่ 90 — มี.ค. - พ.ค. 43

↓

สร้างพันธุ์สังเคราะห์ชั่วที่ 1 จำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ SKB1-Syn1, SKB2-Syn1, SKB3-Syn1, SKB4-Syn1 และ SKB5-Syn1 — มิ.ย. - ต.ค. 43

↓

สร้างพันธุ์สังเคราะห์ชั่วที่ 2 จำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ SKB1-Syn2, SKB2-Syn2, SKB3-Syn2, SKB4-Syn2 และ SKB5-Syn2 — พ.ย. 43 - มี.ค. 44

↓

ทดสอบผลผลิตของพันธุ์สังเคราะห์ชั่วที่ 2 กับพันธุ์ร่วมทดสอบ ได้แก่ ประชากร CM90 RM IV พันธุ์สังเคราะห์ มอ.1 และ พันธุ์เปรียบเทียบ คือ พันธุ์เชียงใหม่ 90 — เม.ย. - ก.ค. 44

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลูกท้อปครอส

นำข้อมูลของลูกผสมและพันธุ์เปรียบเทียบมาวิเคราะห์ตามแผนการทดลองแบบ simple lattice จำนวน 1 ซ้ำ 1 ชุดการทดลอง โดยมี 121 สิ่งทดลอง ตามวิธีการของสุรพล (2529) ซึ่งมีตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ simple lattice 1 ชุดการทดลอง

Source of variation	d.f.	MS
Replications	$r-1$	
Treatments (unadj.)	k^2-1	
Blocks within rep. (adj.)	$2(k-1)$	E_b
Intrablock (error)	$(k-1)^2$	E_e
Total	$2k^2-1$	

เมื่อ r = จำนวนซ้ำ

k = จำนวนสิ่งทดลองในแต่ละบล็อก

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน

1. ถ้าความคลาดเคลื่อนระหว่างบล็อก (E_b) มีค่ามากกว่าความคลาดเคลื่อนภายในบล็อก (E_e) แสดงว่าบล็อกมีความสำคัญ ดังนั้นต้องปรับค่าสิ่งทดลอง (adjusted treatments) ตามแผนการทดลองแบบ simple lattice ส่วนการทดสอบความแตกต่างทางสถิติจะใช้ค่า effective error mean square (E'_e) ทดสอบความแปรปรวนสิ่งทดลองที่ปรับค่าแล้ว [adjusted treatment mean square] และในการวิเคราะห์ผลขั้นต่อไปจะใช้ค่าสิ่งทดลองที่ปรับแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ simple lattice 1 ชุดการทดลอง ในกรณีที่ $E_b > E_e$

Source of variation	d.f.	MS
Replications	$r-1$	
Treatments (unadj.)	k^2-1	
Blocks within rep. (adj.)	$2(k-1)$	E_b
Intrablock (error)	$(k-1)^2$	E_e
Treatments (adj.)	k^2-1	
Effective error	$(k-1)(rk-k-1)$	E'_e
Total	(k^2-1)	

เมื่อ r = จำนวนซ้ำ

k = จำนวนสิ่งทดลองในแต่ละบล็อก

โดยที่ $$\text{Treatment SS (adj.)} = \text{Treatments SS (unadj.)} - k\mu\left[\frac{2}{1+k\mu}(B_u)-(B_a)\right]$$

เมื่อ $$\mu = \frac{(E_b - E_e)}{k\left[(r-1)E_b\right]}$$

B_u = Block within groups SS

B_a = Component (b) SS

= Block within rep. (adj.) SS

E'_e = Effective error mean square

$$= E_e\left[1+\frac{2k\mu}{(k-1)}\right]$$

2. ถ้า E_b มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ E_e แสดงว่า ความคลาดเคลื่อนระหว่างบล็อกมีน้อย ดังนั้น จะวิเคราะห์ผลแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ โดยไม่ปรับค่าสิ่งทดลอง การทดสอบความแตกต่างทางสถิติจะใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่มาจาก Block within rep. SS (adj.) ร่วมกับ Intrablock SS (S_e) หารด้วย d.f. ของทั้งสองรวมกัน เพื่อทดสอบความแปรปรวนของสิ่งทดลองที่ไม่ได้ปรับค่า และในการวิเคราะห์ขั้นต่อไปจะใช้ค่าสิ่งทดลองที่ไม่ได้ปรับค่า ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ simple lattice 1 ชุดการทดลอง ในกรณีที่ $E_b \leq E_e$ วิเคราะห์ตามแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์

Source of variation	d.f.	SS	MS
Treatments (unadj.)	k^2-1	S_t	M_t
Error	$(t-1)(r-1)$	S_e	M_e

เมื่อ r = จำนวนซ้ำ

t = จำนวนสิ่งทดลอง

โดยที่ Treatments (unadj.) SS $= \frac{\sum_{i=1}^{n} T_i^2}{r} - C.F.$

เมื่อ T_i = ค่าสังเกตของสิ่งทดลองที่ i เมื่อ $i = 1, \ldots, n$

n = จำนวนสิ่งทดลองทั้งหมด

C.F. = ตัวปรับค่า (correction factors)

Error SS = Blocks within rep. SS (adj.) + Intrablock SS

การแบ่งส่วน (partition) ความแปรปรวนในลักษณะผลผลิตโดยใช้วิธี functional analysis of variance ตามวิธีการของ สุรพล (2521) ดังนี้

1. ความแปรปรวนเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์เชียงใหม่ 90 กับลูกท้อปครอส :

$$= \frac{(\text{ผลรวมของพันธุ์เชียงใหม่ 90})^2}{\text{จำนวนซ้ำ}} + \frac{(\text{ผลรวมของลูกท้อปครอส})^2}{(\text{จำนวนซ้ำ})\ (\text{จำนวนลูกท้อปครอส})} - \frac{(\text{ผลรวมของพันธุ์เชียงใหม่ 90 และลูกท้อปครอส})^2}{(\text{จำนวนซ้ำ})\ (\text{จำนวนพันธุ์ทั้งหมด})}$$

2. ความแปรปรวนเมื่อเปรียบเทียบระหว่างลูกท้อปครอส :

$$= \frac{(\text{ผลรวมของพันธุ์ที่ 1})^2 + (\text{ผลรวมของพันธุ์ที่ 2})^2 + \ldots + (\text{ผลรวมของพันธุ์ที่ 120})^2}{\text{จำนวนซ้ำ}} - \frac{(\text{ผลรวมของพันธุ์ที่ 1, 2, ..., 120})^2}{(\text{จำนวนซ้ำ})\ (\text{จำนวนพันธุ์จากตัวตั้ง})}$$

สามารถแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยสมบูรณ์ในกรณีที่ $E_b > E_e$ ดังตารางที่ 4 และในกรณีที่ $E_b \leq E_e$ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ simple lattice 1 ชุดการทดลอง ในกรณีที่ $E_b > E_e$

Source of Variation	df	MS
Replications	$r-1$	
Treatments (unadj.)	k^2-1	
Block within replication (adj.)	$r(k-1)$	E_b
Intrablock (error)	$(k-1)(rk-k-1)$	E_e
Treatments (adj.)	k^2-1	
Check vs Topcross progenies		
Among Topcross progenies		
Effective Error	$(k-1)(rk-k-1)$	E'_e
Total	rk^2-1	

เมื่อ r = จำนวนซ้ำ

k = จำนวนสิ่งทดลองในแต่ละบล็อก

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ simple lattice 1 ชุดการทดลอง ในกรณีที่ $E_b \leq E_e$

Source of Variation	d.f.	SS	MS
Replications	$r-1$		
Treatments (unadj.)	k^2-1	S_t	M_t
Check vs Topcross progenies			
Among Topcrosses			
Error	$(t-1)(r-1)$	S_e	M_e
Total	rk^2-1		

เมื่อ r = จำนวนซ้ำ

k = จำนวนสิ่งทดลองในแต่ละบล็อก

t = จำนวนสิ่งทดลอง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพันธุ์สังเคราะห์และพันธุ์เปรียบเทียบ

นำข้อมูลผลผลิตและลักษณะทางเกษตรกรรมของพันธุ์สังเคราะห์และพันธุ์เปรียบเทียบมาวิเคราะห์ตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ (สุรพล, 2536) โดยมี 14 สิ่งทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ ซึ่งมีตารางวิเคราะห์และแยกความแปรปรวน ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์

Source of Variation	df	MS
Replications (Blocks)	r-1	M_3
Treatments	t-1	M_2
Checks vs Synthetics		
Among Synthetics		
Among Checks		
Error	(r-1) (t-1)	M_1
Total	rt-1	

เมื่อ r = จำนวนซ้ำ

t = จำนวนสิ่งทดลอง

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (correlation)

นำข้อมูลลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของลูกท้อปครอสมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะ โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of correlation) เมื่อให้ X เป็นค่าตัวแปรของลักษณะที่ 1 และ Y เป็นค่าตัวแปรของลักษณะที่ 2 ในสูตร (ไพศาล. 2535)

$$r = \frac{\sum(X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \overline{X})^2 \sum(Y_i - \overline{Y})^2}}$$

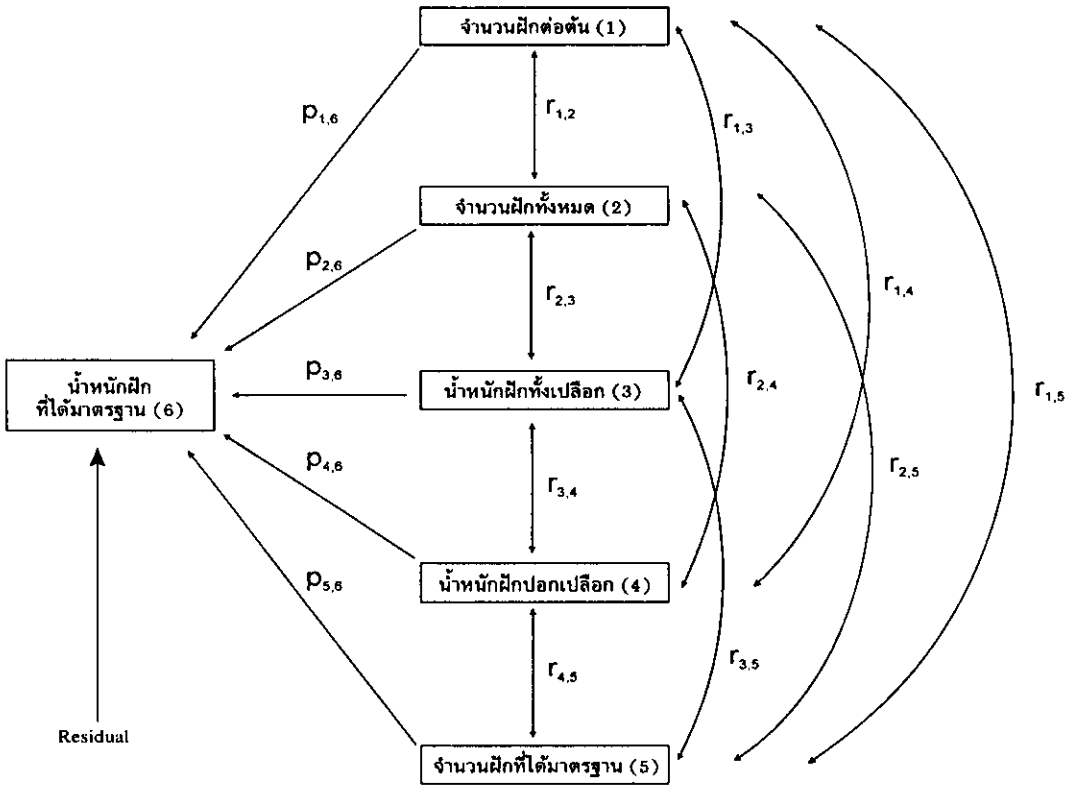
$\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ยของ X

$\overline{Y}$ = ค่าเฉลี่ยของ Y

การวิเคราะห์เส้นทาง (Path analysis หรือ Path-coefficient analysis)

ใช้วิธีการวิเคราะห์เส้นทางเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของลักษณะต่างๆ ของสิ่งทดลองแต่ละคู่ โดยใช้ข้อมูลจากการทดสอบผลผลิตของลูกท้อปครอส โดยใช้ตามวิธีการของ Li (1956) และ Singh และ Chaudhary (1979) โดยการนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาแยกเป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะทางการเกษตรที่มีความสัมพันธ์กับผลผลิต เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์เส้นทาง ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานกับจำนวนฝักต่อต้น จำนวนฝักทั้งหมด น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก และจำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน กลุ่มที่ 2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนฝักที่ได้มาตรฐานกับจำนวนฝักที่ได้มาตรฐานขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ กลุ่มที่ 3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานกับน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐานขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ โดยแต่ละกลุ่มมีข้อมูลแยกเป็นอิสระต่อกัน

1. เส้นทางความสัมพันธ์ของตัวแปรในกลุ่มที่ 1



r = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรซึ่งแทนด้วยลูกศร 2 หัว

p = ค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม แทนด้วยลูกศรหัวเดียว

ภาพที่ 2 แผนผังแสดงเส้นทางความสัมพันธ์ในกลุ่มที่ 1 ระหว่างจำนวนฝักต่อต้น จำนวนฝักทั้งหมด น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝักปอกเปลือก และจำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน กับน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐาน

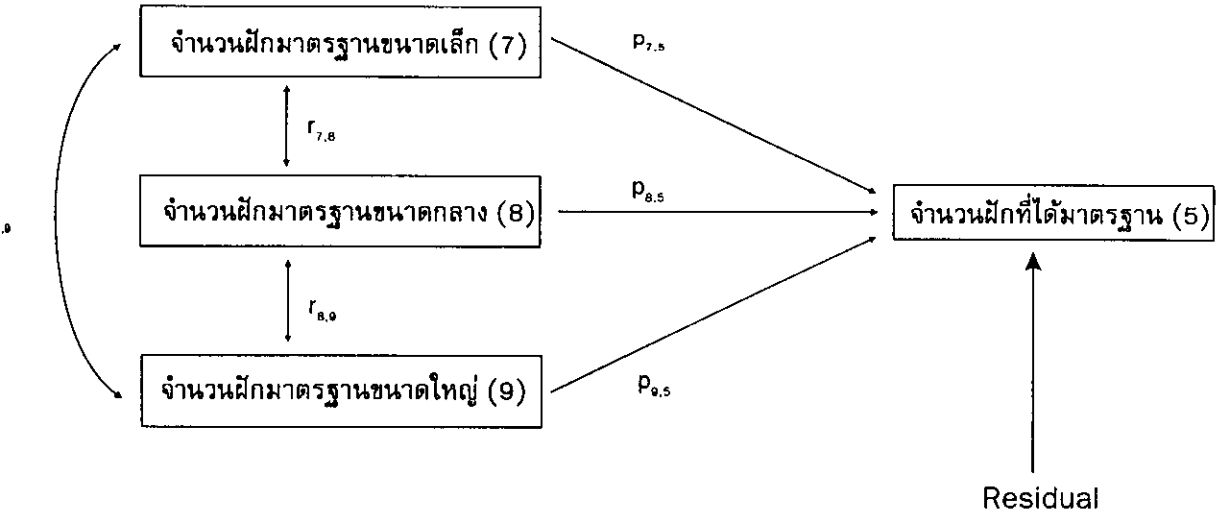
สามารถเขียนในรูปสมการปกติ (normal equation) ได้ดังนี้

$$
\begin{aligned}
p_{1,6} + r_{1,2}p_{2,6} + r_{1,3}p_{3,6} + r_{1,4}p_{4,6} + r_{1,5}p_{5,6} &= r_{1,6} \\
r_{2,1}p_{1,6} + p_{2,6} + r_{2,3}p_{3,6} + r_{2,4}p_{4,6} + r_{2,5}p_{5,6} &= r_{2,6} \\
r_{3,1}p_{1,6} + r_{3,2}p_{2,6} + p_{3,6} + r_{3,4}p_{4,6} + r_{3,5}p_{5,6} &= r_{3,6} \\
r_{4,1}p_{1,6} + r_{4,2}p_{2,6} + r_{4,3}p_{3,6} + p_{4,6} + r_{4,5}p_{5,6} &= r_{4,6} \\
r_{5,1}p_{1,6} + r_{5,2}p_{2,6} + r_{5,3}p_{3,6} + r_{5,4}p_{4,6} + p_{5,6} &= r_{5,6}
\end{aligned}
$$

หรือเขียนในรูปแมทริกซ์ได้ว่า

$$
\begin{Bmatrix}
r_{1,1} & r_{1,2} & r_{1,3} & r_{1,4} & r_{1,5} \\
r_{2,1} & r_{2,2} & r_{2,3} & r_{2,4} & r_{2,5} \\
r_{3,1} & r_{3,2} & r_{3,3} & r_{3,4} & r_{3,5} \\
r_{4,1} & r_{4,2} & r_{4,3} & r_{4,4} & r_{4,5} \\
r_{5,1} & r_{5,2} & r_{5,3} & r_{5,4} & r_{5,5}
\end{Bmatrix}
\begin{Bmatrix}
p_{1,6} \\ p_{2,6} \\ p_{3,6} \\ p_{4,6} \\ p_{5,6}
\end{Bmatrix}
=
\begin{Bmatrix}
r_{1,6} \\ r_{2,6} \\ r_{3,6} \\ r_{4,6} \\ r_{5,6}
\end{Bmatrix}
$$

2. เส้นทางความสัมพันธ์ของตัวแปรในกลุ่มที่ 2



ภาพที่ 3 แผนผังแสดงเส้นทางความสัมพันธ์ในกลุ่มที่ 2 ระหว่างจำนวนฝักขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ กับจำนวนฝักที่ได้มาตรฐาน

สามารถเขียนในรูปสมการปกติ (normal equation) ได้ดังนี้

$$p_{7,5} + r_{7,8}p_{8,5} + r_{7,9}p_{9,5} = r_{7,5}$$

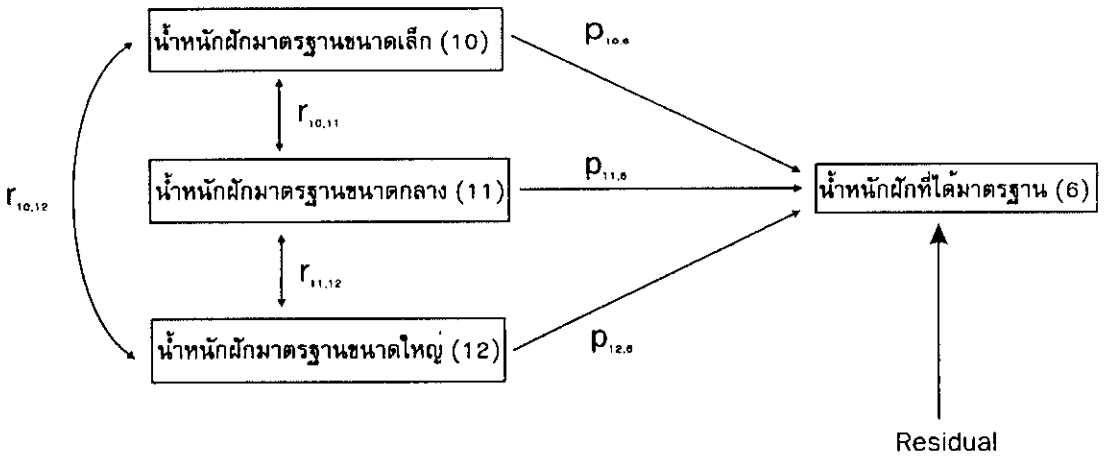
$$r_{8,7}p_{7,5} + p_{8,5} + r_{8,9}p_{9,5} = r_{8,5}$$

$$r_{9,7}p_{7,5} + r_{9,8}p_{8,5} + p_{9,5} = r_{9,5}$$

หรือเขียนในรูปแมทริกซ์ได้ว่า

$$\begin{pmatrix} r_{7,7} & r_{7,8} & r_{7,9} \\ r_{8,7} & r_{8,8} & r_{8,9} \\ r_{9,7} & r_{9,8} & r_{9,9} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_{7,5} \\ p_{8,5} \\ p_{9,5} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{7,5} \\ r_{8,5} \\ r_{9,5} \end{pmatrix}$$

3. เส้นทางความสัมพันธ์ของตัวแปรในกลุ่มที่ 3



ภาพที่ 4 แผนผังแสดงเส้นทางความสัมพันธ์ในกลุ่มที่ 3 ระหว่างน้ำหนักฝักขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ กับน้ำหนักฝักที่ได้มาตรฐาน

สามารถเขียนในรูปสมการปกติ (normal equation) ได้ดังนี้

$$p_{10,6} + r_{10,11}p_{11,6} + r_{10,12}p_{12,6} = r_{10,6}$$

$$r_{11,10}p_{11,6} + p_{11,6} + r_{11,12}p_{12,6} = r_{11,6}$$

$$r_{12,10}p_{12,6} + r_{12,11}p_{11,6} + p_{12,6} = r_{12,6}$$

หรือเขียนในรูปแมทริกซ์ได้ว่า

$$\begin{pmatrix} r_{10,10} & r_{10,11} & r_{10,12} \\ r_{11,10} & r_{11,11} & r_{11,12} \\ r_{12,10} & r_{12,11} & r_{12,12} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_{10,6} \\ p_{11,6} \\ p_{12,6} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{10,6} \\ r_{11,6} \\ r_{12,6} \end{pmatrix}$$

โดยที่ (1) r คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

$r_{1,2}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง X_1 และ X_2

$r_{1,3}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง X_1 และ X_3

.....

.....

$r_{12,11}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง X_{12} และ X_{11} เป็นต้น

(2) $r_{1,1} = r_{2,2} = r_{3,3} = r_{4,4} = r_{5,5} = 1.0$

$r_{7,7} = r_{8,8} = r_{9,9} = 1.0$

$r_{10,10} = r_{11,11} = r_{12,12} = 1.0$

(3) p คือ ค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง

หรือใช้สัญลักษณ์แทนแมทริกซ์ทั้งสามว่า

$$R \cdot P = M$$

หรือ $$P = R_{xx}^{-1} \cdot R_{xy}$$

โดยที่ R_{xx} เป็นเมทริกซ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (x)

R_{xy} เป็นเวกเตอร์ (vector) ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (x) กับตัวแปรตาม (y)

R_{xx}^{-1} เป็นอินเวอร์สเมทริกซ์ (inverse matrix) ของ R_{xx}

อิทธิพลทางอ้อมของตัวแปรอิสระแต่ละตัว (x_i) ที่มีต่อตัวแปรตาม (y) โดยผ่านทางตัวแปรอีกตัวหนึ่ง (x_j) เป็นผลคูณระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r_{ij}) x_i กับ x_j กับค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางตัวที่ j^{th} หรือเขียนสมการอย่างย่อว่า

อิทธิพลทางอ้อมของ x_i ต่อ y ผ่านทาง $x_j = p_j \cdot r_{ij}$

เช่น อิทธิพลของ x_1 ต่อ y ผ่านทาง $x_2 = p_2 \cdot r_{1,2}$ และ

อิทธิพลของ x_1 ต่อ y ผ่านทาง $x_3 = p_3 \cdot r_{1,3}$ เป็นต้น

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ หรือ Coefficient of determination (R^2) สามารถหาค่าได้จากสมการ

$$R^2 = R_{xy} \cdot P$$

เมื่อ R_{xy} คือ เมทริกซ์ย้ายรูป (transpose) ของ R_{xy}