ISBN 978-974-436-998-7

กรมวิชาการเกษตร

เอกสารประกอบคำบรรยาย
การฝึกอบรมสถิติหลักสูตร

การใช้สถิติกับงานวิจัยเกษตร

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์ทางสถิติงานวิจัยเกษตร
กองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตร

เล่ม 2

คำนำ

เอกสารนี้เป็นการรวบรวมเนื้อหาวิชาสถิติที่ใช้ในงานวิจัยทางด้านการเกษตร โดยแบ่งออกเป็น 2 เล่ม เล่มที่ 1 ประกอบด้วย หลักวิชาการสถิติ การวางแผนงานทดลองแบบต่าง ๆ สหสัมพันธ์และรีเกรสชัน ส่วนเล่มที่ 2 ประกอบด้วย ข้อมูลที่มีปัญหา เทคนิคทางสถิติในการปฏิบัติงานทดลอง การสุ่มเก็บตัวอย่างและการบันทึกข้อมูล การวิเคราะห์รวมและการนำเสนอผลงานทดลองแบบต่าง ๆ

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์ทางสถิติงานวิจัยเกษตร หวังว่าเอกสารเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ในการปฏิบัติงานวิจัยของท่าน

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์ทางสถิติงานวิจัยเกษตร
กองแผนงานและวิชาการ
กรมวิชาการเกษตร
2568

กรมวิชาการเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

สารบัญ

	หน้า
6. ข้อมูลที่มีปัญหา	**145**
ข้อมูลสูญหาย	145
สาเหตุที่มีข้อมูลสูญหาย	145
การประมาณค่าข้อมูลสูญหาย	146
การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Covariance	166
ข้อมูลเสียหาย	172
ข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดการใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน	172
ข้อกำหนดการใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน	172
ข้อมูลที่มักจะไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดการใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน	174
การวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดการใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน	175
การแปลงข้อมูล	175
7. การใช้เทคนิคทางสถิติในการดำเนินงานทดลอง	**191**
ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	191
การวัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน	193
การทำแผนภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน	193
การจัดระยะปลูกในแปลงย่อย	197
การเลือกใช้จำนวนต้นต่อหน่วยทดลอง	197
การแบ่งบล็อค	198
ประโยชน์จากการมีบล็อค	199
รูปร่างและประสิทธิภาพของบล็อค	200
ความสัมพันธ์ขนาดของ Plot size กับชนิดของงานทดลอง	201
ซ้ำ	201
การแก่งแย่งระหว่างพืช	202
การควบคุมอิทธิพลของการแก่งแย่ง	204
ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของงานทดลอง	218
เทคนิคในการดำเนินงานทดลองเกี่ยวกับแมลง	219

กรมวิชาการเกษตร

8. เทคนิคการเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูล **223**
หลักสำคัญในการเก็บตัวอย่าง 223
การเก็บข้อมูลผลผลิต 239
การเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาคุณภาพของเมล็ด 246
การเก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตของข้าว 247
การเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูลแปลงทดลองที่เสียหาย 250
การบันทึกข้อมูลงานทดลอง 254
การบันทึกข้อมูลข้างเคียง 255
9. การวิเคราะห์รวม **256**
การวิเคราะห์รวมหลายฤดูกาล 257
การวิเคราะห์รวมหลายปี 264
การวิเคราะห์รวมหลายสถานที่ 268
การวิเคราะห์รวมหลายการทดลอง 284
10. การนำเสนอผลการทดลอง **290**
คำแนะนำสำหรับผู้เขียน 290
การนำเสนอผลการทดลองเป็นตาราง 291
การนำเสนอผลเป็นรูปกราฟ 294
การนำเสนอในแบบรูปภาพ 297

กรมวิชาการเกษตร

ข้อมูลที่มีปัญหา

ในการปฏิบัติงานทดลองทางด้านเกษตร บางครั้งนักวิจัยพบว่า ข้อมูลงานทดลองที่เก็บตัวอย่างมาเพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) นั้นมีปัญหาและที่พบกันทั่วไปคือ

1. ข้อมูลสูญหาย (missing data)
2. ข้อมูลเสียหาย
3. ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของการใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (data that violate some assumptions of the analysis of variance)

เพื่อให้ได้ผลสรุปที่ถูกต้องก่อนการวิเคราะห์ข้อมูลควรจะได้มีการตรวจสอบและหาทางแก้ไขดังนี้

1. ข้อมูลสูญหาย หมายถึง ไม่มีข้อมูลผลการทดลองจากบางหน่วยทดลอง (experimental unit) หรือบางแปลงย่อย (plot) ด้วยสาเหตุต่าง ๆ กัน ก่อนการวิเคราะห์ข้อมูลจำเป็นจะต้องคำนวณข้อมูลสูญหายตามวิธีการของแต่ละแบบแผนการทดลอง นอกจากนี้ค่าสถิติที่ใช้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ที่มีข้อมูลสูญหายกับทรีตเมนต์ที่มีข้อมูลครบทุกซ้ำจะต่างไปจากเปรียบเทียบตามปกติด้วย

1.1 สาเหตุที่มีข้อมูลสูญหาย

1.1.1 ทรีตเมนต์ที่ไม่ถูกต้อง คือใส่ทรีตเมนต์ที่ผิดจากที่วางแผนไว้ เช่น งานทดลองเกี่ยวกับการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชในสับปะรด ทดลอง 4 ซ้ำ ปรากฏว่าในทรีตเมนต์ที่ 3 ซ้ำที่ 4 ใส่สารเคมีผิดอัตรา ดังนั้นจึงถือว่า ตัวเลขของทรีตเมนต์ที่ 3 ซ้ำที่ 4 เป็นข้อมูลสูญหาย ถ้าเป็นการศึกษาปัจจัยเดียว แต่ถ้าการปฏิบัติงานทดลองนั้นผิดเหมือนกันทั้ง 4 ซ้ำ อาจแก้ไขโดยตัดทรีตเมนต์นั้นจากการทดลอง หรือใช้ข้อมูลนั้นได้โดยเปลี่ยนจุดประสงค์หรือความมุ่งหมายของการทดลองให้เหมาะสมกับทรีตเมนต์ที่มีการเปลี่ยนแปลงนั้น

1.1.2 ต้นพืชในแปลงทดลองถูกทำลาย ในการปฏิบัติงานทดลอง นักวิจัยพยายามควบคุมให้มีจำนวนต้น/หลุม/กอ ครบทุกแปลง แต่บางครั้งการปฏิบัติงานทดลองในไร่นาก็อาจมีเหตุสุดวิสัยที่จะป้องกันได้ ทำให้ต้นพืชถูกทำลาย ข้อมูลของแปลงย่อยนั้นจึงได้จำนวนต้น/หลุม/กอ ตัวอย่างไม่ครบตามที่วางแผนไว้ แต่จะถือว่าตัวเลขของแปลงย่อยได้สูญหาย ให้พิจารณาถึงสาเหตุและจำนวนพืชที่ถูกทำลาย ดังนี้

- การเสียหายนั้นไม่ได้มีความสัมพันธ์กับทรีตเมนต์ที่ศึกษา เช่น ความเสียหายเนื่องจากถูก นก หนู หรือสัตว์เลี้ยงทำลายในแปลงทดลองเปรียบเทียบพันธุ์พืช แต่ถ้าแปลงทดลองนี้ถูกทำลายโดย โรค แมลง จะต้องพิจารณาถึงจุดประสงค์ของงานทดลอง ถ้าต้องการทราบความสามารถในการให้ผลผลิตของแต่ละพันธุ์ ในสภาพที่ไม่มีการทำลายของโรค แมลง ก็ถือว่าเป็นต้น/กอ/หลุม ที่เสียหาย แต่ถ้าต้องการคัดเลือกพันธุ์ที่มีลักษณะดี สามารถต้านทานหรือทนทานต่อการทำลายของโรคแมลงที่เกิดขึ้นนั้นได้ก็จะถือว่าความเสียหายนี้มีความสัมพันธ์กับพันธุ์พืชที่ศึกษา ดังนั้นจะไม่ถือว่าเป็นต้น/กอ/หลุม ที่สูญหาย ในกรณีที่ประเมินผลผลิตถ้าไม่สามารถเก็บเกี่ยวได้ให้ถือว่าเท่ากับ 0 หรือถ้าเก็บเกี่ยวได้เท่าใดก็ใช้ข้อมูลนั้นได้เลย

ภาควิชากีฏวิทยา

- จำนวนต้น/กอ/หลุม ที่พิจารณาว่าเป็น ต้น/กอ/หลุม ที่สูญหายดังกล่าวข้างต้นที่มีจำนวนมากกว่าร้อยละ 20 ของจำนวนที่จะเก็บข้อมูลเพื่อประเมินผลผลิตทั้งหมด เช่น ในการเก็บข้อมูลผลผลิตถั่วลิสง ซึ่งมีระยะปลูก 50 x 10 เซนติเมตร พื้นที่ที่เก็บตัวอย่าง 2 x 4 เมตร เท่ากับ 160 ต้น แปลงย่อยใดที่มีจำนวนต้นสูญหายมากกว่า 32 ต้น ให้ตัดสินว่าตัวเลขของแปลงย่อยนั้น เป็นข้อมูลสูญหาย

1.1.3 ตัวอย่างหาย ลักษณะที่ศึกษาบางอย่างไม่สามารถวัดได้ทันทีที่เก็บตัวอย่าง เช่น ผลผลิตต้องตากแดด 2 – 3 แดด นวด ฝัด แล้วจึงชั่งน้ำหนักได้หรือนำเมล็ดไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีหรือฟิสิกส์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งในระหว่างดำเนินการถ้าไม่ระวังให้ดีก็อาจมีตัวอย่างหายไปได้

1.1.4 ข้อมูลไม่สมเหตุสมผล ถ้าพบว่าข้อมูลของแปลงย่อยใดมีค่าสูงหรือต่ำกว่าที่ควรจะเป็นมาก โดยผู้ปฏิบัติการทดลองไม่สามารถอธิบายได้ ถ้าสันนิษฐานว่าเป็นเพราะเทคนิคการเก็บตัวอย่างไม่เหมาะสม หรือเกิดจากความคลาดเคลื่อนในการวัด ให้ถือว่าตัวอย่างนั้นเป็นข้อมูลสูญหาย ฉะนั้นนักวิจัยจะต้องตรวจสอบข้อมูลทันทีที่วัดเสร็จ ถ้าพบว่ามีข้อมูลใดผิดปกติให้วัดใหม่ทันที

1.1.5 พืชพันธุ์อื่นปน คือมีต้นพืชหรือพันธุ์พืชอื่นขึ้นปะปนอยู่ เช่นอาจมีเมล็ดพันธุ์พืชที่ปลูกในฤดูกาลก่อนตกค้างอยู่หรือใช้เมล็ดพันธุ์ไม่บริสุทธิ์ ให้ถือว่าพืช ต้น/กอ/หลุม ที่ไม่ใช่พันธุ์ที่จะศึกษา เป็น ต้น/กอ/หลุม ที่สูญหาย

1.2 การประมาณค่าข้อมูลสูญหาย การใช้แบบแผนการทดลอง Completely Randomized Design (CRD) ไม่ต้องคำนวณค่ามาทดแทนข้อมูลที่สูญหาย เพราะแบบแผนการทดลองนี้ สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้โดยที่จำนวนซ้ำของทรีตเมนต์ไม่เท่ากันได้ แต่แผนการทดลองแบบอื่น ๆ จะต้องมีค่าสังเกตครบทุกซ้ำ ฉะนั้นจึงต้องประมาณค่าแทนข้อมูลสูญหายก่อนการวิเคราะห์ผล ซึ่งจะยกตัวอย่างเฉพาะการทดลองที่วางแผนแบบ RCB, LT และ Split Plot ดังนี้

1.2.1 Randomized Complete Block Design

1.2.1.1 คำนวณข้อมูลสูญหาย 1 ค่า โดยใช้สูตร

$$X_{ij} = \frac{rB_0 + tT_0 - G_0}{(r-1)(t-1)}$$

X_{ij} = ค่าประมาณของค่าสังเกตที่สูญหาย

t = จำนวนทรีตเมนต์

r = จำนวนซ้ำ

B_0 = ผลรวมของซ้ำที่มีค่าสังเกตสูญหาย

T_0 = ผลรวมของทรีตเมนต์ที่มีค่าสังเกตสูญหาย

G_0 = ผลรวมทั้งหมด

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 1 ข้อมูลจากการทดลอง RCB มีข้อมูลสูญหาย 1 ค่าสังเกต

ทรีตเมนต์	อัตราปุ๋ย 15 – 15– 15 (กก./ไร่)	น้ำหนักเส้นใยปอแก้วแห้ง (กก./ไร่)				ทรีตเมนต์ – รวม
		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	
1	0	1/	171	173	110	454
2	10	127	195	167	144	633
3	20	95	183	233	234	745
4	30	210	193	251	199	853
5	40	182	224	225	249	880
6	50	214	167	233	270	884
7	60	258	289	242	224	1,013
	ซ้ำ–รวม	1,086	1,422	1,524	1,430	
	ผลรวมทั้งหมด					**5,462**

1/ ข้อมูลสูญหาย

คำนวณค่าข้อมูลสูญหาย จากข้อมูลในตารางที่ 1

$$X_{11} = \frac{4(1,086) + 7(454) - 5,462}{(4-1)(7-1)}$$

$$= 114.44$$

ตารางที่ 2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนที่วางแผนแบบ RCB ประมาณค่าสูญหาย 1 ค่า

SOV	DF	SS	MS	F
Replication	3	8,088	2,696	
Treatment	6	36,572	6,095	4.48**
Error	17 1/	23,099	1,359	
Total	26 1/	67,759		

1/ ประมาณค่าข้อมูลสูญหาย 1 ค่า

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 3 ผลผลิตเส้นใยปอแก้วแห้ง (กก./ไร่) ประมาณค่าข้อมูลสูญหาย 1 ค่า

อัตราปุ๋ย 15 – 15 – 15 (กก./ไร่)	เฉลี่ยจาก 4 ซ้ำ	เปรียบเทียบกับทรีตเมนต์ที่ 1[2/]	DMRT[3/]
0	151[1/]	–	c
10	158	7[ns]	c
20	186	35[ns]	bc
30	213	62*	abc
40	220	69*	ab
50	221	70*	ab
60	253	102**	a

[1/] เฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ [2/] เปรียบเทียบโดยใช้ LSD

[3/] ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน ไม่ต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ค่าสถิติที่เปลี่ยนแปลงไปจากการทดลองที่มีข้อมูลครบทุกซ้ำดังนี้

(1) df ของ Total = $(rt - 1) - m$

r = จำนวนซ้ำ

t = จำนวนทรีตเมนต์

m = จำนวนค่าสังเกตที่สูญหาย

จากตารางที่ 2 df ของ Total = $((4)(7) - 1) - 1$ = 26

(2) df ของ Error = $((r - 1)(t - 1)) - m$

จากตารางที่ 2 df ของ Error = $((4 - 1)(7 - 1)) - 1$ = 17

(3) C.V. (%) = $\frac{\sqrt{S^2}}{\text{ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตที่วัดได้}} \times 100$

จากตารางที่ 1 และ 2 C.V. (%) = $\frac{\sqrt{1,359}}{5,462/27} \times 100$ = 18.2

(4) ค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ที่มีข้อมูลสูญหาย

จากตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ที่ 1 = $\frac{171 + 173 + 110}{3}$ = 151

(5) ค่า Standard error of the mean difference, $S_{\bar{d}}$ ใช้คำนวณค่า LSD เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ที่มีค่าสังเกตสูญหาย 1 ค่า กับทรีตเมนต์ที่มีค่าสังเกตครบทุกซ้ำ

กรมวิชาการเกษตร

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{S^2\left[\frac{2}{r} + \frac{t}{r(r-1)(t-1)}\right]}$$

จากตารางที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ที่ 1 กับทรีตเมนต์อื่น ๆ

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{1,359\left[\frac{2}{4} + \frac{7}{4(4-1)(7-1)}\right]}$$

$$= 28.4890$$

จากสูตร LSD $= (t_{\alpha})(S_{\bar{d}})$

ที่ df = 17, $t_{.05} = 2.1098$

$t_{.01} = 2.8982$

$\therefore$ $LSD_{.05} = 2.1098 \times 28.4890 = 60$

$LSD_{.01} = 2.8982 \times 28.4890 = 83$

(6) ค่า Standard error of treatment mean, $S_{\bar{X}}$ เพื่อคำนวณค่า DMRT เปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ที่มีข้อมูลสูญหาย 1 ค่า กับทรีตเมนต์อื่น ๆ

$$S_{\bar{X}} = S_{\bar{d}} \Big/ \sqrt{2}$$

$$= \sqrt{S^2\left[\frac{2}{r} + \frac{t}{r(r-1)(t-1)}\right]} \Big/ \sqrt{2}$$

1.2.1.2 คำนวณข้อมูลสูญหาย 2 ค่าหรือมากกว่า โดยใช้สูตร ดังตัวอย่างในตารางที่ 4 มีค่าสังเกตสูญหาย 2 ค่า

ตารางที่ 4 ข้อมูลจากการทดลองแบบ RCB มีค่าสังเกตสูญหาย 2 ค่า

ทรีตเมนต์	น้ำหนักเส้นใยปอแก้วแห้ง (กก./ไร่)				ทรีตเมนต์ – รวม
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	
1	[1/]	171	173	110	454
2	127	195	167	144	633
3	95	183	233	234	745
4	210	193	251	[2/]	654
5	182	224	225	249	880
6	214	167	233	270	884
7	258	289	242	224	1,013
ซ้ำ – รวม	1,086	1,422	1,524	1,231	
ผลรวมทั้งหมด					**5,263**

[1/] ค่าสังเกตสูญหาย ทรีตเมนต์ที่ 1 ซ้ำที่ 1, X_{11}

[2/] ค่าสังเกตสูญหาย ทรีตเมนต์ที่ 4 ซ้ำที่ 4, X_{44}

กรมวิชาการเกษตร

ขั้นตอนการประมาณข้อมูลสูญหาย 2 ค่า

<u>รอบที่ 1</u>

1) ประมาณตัวเลขมาทดแทนค่าสังเกตที่สูญหายเป็นการชั่วคราว โดยให้เหลือค่าสังเกตที่สูญหายไว้เพียงค่าเดียว เช่นในตารางที่ 4 คำนวณค่าสังเกตสูญหายเริ่มต้นของค่าที่ 1 ซึ่งหาได้หลายวิธี เช่น

- ใช้ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตที่วัดได้

$$\overline{X} = \frac{5,263}{26} = 202$$

- คำนวณจากสูตร

$$\overline{X}_{ij} = \frac{\overline{t}_i + \overline{b}_j}{2}$$

$\overline{X}_{ij}$ = ค่าเริ่มต้นของทรีตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j

$\overline{t}_i$ = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมดของทรีตเมนต์ที่ i

$\overline{b}_j$ = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมดของซ้ำที่ j

จากตารางที่ 4 ค่าเริ่มต้นของทรีตเมนต์ที่ 1 ซ้ำที่ 1, $\overline{X}_{11}$

$$\overline{t}_i = \overline{t}_1 = \frac{171 + 173 + 110}{3} = 151$$

$$\overline{b}_j = \overline{b}_1 = \frac{127 + 95 + 210 + 182 + 214 + 258}{6} = 181$$

$$\therefore \quad \overline{X}_{11} = \frac{151 + 181}{2} = 166$$

2) คำนวณข้อมูลสูญหาย ค่าที่ 2, X_{44} จากสูตรที่ใช้คำนวณข้อมูลสูญหาย 1 ค่า (1.2.1.1) ดังนี้

จากตารางที่ 4 $X_{44} = \frac{4(1,231) + 7(654) - (5,263 + 166)}{(4 - 1)(7 - 1)} = 226$

<u>รอบที่ 2</u>

1) แทนค่า $X_{44} = 226$ แล้ว คำนวณค่า X_{11}

$$X_{11} = \frac{4(1,086) + 7(454) - (5,263 + 226)}{(4 - 1)(7 - 1)}$$

$$= 113$$

2) แทนค่า $X_{11} = 113$ คำนวณ X_{44}

$$X_{44} = \frac{4(1,231) + 7(654) - (5,263 + 113)}{(4 - 1)(7 - 1)}$$

$$= 229$$

กรมวิชาการเกษตร

<u>รอบที่ 3</u>

1) แทนค่า X_{44} = 229 คำนวณค่า X_{11}

$$X_{11} = \frac{4(1,086) + 7(454) - (5,263 + 229)}{(4-1)(7-1)}$$

$$= 113$$

2) ค่า X_{11} ในขั้นที่ 5) เท่ากับขั้นที่ 3) แสดงว่าครบวงจรแล้ว นั่นคือ

ค่าประมาณของ X_{11} = 113

X_{44} = 229

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล ได้ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนที่วางแผนแบบ RCB ประมาณค่าสูญหาย 2 ค่า

SOV	DF	SS	MS	F
Replication	3	8,551	2,850	
Treatment	6	37,728	6,288	4.46**
Error	16[1/]	22,513	1,407	
Total	25[1/]	68,792		

[1/] คำนวณข้อมูลสูญหาย 2 ค่า

$$\text{C.V. (\%)} = \frac{\sqrt{1,407}}{5,263/26} \times 100$$

$$= 18.5$$

การคำนวณค่า LSD เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์ที่มีค่าสังเกตสูญหาย หรือระหว่างทรีตเมนต์ที่มีค่าสังเกตสูญหายกับทรีตเมนต์ที่มีค่าสังเกตครบทุกซ้ำนั้น ค่า $S_{\bar{d}}$ จะต่างกัน

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{S^2\left(\frac{1}{r'_A} + \frac{1}{r'_B}\right)}$$

r'_A และ r'_B = จำนวนซ้ำอย่างแท้จริงของทรีตเมนต์ A และ B (effective numbers of replications)

ใน r'_A ซ้ำที่มีข้อมูลทั้ง A และ B มีค่า = 1

ซ้ำที่มีข้อมูล A แต่ไม่มี B มีค่า = $\frac{1}{2}$

ซ้ำที่ไม่มีข้อมูล A มีค่า = 0

ในทำนองเดียวกัน

r'_B ซ้ำที่มีข้อมูลทั้ง A และ B มีค่า = 1

ซ้ำที่ไม่มีข้อมูล A แต่มีข้อมูล B มีค่า = $\frac{1}{2}$

ซ้ำที่ไม่มีข้อมูล B มีค่า = 0

กรมวิชาการเกษตร

จากตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์ที่ 1 และ 4

$$r_1' = 0 + 1 + 1 + \frac{1}{2} = 2.5$$

$$r_4' = \frac{1}{2} + 1 + 1 + 0 = 2.5$$

จากตารางที่ 5 $S_{\bar{d}} = \sqrt{1,407\left(\frac{1}{2.5} + \frac{1}{2.5}\right)} = 33.55$

จากตารางที่ 4 เปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ 1 และ 2

$$r_1' = 0 + 1 + 1 + 1 = 3$$

$$r_2' = \frac{1}{2} + 1 + 1 + 1 = 3.5$$

จากตารางที่ 5 $S_{\bar{d}} = \sqrt{1,407\left(\frac{1}{3} + \frac{1}{3.5}\right)} = 29.51$

1.2.1.3 คำนวณข้อมูลสูญหาย 1 ค่าโดยใช้วิธีการของ Covariance Analysis

ตารางที่ 6 ข้อมูลจากการทดลอง RCB คำนวณข้อมูลสูญหาย 1 ค่าโดยใช้ Covariance Analysis

ทรีตเมนต์	ซ้ำ 1		ซ้ำ 2		ซ้ำ 3		ซ้ำ 4		ทรีตเมนต์ – รวม	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	1	0[1/]	0	171	0	173	0	110	1	454
2	0	127	0	195	0	167	0	144	0	633
3	0	95	0	183	0	233	0	234	0	745
4	0	210	0	193	0	251	0	199	0	853
5	0	182	0	224	0	225	0	249	0	880
6	0	214	0	167	0	233	0	270	0	884
7	0	258	0	289	0	242	0	224	0	1,013
ซ้ำ – รวม	1	1,086	0	1,422	0	1,524	0	1,430	1	
ผลรวมทั้งหมด										**5,462**

[1/] ข้อมูลสูญหาย ทรีตเมนต์ที่ 1 ซ้ำที่ 1

ขั้นตอนการคำนวณ

1) ให้ Y เป็นค่าสังเกต และ X เป็นค่า covariate

ค่าสังเกตที่สูญหาย ให้ Y = 0 และ X = 1

ค่าสังเกตที่มีข้อมูล X = 0

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 7 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน Covariance เพื่อประเมินค่าข้อมูลสูญหาย 1 ค่า

SOV	DF	Sum of Cross Products			Y Adjusted for X			
		XX	XY	YY	DF	SS	MS	F
Total	27	0.96	–195.07	99,704				
Replication	3	0.11	–39.93	15,799				
Treatment	6	0.21	–81.57	52,386				
Error	18	0.64	–73.57	31,519	17	23,099	1,359	
Treatment + Error	24	0.85	–155.14	83,905	23	55,824		
Treatment adjusted					6	32,725	5,454	4.01

2) จากตารางที่ 7 คำนวณค่า SS ของตัวผันแปร X

Total SS = $1 - \frac{1}{rt}$

r = จำนวนซ้ำ = 4

t = จำนวนทรีตเมนต์ = 7

Total SS = $1 - \frac{1}{(4)(7)}$ = 0.96

Replication SS = $\frac{1}{t} - \frac{1}{rt}$ = $\frac{1}{7} - \frac{1}{(4)(7)}$ = 0.11

Treatment SS = $\frac{1}{r} - \frac{1}{rt}$ = $\frac{1}{4} - \frac{1}{(4)(7)}$ = 0.21

Error = Total SS – Replication SS – Treatment SS

= 0.96 – 0.11 – 0.21 = 0.64

3) คำนวณค่าผลรวมของ XY

CF = $\frac{G_Y}{(r)(t)}$

G_Y = ผลรวมของ Y

CF = $\frac{5,462}{(4)(7)}$ = 195.07

Total SCP = 0 – (CF) = –195.07

Replication SCP = $\frac{B_Y}{t}$ – CF

B_Y = ผลรวมซ้ำของค่า Y ในซ้ำที่มีค่าสังเกตสูญหาย

กรมวิชาการเกษตร

Replication SCP = $\frac{1,086}{7}$ – 195.07 = –39.93

∴ Treatment SCP = $\frac{T_Y}{r}$ – CF

T_Y = ผลรวมทรีตเมนต์ของค่า Y ในทรีตเมนต์ที่มีค่าสังเกตสูญหาย

Treatment SCP = $\frac{454}{4}$ – 195.07 = –81.57

Error SCP = Total SCP – Replication SCP – Treatment SCP

= –195.07 – (–39.93) – (–81.57) = –73.57

4) ประมาณค่าข้อมูลสูญหาย = $-b_{y.x}$ = $\frac{-\text{Error SCP}}{\text{Error SS of X}}$

= $\frac{-(-73.57)}{0.64}$ = 114.95

1.2.1.4 คำนวณข้อมูลสูญหาย 2 ค่าหรือมากกว่าโดยใช้วิธี Covariance Analysis นั้น ทุกค่าข้อมูลสูญหายจะต้องใช้ตัวแปรอิสระ 1 ค่า ฉะนั้นถ้ามีตัวเลขที่จะประมาณค่าสูญหาย 2 ค่า ก็จะต้องมีข้อมูลลักษณะต่าง ๆ จำนวน 2 ชุด คือมี X_1, X_2 และ Y (ตารางที่ 8) แล้วคำนวณ multiple covariance แล้วจึงใช้ค่า b เพื่อประมาณค่าข้อมูลสูญหายต่อไป จากตารางที่ 4 มีค่าสังเกตสูญหาย 2 ค่า คือ

- ทรีตเมนต์ที่ 1 ซ้ำที่ 1 ให้ X_1 เป็นค่า covariate
- ทรีตเมนต์ที่ 4 ซ้ำที่ 4 ให้ X_2 เป็นค่า covariate

ตารางที่ 8 ข้อมูลจากการทดลอง RCB, คำนวณข้อมูลสูญหาย 2 ค่าโดยใช้ Covariance Analysis

ทรีตเมนต์	ซ้ำ 1			ซ้ำ 2			ซ้ำ 3			ซ้ำ 4		
	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y	X_1	X_2	Y
1	1	0	0	0	0	171	0	0	173	0	0	110
2	0	0	127	0	0	195	0	0	167	0	0	144
3	0	0	95	0	0	183	0	0	233	0	0	234
4	0	0	210	0	0	193	0	0	251	0	1	0
5	0	0	182	0	0	224	0	0	225	0	0	249
6	0	0	214	0	0	167	0	0	233	0	0	270
7	0	0	258	0	0	289	0	0	242	0	0	224

กรมวิชาการเกษตร

1.2.2 Latin Square Design

1.2.2.1 ประมาณค่าข้อมูลสูญหาย 1 ค่า โดยใช้สูตร

$$X = \frac{t(R_0 + C_0 + T_0) - 2G_0}{(t-1)(t-2)}$$

X = ค่าประมาณของข้อมูลที่สูญหาย

t = จำนวนของทรีตเมนต์

R_0 = ผลรวมของค่าสังเกตของแถว (Row) ที่มีค่าสังเกตสูญหาย

C_0 = ผลรวมของค่าสังเกตของสดมภ์ (Column) ที่มีค่าสังเกตสูญหาย

T_0 = ผลรวมของค่าสังเกตของทรีตเมนต์ที่มีค่าสังเกตสูญหาย

G_0 = ผลรวมของค่าสังเกตทั้งหมด

ตารางที่ 9 ข้อมูลจากการทดลอง Latin Square Design มีข้อมูลสูญหาย 1 ค่าสังเกต

แถวที่	ผลผลิตข้าวไร่ (กก./ไร่)					แถว – รวม
	สดมภ์ 1	สดมภ์ 2	สดมภ์ 3	สดมภ์ 4	สดมภ์ 5	
1	257 (3)	146 (4)	[1/] (2)	265 (1)	272 (5)	940
2	419 (1)	325 (2)	341 (5)	328 (4)	336 (3)	1,749
3	254 (5)	354 (1)	352 (4)	382 (3)	359 (2)	1,701
4	388 (2)	365 (3)	218 (1)	455 (5)	351 (4)	1,777
5	392 (4)	383 (5)	366 (3)	483 (2)	350 (1)	1,974
สดมภ์ – รวม	1,710	1,573	1,277	1,913	1,668	
ผลรวมทั้งหมด						**8,141**

[1/] ข้อมูลสูญหาย

( ) ทรีตเมนต์ที่

$t = 5$

ทรีตเมนต์ที่มีข้อมูลสูญหาย คือ ทรีตเมนต์ที่ 2

จากตารางที่ 9, $T_0 = 325 + 359 + 388 + 483$

$= 1,555$

$R_0 = 940$

$C_0 = 1,277$

$G_0 = 8,141$

แทนค่าในสมการ

$$X = \frac{5(940 + 1,277 + 1,555) - 2(8,141)}{(5-1)(5-2)}$$

$= 215$

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 10 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูล ที่วางแผนแบบ LT มีข้อมูลสูญหาย 1 ค่า

SOV	DF	SS	MS	F
Row	4	75,257	18,814	
Column	4	20,348	5,087	
Treatment	4	5,362	1,341	<1
Error	11[1/]	42,028	3,821	
Total	23[1/]	142,995		

C.V. (%) = 18.2

[1/] ประมาณค่าข้อมูลสูญหาย 1 ค่า

ค่าสถิติบางค่าจะคำนวณต่างไปจากตารางวิเคราะห์ที่ไม่มีข้อมูลสูญหาย ดังนี้

1) df ของ Total = $(t^2 - 1) - m$

จากตารางที่ 10, df ของ Total = $(5^2 - 1) - 1$ = 23

2) df ของ Error = $((t - 1)(t - 2)) - m$

df ของ Error = $((5 - 1)(5 - 2)) - 1$ = 11

3) C.V. (%) = $\frac{\sqrt{S^2}}{\text{ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตที่วัดได้}} \times 100$

จากตารางที่ 9 และ 10, C.V. (%) = $\frac{\sqrt{3,821}}{8,141/24} \times 100$ = 18.2

4) ค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ที่ 2 = ผลรวมของค่าสังเกตที่วัดได้/จำนวนค่าสังเกตที่วัดได้

$$= \frac{325 + 359 + 388 + 483}{4}$$

$$= 389$$

5) ค่า $S_{\bar{d}}$ เพื่อใช้คำนวณค่า LSD ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ที่มีข้อมูลสูญหาย 1 ค่า กับค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์อื่น ๆ เช่นในตัวอย่างนี้ จึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ที่ 2 และทรีตเมนต์อื่น ๆ

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{S^2\left(\frac{2}{t} + \frac{1}{(t-1)(t-2)}\right)}$$

จากตารางที่ 10, $S_{\bar{d}} = \sqrt{3,821\left(\frac{2}{5} + \frac{1}{(5-1)(5-2)}\right)}$

$$= 42.9746$$

กรมวิชาการเกษตร

1.2.2.2 ประมาณค่าข้อมูลสูญหาย 2 ค่าหรือมากกว่า ใช้หลักการเช่นเดียวกับการประมาณค่าสูญหาย ใน RCB ข้อ 1.2.1.2 ดังตัวอย่างในตารางที่ 11 ซึ่งมีค่าสังเกตสูญหาย 2 ค่า

ตารางที่ 11 ข้อมูลจากการทดลอง Latin Square Design มีข้อมูลสูญหาย 2 ค่าสังเกต

แถวที่	ผลผลิตข้าวไร่ (กก./ไร่)					แถว – รวม
	สดมภ์ 1	สดมภ์ 2	สดมภ์ 3	สดมภ์ 4	สดมภ์ 5	
1	257 (3)	146 (4)	[2/] (2)	265 (1)	272 (5)	940
2	[1/] (1)	325 (2)	341 (5)	328 (4)	336 (3)	1,330
3	254 (5)	354 (1)	352 (4)	382 (3)	359 (2)	1,701
4	388 (2)	365 (3)	218 (1)	455 (5)	351 (4)	1,777
5	392 (4)	383 (5)	366 (3)	483 (3)	350 (1)	1,974
สดมภ์ – รวม	1,291	1,573	1,277	1,913	1,668	
ผลรวมทั้งหมด						**7,722**

[1/] ข้อมูลสูญหายที่ 1, ทรีตเมนต์ที่ 1 แถวที่ 2 สดมภ์ที่ 1

[2/] ข้อมูลสูญหายที่ 2, ทรีตเมนต์ที่ 2 แถวที่ 1 สดมภ์ที่ 3

ขั้นตอนการประมาณข้อมูลสูญหาย 2 ค่า ดังนี้

<u>รอบที่ 1</u>

1) ประมาณข้อมูลสูญหายค่าที่ 1 X_1 ซึ่งอาจจะใช้ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้ทั้งหมดก็ได้คือจากตารางที่ 11 วัดค่าสังเกตได้ 25 – 2 หรือ 23 ค่า ได้ผลรวมเท่ากับ 7,722

$$\therefore \quad X_1 = \frac{7,722}{23} = 336$$

2) ประมาณค่าสูญหายที่ 2 X_2 ใช้สูตร ที่ใช้คำนวณในกรณีที่มีข้อมูลสูญหาย 1 ค่า ตามสูตรในหัวข้อ 1.2.2.1

จากตารางที่ 11 $t = 5$

$R_1 = 940$

$C_3 = 1,277$

$T_2 = 388 + 325 + 483 + 359 = 1,555$

$G = 7,722 + X_1 = 7,722 + 336 = 8,058$

$$\therefore \quad X_2 = \frac{5(940 + 1,277 + 1,555) - 2(8,058)}{(5-1)(5-2)}$$

$$= 229$$

กรมวิชาการเกษตร

รอบที่ 2

1) แทนค่า X_2 = 229 แล้ว ประมาณค่าสูญหาย X_1

$t = 5$

$R_2 = 1{,}330$

$C_1 = 1{,}291$

$T_1 = 354 + 218 + 265 + 350 = 1{,}187$

$G = 7{,}722 + X_2 = 7{,}722 + 229 = 7{,}951$

$$\therefore \quad X_1 = \frac{5(1{,}330 + 1{,}291 + 1{,}187) - 2(7{,}951)}{(5-1)(5-2)} = 262$$

2) แทนค่า X_1 = 262 แล้ว ประมาณค่าสูญหาย X_2

$G = 7{,}722 + X_1 = 7{,}722 + 262 = 7{,}984$

$$X_2 = \frac{5(940 + 1{,}277 + 1{,}555) - 2(7{,}984)}{(5-1)(5-2)} = 241$$

รอบที่ 3

1) แทนค่า X_2 = 241 แล้ว ประมาณค่าสูญหาย X_1

$G = 7{,}722 + X_2 = 7{,}722 + 241 = 7{,}963$

$$X_1 = \frac{5(1{,}330 + 1{,}291 + 1{,}187) - 2(7{,}963)}{(5-1)(5-2)} = 260$$

2) แทนค่า X_1 = 260 แล้ว ประมาณค่าสูญหาย X_2

$G = 7{,}722 + X_1 = 7{,}722 + 260 = 7{,}982$

$$X_2 = \frac{5(940 + 1{,}277 + 1{,}555) - 2(7{,}982)}{(5-1)(5-2)} = 241$$

ค่า X_2 ในรอบที่ 3 ได้เท่ากับค่า X_2 ในรอบที่ 2

$\therefore$ ประมาณค่าข้อมูลสูญหาย $X_1 = 260$

$X_2 = 241$

จากนี้จึงวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติตามแบบแผน Latin Square Design ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูล ที่วางแผนแบบ LT มีข้อมูลสูญหาย 2 ค่า

SOV	DF	SS	MS	F
Row	4	69,424	17,356	
Column	4	20,500	5,125	
Treatment	4	15,020	3,755	1.25^{ns}
Error	$10^{1/}$	30,145	3,015	
Total	$22^{1/}$	135,090		

C.V. (%) = 16.4

$^{1/}$ มีข้อมูลสูญหาย 2 ค่าสังเกต

ภาควิชากีฏวิทยา

คำนวณค่าสถิติอื่น ๆ ที่ต่างไปจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่มีค่าสังเกตสูญหาย ดังนี้

1) df ของ Total จากตารางที่ 12 ซึ่งมีข้อมูลสูญหาย 2 ค่า

df ของ Total = $(5^2 - 1) - 2$ = 22

2) df ของ Error = $((5 - 1)(5 - 2)) - 2$ = 10

3) C.V. (%) = $\frac{\sqrt{3,015}}{7,722/23} \times 100$ = 16.4

4) ค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ที่ 1 = $\frac{354 + 218 + 265 + 350}{4}$ = 297

ค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ที่ 2 = $\frac{388 + 325 + 483 + 359}{4}$ = 389

5) ในการคำนวณค่า $S_{\bar{d}}$ ของทรีตเมนต์ จำนวนซ้ำของทรีตเมนต์จะต้องเป็นค่า effective replicates ซึ่งเป็นผลรวมของคะแนนทางด้านแถวหรือสดมภ์ก็ได้ เช่น ถ้าจะดูทางด้านแถวให้คะแนนแต่ละแถว ดังนี้

- มีค่าสังเกตของทรีตเมนต์ที่จะเปรียบเทียบทั้งทางด้านแถวและสดมภ์ ให้คะแนน = 1
- ค่าสังเกตของทรีตเมนต์ที่จะเปรียบเทียบมีข้อมูลสูญหายทางด้านแถว หรือสดมภ์ ด้านใดด้านหนึ่ง ให้คะแนน = $\frac{2}{3}$
- ค่าสังเกตของทรีตเมนต์ที่จะเปรียบเทียบมีข้อมูลสูญหาย ทั้งทางด้านแถวและสดมภ์ ให้คะแนน = $\frac{1}{3}$
- ค่าสังเกตของทรีตเมนต์นั้นสูญหาย ให้คะแนน = 0

ดังตัวอย่าง การคำนวณ effective number or replicates ของทรีตเมนต์ที่ 1 และ 2 ในตารางที่ 13 และ 14

ตารางที่ 13 เรียงทรีตเมนต์ตามแผนผัง Latin Square Design มีค่าสังเกตสูญหาย 2 ค่า

แถว	สดมภ์				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
1	3	4	(2)	1	5
2	(1)	2	5	4	3
3	5	1	4	3	2
4	2	3	1	5	4
5	4	5	3	2	1

( ) = ค่าสังเกตสูญหาย

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 14 ค่า effective number of replicates ของทรีตเมนต์ 1 และ 2 โดยจำนวนจากตารางที่ 13

แถว	จำนวนซ้ำของทรีตเมนต์ที่ 1 มีค่าสังเกตของทรีตเมนต์ 2 ใน			จำนวนซ้ำของทรีตเมนต์ที่ 2 มีค่าสังเกตของทรีตเมนต์ 1 ใน		
	แถว	สดมภ์	คะแนน	แถว	สดมภ์	คะแนน
1		+	2/3			0
2			0		+	2/3
3	+	+	1	+	+	1
4	+		2/3	+		2/3
5	+	+	1	+	+	1
รวม			$3\frac{1}{3}$			$3\frac{1}{3}$

$\therefore$ $S_{\bar{d}}$ ระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ 1 และ 2 คือ

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{S^2\left(\frac{1}{r_1'} + \frac{1}{r_2'}\right)}$$

จากตารางที่ 12 และ 14 $S_{\bar{d}} = \sqrt{3{,}015\left(\frac{1}{3\frac{1}{3}} + \frac{1}{3\frac{1}{3}}\right)}$

$= 30.0749$

1.2.3 Split – Plot Design ที่จัด main – plot ในรูป RCB

1.2.3.1 ประมาณค่าข้อมูลสูญหาย 1 ค่า

$$X = \frac{rM_0 + bT_0 - P_0}{(b-1)(r-1)}$$

X = ค่าประมาณของค่าสังเกตที่สูญหาย

r = จำนวนซ้ำ

b = จำนวนระดับของปัจจัยที่เป็น sub plot

M_0 = ผลรวมของค่าสังเกตของซ้ำที่มีค่าสังเกตสูญหายเฉพาะใน main plot ที่มีข้อมูลสูญหาย

T_0 = ผลรวมของค่าสังเกตของทรีตเมนต์ที่มีค่าสังเกตสูญหาย

P_0 = ผลรวมของค่าสังเกตของ main plot ที่มีค่าสังเกตสูญหาย

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 15 ข้อมูลจากการทดลอง Split – Plot Design มีค่าสังเกตสูญหาย 1 ค่า

Sub Plot อัตราปุ๋ย	ผลผลิตข้าว (กก./ไร่) ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	รวม 4 ซ้ำ
		Main – plot 1 RD 11			
1	176	219	271	198	
2	371	474	445	444	
3	424	468	567	488	
4	451	589	616	481	
5	579	589	524	609	
6	532	328	601	584	
7	650	680	626	658	
รวม Main – plot 1					**13,642**
		Main – plot 2 RD 21			
1	169	152	231	133	
2	509	547	571	550	
3	513	604	522	639	
4	656	629	669	595	
5	609	748	734	688	
6	682	696	735	651	
7	714	737	684	644	
รวม Main – plot 2					**16,011**
		Main – plot 3 RD 23			
1	243	[1/]	241	183	667
2	387	390	444	429	1,650
3	569	443	500	466	1,978
4	534	335	675	486	2,030
5	606	464	656	558	2,284
6	749	561	734	626	2,670
7	611	562	699	678	2,550
ซ้ำ – รวม	3,699	2,755	3,949	3,426	
รวม Main – plot 3					**13,829**

[1/] ค่าสังเกตสูญหาย

กรมวิชาการเกษตร

จากตารางที่ 15 เนื่องจากมีข้อมูลสูญหายใน main – plot ที่ 3 ฉะนั้น การคำนวณผลรวมของทรีตเมนต์ ซ้ำ และ main – plot ที่มีข้อมูลสูญหาย จึงเป็นผลรวมเฉพาะในทรีตเมนต์ที่ 3 เท่านั้น คือ

$T_{1,3}$ = ผลรวมของทรีตเมนต์ 1 ใน main – plot ที่ 3

= 243 + 241 + 183 = 667

$M_{2,3}$ = ผลรวมของซ้ำที่ 2 ใน main – plot ที่ 3

= 390 + 443 + 335 + 464 + 561 + 562

= 2,755

P_3 = 243 + 241 + 183 + 387 +...+ 678

= 13,829

r = 4 ซ้ำ

b = จำนวนทรีตเมนต์ของ subplot = 7 ระดับปุ๋ย

$$\therefore \quad X = \frac{4(2,755) + 7(667) - 13,829}{(7-1)(4-1)}$$

= 103

แทนค่าข้อมูลสูญหายใน main – plot ที่ 3 subplot ที่ 1 ซ้ำที่ 2 = 103 แล้ววิเคราะห์ข้อมูลตามแบบแผนการทดลอง Split Plot Design ตามตาราง ที่ 16

ตารางที่ 16 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ใช้แบบแผนการทดลอง Split Plot Design ประมาณข้อมูลสูญหาย 1 ค่า

SOV	DF	SS	MS	F
Replication	3	52,038	17,346	
Variety (V)	2	119,268	59,634	5.27*
Error (a)	6	67,883	11,314	
Fertilizer (F)	6	1,813,387	302,231	102.92**
V x F	12	101,915	8,493	2.89**
Error (b)	53[1/]	155,643	2,937	
Total	82[1/]	2,310,134		

C.V. (%) = 20.3%

C.V. (%) = 10.3%

[1/] ประมาณค่าสูญหาย 1 ค่าสังเกต

ค่า df ของ Error (b) และ Total ในตารางวิเคราะห์ที่มีข้อมูลสูญหาย 1 ค่า ก็เช่นเดียวกับใน RCB และ LT คือ df ของ Error (b) และ Total จะเท่ากับค่า df ปกติลบด้วย 1 ดังตารางที่ 16

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 17 ผลผลิตข้าว (กก./ไร่) เฉลี่ยจาก 4 ซ้ำ

$N - P_2O_5 - K_2O$	RD 11	RD 21	RD 23
0 – 0 – 0	216	171	222[1/]
0 – 6 – 6	433	544	412
3 – 6 – 6	487	570	494
6 – 6 – 6	534	637	508
9 – 6 – 6	575	695	571
12 – 6 – 6	511	691	668
18 – 6 – 6	654	695	638

[1/] เฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ

ค่าสถิติอื่น ๆ

1) C.V. (%) $= \dfrac{\sqrt{S^2}}{\overline{X}..}$

$\overline{X}.. = \dfrac{\text{ผลรวมของทั้ง 3 main – plot}}{\text{จำนวนค่าสังเกตที่วัดได้}}$

$= \dfrac{13{,}642 + 16{,}011 + 13{,}829}{83} = 523.8795$

จากตารางที่ 16 C.V. (a) $= \dfrac{\sqrt{11{,}314}}{523.8795} \times 100 = 20.3\%$

C.V. (b) $= \dfrac{\sqrt{2{,}937}}{523.8795} \times 100 = 10.3\%$

2) ค่า $S_{\bar{d}}$ เพื่อคำนวณค่า LSD ใช้เปรียบเทียบระหว่างความแตกต่างของทรีตเมนต์ ที่มีค่าสังเกตสูญหายกับทรีตเมนต์อื่น ๆ ในตารางที่ 17

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 18 Standard Error of the Mean Difference ($S_{\bar{d}}$) in Split Pot Design ที่มีข้อมูลสูญหาย

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่าง	$S_{\bar{d}}$
- 2 ทรีตเมนต์ของ main – plot (เฉลี่ยจากทุกทรีตเมนต์ของ subplot)	$\sqrt{\frac{2\left(E_a + fE_b\right)}{rb}}$
- 2 ทรีตเมนต์ของ subplot (เฉลี่ยจากทุกทรีตเมนต์ของ main – plot)	$\sqrt{\frac{2E_b\left(1 + \frac{fb}{a}\right)}{ra}}$
- 2 ทรีตเมนต์ของ subplot ที่ทรีตเมนต์ของ main – plot เดียวกัน	$\sqrt{\frac{2E_b\left(1 + \frac{fb}{a}\right)}{r}}$
- 2 ทรีตเมนต์ของ main – plot ในทรีตเมนต์เดียวกันหรือต่างกันของ subplot	$\sqrt{\frac{2\left\{E_a + E_b((b-1) + fb^2)\right\}}{rb}}$

$f = \frac{1}{2(r-1)(b-1)}$

E_a = Error (a) MS

E_b = Error (b) MS

r = จำนวนซ้ำ

a = จำนวนทรีตเมนต์ของ main – plot

b = จำนวนทรีตเมนต์ของ subplot

จากตารางที่ 15 มีข้อมูลสูญหายในทรีตเมนต์ที่ 1 (ไม่ใส่ปุ๋ย) ซ้ำที่ 2 ของพันธุ์ข้าว RD 23 และในตารางที่ 16 ปรากฏว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และอัตราปุ๋ย ฉะนั้นการเปรียบเทียบทรีตเมนต์ในตารางที่ 17 ระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ที่มีข้อมูลสูญหายกับทรีตเมนต์ไม่มีข้อมูลสูญหาย ได้ดังนี้

1) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์ไม่ใส่ปุ๋ย กับทรีตเมนต์อื่น ๆ ในพันธุ์ข้าว RD 23

$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{2E_b\left[1 + \frac{b}{2a(r-1)(b-1)}\right]}{r}}$

E_b = 2,937

r = 4

a = 3

b = 7

กรมวิชาการเกษตร

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{2(2{,}937)\left[1 + \frac{7}{2(3)(4-1)(7-1)}\right]}{4}}$$

$$= 39.5434$$

2) เปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยของพันธุ์ข้าว RD 23 กับพันธุ์อื่น ๆ ในปุ๋ยระดับเดียวกันหรือต่างระดับกัน

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{2\left\{E_a + E_b\left[(b-1) + \frac{b^2}{2(r-1)(b-1)}\right]\right\}}{rb}}$$

$$E_a = 11{,}314$$

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{2\left\{11{,}314 + 2{,}937\left[(7-1) + \frac{(7)^2}{2(4-1)(7-1)}\right]\right\}}{(4)(7)}}$$

$$= 48.5015$$

1.2.3.2 ประมาณค่าข้อมูลสูญหาย 2 ค่า หรือมากกว่านั้น

จากสูตรและวิธีการคำนวณข้อมูลสูญหายในข้อ 1.2.3.1 จะเห็นว่าเป็นการคำนวณโดยใช้ค่าสังเกตเฉพาะใน main – plot ที่มีข้อมูลสูญหายเท่านั้น ฉะนั้นถ้าข้อมูลสูญหายเกิดขึ้นต่าง main – plot กัน เช่น สมมติว่าในตารางที่ 15 ในพันธุ์ข้าว RD 21 มีค่าสังเกตสูญหาย 1 ค่า และในพันธุ์ข้าว RD 23 มีค่าสังเกตสูญหาย 1 ค่า ถึงแม้ว่าจะมีข้อมูลสูญหาย 2 ค่า แต่ขั้นตอนการคำนวณข้อมูลสูญหาย และ $S_{\bar{d}}$ จะใช้หลักการของข้อมูลสูญหาย 1 ค่า

แต่ถ้ามีค่าสังเกตสูญหาย 2 ค่าใน main – plot เดียวกัน เช่นสมมติว่าในตารางที่ 15 พันธุ์ข้าว RD 23 มีค่าสังเกตที่สูญหายที่ทรีตเมนต์ 1 ซ้ำที่ 2 และทรีตเมนต์ 3 ซ้ำที่ 4 จึงจะถือว่ามีข้อมูลสูญหาย 2 ค่า

1) การประมาณค่าสูญหาย 2 ค่านี้ ใช้วิธีการเดียวกับการวางแผนแบบ RCB ในข้อ 1.2.1.2 หรือ 1.2.1.4

2) การคำนวณค่า $S_{\bar{d}}$ สำหรับทรีตเมนต์ที่มีข้อมูลสูญหาย ใช้สูตรเดียวกับในตารางที่ 18 แต่ค่า f ต่างกันดังนี้

$$f = \frac{k}{(2(r-d)(b-k+c-1))}$$

b = จำนวนทรีตเมนต์ของปัจจัย subplot

k = จำนวนของข้อมูลสูญหาย

กรมวิชาการเกษตร

c = จำนวนของซ้ำที่มีข้อมูลสูญหายอย่างน้อย 1 ค่า

d = จำนวนของข้อมูลสูญหายใน treatment combination ที่มีจำนวนข้อมูลสูญหายมากที่สุด

a = จำนวนทรีตเมนต์ของปัจจัย main – plot

นั่นคือ สูตรที่ใช้คำนวณ $S_{\bar{d}}$ ของการเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยทรีตเมนต์ของ 2 subplot ในแต่ละทรีตเมนต์ของ main – plot ไม่ว่าค่าเฉลี่ยของ 2 ทรีตเมนต์ จะมีข้อมูลสูญหายเพียงค่าเดียวหรือทั้ง 2 ค่า

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{2E_b\left(1 + \frac{bk}{2(a)(r-d)(b-k+c-1)}\right)}{r}}$$

ส่วนค่า $S_{\bar{d}}$ ของการเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยทรีตเมนต์ของ 2 main – plot ในทรีตเมนต์เดียวกันหรือต่างกันของ subplot มีสูตรดังนี้

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{2\left\{E_a + E_b\left((b-1) + \frac{b^2(k)}{2(r-d)(b-k+c-1)}\right)\right\}}{rb}}$$

1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Covariance

เป็นวิธีการที่นำเอาการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) มาใช้ร่วมกับ regression analysis การวิเคราะห์ข้อมูลแบบนี้ จะมีตัวแปร 2 อย่างคือ

X เป็นตัวแปรอิสระ (independent variable)

Y เป็นตัวแปรตาม (dependent variable)

เช่น ในการวิเคราะห์ข้อมูลผลผลิต X อาจเป็นค่าของจำนวนต้น หรือหลุม หรือ กอ ส่วน Y จะเป็นค่าผลผลิต การวิเคราะห์ข้อมูลแบบนี้เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดค่าของ experimental error เมื่อการทดลองนั้นเกิดความเสียหาย ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ครบถ้วนตามที่วางแผนไว้

Covariance analysis ใช้ในกรณีที่มีข้อมูลสูญหายจำนวนมาก จึงไม่สะดวกใช้สูตรหรือวิธีการของ covariance analysis ในการคำนวณข้อมูลสูญหาย นอกจากนี้การทดลองที่มีแปลงย่อยเสียหายหลายแปลง การใช้ covariance analysis อาจจะดีกว่าการปรับข้อมูล (ข้อ 1.2)

การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ covariance analysis แตกต่างกันตามแบบแผนการทดลองที่ใช้ดังนี้

1.3.1 RCB ตัวอย่างคือ งานทดลองเปรียบเทียบผลผลิตข้าวทนน้ำลึก โดยให้จำนวนกอที่เก็บเกี่ยวได้ เป็นตัวแปรอิสระ (X) และผลผลิตเป็นตัวแปรตาม (Y) ดังตารางที่ 19

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 19 จำนวนกอและผลผลิต (กก./ไร่) ของข้าวทนน้ำลึก, RCB

พันธุ์	ซ้ำ 1		ซ้ำ 2		ซ้ำ 3		ซ้ำ 4		พันธุ์ – รวม	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	134	332	119	319	111	238	144	351	508	1,240
2	94	280	140	462	127	408	101	308	462	1,458
3	144	345	134	307	139	326	127	280	544	1,258
4	139	359	121	292	100	215	118	282	478	1,148
5	133	293	135	319	140	339	132	312	540	1,263
6	140	444	104	311	144	463	103	311	491	1,529
7	103	250	118	300	96	219	96	395	413	1,164
8	116	309	144	410	126	345	114	298	500	1,362
9	144	422	100	268	113	310	84	201	441	1,201
10	134	450	105	307	117	358	126	391	482	1,506
11	136	452	104	371	122	375	120	369	482	1,567
12	134	499	106	353	94	306	111	378	445	1,536
13	144	563	110	428	100	405	134	516	488	1,912
14	112	243	116	254	120	279	132	319	480	1,095
15	140	500	124	442	119	419	144	519	527	1,880
16	119	410	96	318	79	223	103	257	397	1,208
17	132	403	107	304	115	338	109	320	463	1,365
18	108	260	119	310	119	302	123	410	469	1,282
19	144	397	140	380	110	273	114	276	508	1,326
20	134	266	125	231	118	205	109	185	486	887
ผลรวม	**2,584**	**7,477**	**2,367**	**6,686**	**2,309**	**6,346**	**2,344**	**6,678**	**9,604**	**27,187**

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 20 วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมระหว่างจำนวนกอ และผลผลิตข้าว วางแผนการทดลองแบบ RCB

ANALYSIS OF COVARIANCE IN RCB

SOV	DF	SS(X)	SS(Y)	SS(XY)	DF	SS(R)	MS	F
TOTAL	79	20,415.80	525,908.88	60,227.65				
BLOCK	3	2,317.90	34,614.13	8,824.45				
TMT	19	6,740.80	293,895.63	9,296.90				
ERROR	57	11,357.10	197,399.11	42,106.30	56	41,290.55	737.33	
TMT + ERR	76	8,097.90	491,294.75	51,403.20	75	345,294.98		
TMT. ADJ					19	304,004.43	16,000.23	21.70**

COEFFICIENT OF VARIATION = 8.0%, R.E. = 456%

STANDARD ERROR OF DIFFERENCE = 19.4982

STANDARD ERROR OF MEAN = 13.7873

ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลตามตารางที่ 20

1) คำนวณค่า XX และ YY ตามสูตรที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง RCB

2) คำนวณค่าผลรวมของ XY (Sum of cross products, SCP) ของแต่ละแหล่งความแปรปรวน ได้ดังนี้

$$\text{Correction factor} = CF = \frac{G_X G_Y}{rt}$$

จากตารางที่ 19 G_X = ผลรวมของตัวแปร X = 9,604

G_Y = ผลรวมของตัวแปร Y = 27,187

r = จำนวนซ้ำ = 4

t = จำนวนทรีตเมนต์ = 20

$$\therefore \quad CF = \frac{(9,604)(27,187)}{(4)(20)} = 3,263,799$$

$$\text{Total SCP} = \sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{r}(X_{ij})(Y_{ij}) - CF$$

X_{ij} คือค่าของตัวแปร X ในทรีตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j

Y_{ij} คือค่าของตัวแปร Y ในทรีตเมนต์ที่ i ซ้ำที่ j

= (134)(332) + (119)(319) +...+ (109)(185) – 3,263,799

= 60,227.65

$$\text{Block SCP} = \frac{\sum B_X B_Y}{t} - CF$$

กรมวิชาการเกษตร

$$= \frac{((2{,}584)(7{,}477) + (2{,}367)(6{,}686) + \ldots + (2{,}344)(6{,}678)) - 3{,}263{,}799}{20}$$

$$= 8{,}824.45$$

$$\text{Treatment SCP} = \frac{\sum(T_X)(T_Y)}{r} - CF$$

$$= \frac{((508)(1{,}240) + (462)(1{,}458) + \ldots + (486)(887))}{4} - 3{,}263{,}799$$

$$= 9{,}296.90$$

$$\text{Error SCP} = \text{Total SCP} - \text{Block SCP} - \text{Treatment SCP}$$

$$= 60{,}227.65 - 8{,}824.45 - 9{,}296.90$$

$$= 42{,}106.30$$

3) แต่ละความแปรปรวน คำนวณค่า SS ของตัวแปร Y ที่ปรับด้วยค่า X

$$\text{Error adjusted SS of Y} = \text{Error SS of Y} - \frac{(\text{Error SCP})^2}{\text{Error SS of X}}$$

$$= 197{,}399.11 - \frac{(42{,}106.30)^2}{11{,}357.10}$$

$$= 41{,}290.55$$

$$\text{(Treatment + Error) adjusted SS of Y} = A - \frac{C^2}{B}$$

$$A = \text{Treatment SS of Y} + \text{Error SS of Y}$$

$$= 293{,}895.63 + 197{,}399.11 = 491{,}294.74$$

$$B = \text{Treatment SS of X} + \text{Error SS of X}$$

$$= 6{,}740.80 + 11{,}357.10 = 18{,}097.90$$

$$C = \text{Treatment SCP} + \text{Error SCP}$$

$$= 9{,}296.90 + 42{,}106.30 = 51{,}403.20$$

$$\therefore \text{ (Treatment + Error) adjusted SS of Y} = 491{,}294.74 - \frac{(51{,}403.20)^2}{18{,}097.90}$$

$$= 345{,}294.98$$

$$\text{Treatment adjusted SS of Y} = \text{(Treatment + Error) adjusted SS of Y} - \text{Error adjusted SS of Y}$$

$$= 345{,}294.98 - 41{,}290.55$$

$$= 304{,}004.43$$

กรมวิชาการเกษตร

4) คำนวณค่า Adjusted df ดังนี้

Adjusted error df = Error df – 1

= 57 – 1 = 56

Adjusted (treatment + error) df = Treatment df + Error df – 1

= 19 + 57 – 1 = 75

Adjusted treatment df = Treatment df

= 19

5) คำนวณค่า Adjusted MS of Y และ F – value ตามวิธีการของ RCB ตามปกติ

6) คำนวณประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ข้อมูล โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์แบบมาตรฐาน

$$R.E. = \frac{(100)(\text{Error MS of Y})}{(\text{Error adjusted MS of Y})\left(1 + \frac{\text{Treatment MS of X}}{\text{Error SS of X}}\right)}$$

$$= \frac{(100)(197{,}399.11/57)}{(737.3)\left(1 + \frac{6{,}740.8/19}{11{,}357.10}\right)}$$

= 456%

7) คำนวณค่าเฉลี่ยของ Adjusted Y จากตารางที่ 19 คือ ค่าเฉลี่ยของผลผลิต (กก./ไร่) ที่ปรับด้วยจำนวนกอที่เก็บเกี่ยวได้ ดังนี้

$\overline{Y}_i'$ = $\overline{Y}_i - b_{y.x}(\overline{X}_i + \overline{X})$

$\overline{Y}_i$ = ค่าเฉลี่ยของตัวแปร Y ของทรีตเมนต์ที่ i

$\overline{X}_i$ = ค่าเฉลี่ยของตัวแปร X ของทรีตเมนต์ที่ i

$\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของ X

$b_{y.x}$ = Error regression coefficient

$$= \frac{\text{Error SCP}}{\text{Error SS of X}}$$

จากตารางที่ 20, $b_{y.x} = \frac{42{,}106.30}{11{,}357.10}$

= 3.7075

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 21 คำนวณผลผลิตเฉลี่ยของพันธุ์ข้าว (Y) ที่ปรับด้วยจำนวนกอที่เก็บเกี่ยว (X) จากตารางที่ 19

พันธุ์	Unadjusted Treatment Mean		Deviation Adjustment Factor Treatment Mean		Adjusted
	$\overline{Y}_i$	$\overline{X}_i$	$(D = \overline{X}_i - \overline{X})$	$(C=3.7075(D))$	$(\overline{Y}_i' = \overline{Y}_i - C)$
1	310.0	127.0	7.0	26.0	284
2	364.5	115.5	–4.5	–16.7	381
3	314.5	136.0	16.0	59.3	255
4	287.0	119.5	–0.5	–1.9	289
5	315.8	135.0	15.0	55.6	260
6	382.2	122.8	2.8	10.4	372
7	291.0	103.2	–16.8	–62.3	353
8	340.5	125.0	5.0	18.5	322
9	300.2	110.2	–9.8	–36.3	337
10	376.5	120.5	0.5	1.9	375
11	391.8	120.5	0.5	1.9	390
12	384.0	111.2	–8.8	–32.6	417
13	478.0	122.0	2.0	7.4	471
14	273.8	120.0	0.0	0.0	274
15	470.0	131.7	11.8	43.4	427
16	302.0	99.2	–20.8	–77.1	379
17	341.2	115.8	–4.2	–15.6	357
18	320.5	117.2	–2.8	–10.4	331
19	331.5	127.0	7.0	26.0	306
20	221.8	121.5	1.5	5.6	216
รวม	**6,796.8**	**2,401.0**			
เฉลี่ย	**339.8**	**120.0**			

8) การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ที่ปรับแล้วนี้ ใช้สูตรคำนวณ $S_{\bar{d}}$ โดยประมาณดังนี้

$$S_{\bar{d}}\text{(โดยประมาณ)} = \sqrt{\frac{2(\text{Error adjusted MS})}{r}\left(1 + \frac{\text{Treatment SS of X}}{(t-1)(\text{Error SS of X})}\right)}$$

กรมวิชาการเกษตร

จากตารางที่ 20, t = จำนวนทรีตเมนต์ = 20

r = จำนวนซ้ำ = 4

$S_{\bar{d}}$ (โดยประมาณ) = $\sqrt{\frac{2(737.33)}{4}\left(1 + \frac{6,740.80}{(20-1)(11,357.10)}\right)}$

= 19.4982

$S_{\bar{X}}$ (โดยประมาณ) = $\frac{S_{\bar{d}}}{\sqrt{2}}$

= $\frac{19.4982}{\sqrt{2}}$ = 13.7873

9) C.V. (%) = $\frac{\sqrt{\text{Error adjusted MS of Y}}}{\bar{Y}}$ x 100

จากตารางที่ 20 และ 21, C.V. (%) = $\frac{\sqrt{737.33}}{339.8}$ x 100 = 8.0%

2. ข้อมูลเสียหาย

การเก็บข้อมูลผลผลิต นักวิจัยจะต้องเก็บตัวอย่างจากต้นพืชที่ปลูกต่อเนื่องกันในพื้นที่ที่จำนวนหนึ่ง เช่น ในพื้นที่ 8 ตารางเมตร สำหรับงานทดลองทางด้านเขตกรรมของข้าวนาสวนที่ปลูกโดยการปักดำ ในพื้นที่เก็บเกี่ยวนี้ ถ้ามีกอใดที่นักวิจัยพิจารณาตามข้อพิจารณาตามข้อ 1.1 แล้วว่าให้ถือว่าเป็นกอที่สูญหาย ถ้ากอที่สูญหายนี้มีไม่เกินกว่าร้อยละ 20 ของจำนวนกอที่จะเก็บเกี่ยวทั้งหมด จะสามารถใช้วิธีการปรับข้อมูล เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ควรจะเป็นถ้าสามารถเก็บข้อมูลจากจำนวนต้นที่เท่ากับแปลงย่อยอื่น ๆ ในการทดลองนั้น

ตัวอย่างการปรับข้อมูลผลผลิตข้าวโพด ซึ่งมีระยะปลูกระหว่างหลุม 0.75 x 0.50 เมตร การเก็บผลผลิตจากพื้นที่ 5.25 x 5.0 เมตร จะเป็น 7 x 10 = 70 หลุม แต่ถ้าปรากฏว่ามีหลุมที่เสียหายสามารถเก็บเกี่ยวได้เพียง 60 หลุม ได้เมล็ดข้าวโพด 9.15 กิโลกรัม ใช้วิธีการปรับข้อมูลดังนี้

เก็บเกี่ยว 60 หลุม ได้เมล็ดข้าวโพด = 9.15 กิโลกรัม

เก็บเกี่ยว 70 หลุม ได้เมล็ดข้าวโพด = $\frac{9.15 \times 70}{60}$ = 10.675 กิโลกรัม

พืชที่ปลูกโดยการโรยเป็นแถวหรือหว่าน การปรับข้อมูลให้ใช้พื้นที่เก็บเกี่ยวได้แทนจำนวนหลุม

3. ข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดการใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน

3.1 ข้อกำหนดการใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Assumption of Analysis of Variance) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance : ANOV) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานวิจัยทางด้านการเกษตร แต่ว่า ANOV จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อข้อมูลที่จะวิเคราะห์เป็นไปตามข้อกำหนด (assumption) ของการใช้ อันได้แก่

กรมวิชาการเกษตร

* Additive Effects ปฏิกิริยาอันเนื่องมาจากทรีตเมนต์ (treatment effects) และเนื่องมาจากสิ่งแวดล้อม (environmental effects) ต้องเป็นไปในทางบวก

* Independence of Error ความคลาดเคลื่อนในการทดลอง (experimental errors) จะต้องเป็นอิสระซึ่งกันและกัน

* Homogeneity of Variance ความแปรปรวนต้องไม่แตกต่างกันหรือมีความแปรปรวนร่วมกัน (Common variance)

* Normal Distribution ความคลาดเคลื่อนในการทดลองต้องมีการกระจายแบบปกติ

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดการใช้ของ ANOV จะมีผลต่อทั้งระดับนัยสำคัญ (significant levels) และความไว (sensitivity) ของ F – test นั่นคือ เมื่อนักวิจัยคิดว่าจะทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5% แต่จริงแล้วเขาอาจจะทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 8% ผลที่ได้รับก็คือความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ที่ได้รับจะมากกว่าที่ควรได้เป็น sensitivity ของ F – test ก็จะลดลง เนื่องจากเราสามารถจะใช้วิธีการทดสอบแบบอื่นที่ดีกว่า F – test

3.1.1 Non additivity treatment effect กับ block effect จะเรียกว่าเป็นบวก (additivity) ก็ต่อเมื่อ treatment effect คงที่ในทุกบล็อค และ block effect คงที่ในทุกทรีตเมนต์ เช่น ใน RCB 2 ทรีตเมนต์ และ 2 ซ้ำ ดังตารางที่ 1 treatment effect เท่ากับ 20 คงที่ทั้ง 2 บล็อค และ block effect เท่ากับ 60 คงที่ทั้ง 2 ทรีตเมนต์

ตารางที่ 1 ตัวอย่าง additivity of effects

ทรีตเมนต์	ซ้ำ		Replication effect
	1	2	(1 – 2)
ก	100	40	60
ข	80	20	60
Treatment effect (ก – ข)	20	20	

Non additivity พบมากในงานทดลองโรคและแมลง โดยที่ treatment effect กับ environmental effect มักจะอยู่ในรูป multiplicative แทนที่จะเป็น additive ตัวอย่าง multiplicative แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่าง multiplicative effects

ทรีตเมนต์	ซ้ำ		Replication effect	
	1	2	1 – 2	100(1 – 2)/2
ก	120	60	60	100
ข	100	50	50	100
Treatment effect (ก – ข)	20	10		
100(ก – ข)/ข	20	20		

กรมวิชาการเกษตร

Additive effects อาจตรวจสอบได้โดยตรงจากข้อมูล (โดยการสร้างตารางที่ 1 แต่กรณีนี้ไม่สะดวกถ้ามีจำนวนทรีตเมนต์และซ้ำมาก) หรือใช้วิธีการของ Tukey (1949) ซึ่งรู้จักกันในนาม “One degree of freedom for nonadditivity”

3.1.2 Non – independence of errors มักจะเกิดขึ้นในงานทดลองที่มีการจัดเรียงทรีตเมนต์โดยไม่ได้มีการสุ่ม ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนก็คือ ในการทดลองเปรียบเทียบพันธุ์พืช การตอบสนองของพันธุ์ในแปลงที่อยู่ใกล้กันมักจะมีความสัมพันธ์กันในทางบวกและแตกต่างจากแปลงที่อยู่ห่างออกไป non – independence of errors นี้ จะตรวจได้โดยการพิจารณาแผนผังแปลงทดลอง (experimental layout) ว่าได้มีการสุ่มอย่างถูกต้อง ถ้าไม่ก็เป็นที่น่าสงสัยว่า errors จะไม่เป็นอิสระต่อกัน

3.1.3 Variance heterogeneity และ Non – normality Heterogeneity of variance มี 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีความสัมพันธ์ระหว่าง treatment mean (μ) กับ treatment variance (σ^2) และชนิดที่ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง heterogeneity of variance ชนิดแรกมักเกิดเมื่อข้อมูลไม่มีการกระจายแบบปกติ เช่น ข้อมูลที่เป็นจำนวนนับ (count data) มักจะมีการกระจายแบบ Poisson ซึ่ง variance และ mean มีความสัมพันธ์กันในรูป $\sigma^2 = \mu$ หรือ negative binomial ซึ่ง variance และ mean สัมพันธ์กันในรูป $\sigma^2 = \mu + \mu^2 / k$ และ percentage data ที่คำนวณมาจากอัตราส่วนของจำนวนจำนวนนับ 2 ค่า แสดงอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่ามีการกระจายแบบ binomial และ variance กับ mean มีความสัมพันธ์ในรูป $\sigma^2 = \mu - \mu^2 / n$

Heterogeneity of variance ชนิดที่สองที่ซึ่ง variance และ mean ไม่มีความสัมพันธ์กันนั้น มักจะเป็นผลเนื่องมาจากทรีตเมนต์ที่ทดสอบ ตัวอย่างเช่น ในงานทดลองปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตพืช แปลงที่ใส่ปุ๋ยหมักจะให้ทั้งค่าเฉลี่ยผลผลิตและความแปรปรวนสูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่อย่างเด่นชัด

การตรวจสอบ heterogeneity of variance นั้น วิธีที่ง่ายวิธีหนึ่งก็คือ สร้าง scatter diagram ระหว่าง treatment mean กับ treatment variance แล้วสังเกตจาก scatter diagram นั้นวิธีทดสอบทางสถิติ อีกวิธีหนึ่งซึ่งใช้แพร่หลายก็คือ Bartlett’s Chi – Square test อย่างไรก็ตาม บ่อยครั้งที่ heterogeneity of variance ชนิดแรกไม่สามารถตรวจพบโดยใช้ Bartlett’s test

3.2 ข้อมูลที่มักจะไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดการใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่พบบ่อย ๆ มี ดังนี้

3.2.1 Count data ได้แก่ ข้อมูลจำนวนนับ เช่น จำนวนแมลงที่พบต่อแปลงย่อย จำนวนแผลที่เกิดจากเชื้อไวรัสบนใบมันฝรั่ง จำนวนวัชพืชต่อแปลงย่อย เป็นต้น

3.2.2 Percentage data ได้แก่ ข้อมูลคิดคำนวณมาจากอัตราส่วนของจำนวนนับสองจำนวนและแสดงอยู่ในรูปร้อยละ เช่น เปอร์เซ็นต์ต้นที่เป็นโรคต่อแปลงย่อย ((n/N) x 100) เมื่อ n = จำนวนต้นที่เป็นโรคและ N = จำนวนต้นทั้งหมดในแปลงย่อย) เปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของแมลง เป็นต้น

กรมวิชาการเกษตร

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดการใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อพบว่า ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของการใช้ ANOV แล้วการวิเคราะห์ผลจะทำได้ 2 วิธี คือ

3.3.1 เลือกวิธีวิเคราะห์อย่างอื่นที่ไม่ต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดของ ANOV เช่น Distribution free test หรืออาศัยเทคนิคทางสถิติชั้นสูง เช่น partition of errors

3.3.2 แปลง (transform) ข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลที่ transform แล้ว สอดคล้องกับข้อกำหนดของการใช้ ANOV ก่อนวิเคราะห์ผล

3.4 การแปลงข้อมูล (Data Transformation) เป็นวิธีที่ง่ายและเป็นที่นิยมใช้กันมาก แต่จะใช้เพื่อ (1) เปลี่ยนจาก multiplicative model เป็น additive model โดยใช้ log transformation และ (2) แก้ไข heterogeneity of variance เมื่อพบว่า treatment variance มีความสัมพันธ์กับ treatment mean ($\sigma^2 = f(\mu)$ เมื่อ σ^2 = variance และ μ = mean)

โดยพื้นฐานทฤษฎีแล้ว Bartlett (1947) ได้อธิบายถึงวิธีการหารูปแบบการ transform ข้อมูลที่เหมาะสมดังนี้

ถ้าทราบความสัมพันธ์ระหว่าง variance (σ^2) กับ mean (μ) นั่นคือ

$$\sigma^2 = f(\mu)$$

แล้ว g(x) จะหาได้จากสมการ

$$g(x) = u\int \frac{d\mu}{f(\mu)} + C \quad \text{.....(1)}$$

(u และ c เป็นตัวคงที่) ซึ่งจะทำให้ variance คงที่

$$X' \approx g(x)$$

จะเป็นรูปแบบการ transform ข้อมูลที่เหมาะสม

ตัวอย่างเช่น เมื่อเราทราบว่า treatment variance และ treatment mean มีความสัมพันธ์กันในรูปเส้นตรง นั่นคือ

$$\sigma^2 = \mu$$

แทนค่า $f(\mu) = \mu$ ใน (1) จะได้ $g(x) \approx \sqrt{\mu}$ ดังนั้น

$$X' = \sqrt{X}$$

แสดงว่ารูปแบบการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมคือ square root

อย่างไรก็ตามรูปแบบการแปลงข้อมูลที่เหมาะกับข้อมูลทางด้านเกษตรมีไม่มากนักที่สำคัญ มีดังนี้

3.4.1 Square root transformation ($\sqrt{X}$) ใช้กับข้อมูลที่ความสัมพันธ์ระหว่าง treatment mean กับ treatment variance เป็นเส้นตรง ได้แก่ข้อมูลที่มีการกระจายแบบ Poisson ซึ่งมักจะพบใน (ก) count data ที่มีค่าของค่าสังเกตต่ำ เช่น จำนวนโคโลนีของแบคทีเรีย และ (ข) percentage data ที่มีค่าของค่าสังเกตต่ำสุด – สูงสุด จาก 0 – 30% และ 70 – 100%

กรมวิชาการเกษตร

3.4.2 Logarithmic transformation (log X) ใช้กับข้อมูลที่ (ก) มีการกระจายแบบ negative binomial ($\sigma^2 = \mu^2 + \mu / k$ เมื่อ k คือค่าคงที่) ซึ่งมักจะพบใน count data ซึ่งมีพิสัย (range) ของค่าสังเกตสูง เช่น จำนวนแมลงต่อแปลงย่อย และ (ข) treatment effect และ environmental effect เป็นในรูปผลคูณ (multiplicative effects)

3.4.3 Arcsine transformation ($\sin^{-1}\sqrt{X}$) ใช้กับ percentage data ที่มีค่าของค่าสังเกต ต่ำสุด – สูงสุด ไม่อยู่ในช่วง 0 – 30%, 70 – 100% หรือ 30 – 70% อย่างใดอย่างหนึ่ง

ข้อสังเกต

1. Count data ที่มีค่าของค่าสังเกต (X) เป็น 0 อย่างน้อย 1 ค่าให้เอาค่าคงที่ 1 หรือ .5 บวกเข้ากับค่าสังเกตทุกค่าก่อนแปลงข้อมูล

2. Percentage data ที่มีค่าสังเกตเป็น 0 หรือ 100% ให้แทนค่า 0 ด้วย $\left(\frac{1}{4n}\right)$ และค่า 100 ด้วย $\left(100 - \frac{1}{4n}\right)$ ก่อนแปลงข้อมูล เมื่อ n คือ จำนวนค่าสังเกตทั้งหมด

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> ตัวอย่างการแปลงข้อมูลโดยใช้ Arcsine Transformation ($\sin^{-1}\sqrt{X}$) โดยใช้ข้อมูลงานทดลองคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวโพดที่มีความต้านทานต่อหนอนเจาะลำต้น

* ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลเปอร์เซ็นต์ต้นที่ถูกทำลายโดย Borer ซึ่งเป็น percentage data ที่มีค่าของค่าสังเกตอยู่ระหว่าง 26.67 – 100%

* จาก Scatter diagram ของ Original data (page 2) พบว่า mean กับ variance (ในที่นี้ใช้ range แทน เนื่องจาก range สามารถใช้แทน variance ได้ในกรณีนี้และ range ก็ง่ายต่อการคำนวณมากกว่า) มีความสัมพันธ์กัน

* Arcsine Transformation เป็นวิธีการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมเนื่องจากเมื่อใช้แล้วสามารถทำให้ความสัมพันธ์ระหว่าง mean กับ variance หายไป

* การแปลงข้อมูลโดยวิธีนี้ไม่ทำให้ลำดับความสูง – ต่ำ ของค่าเฉลี่ยเปลี่ยนไป (ตาราง page 6 และ 7)

* ตารางค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการแปลผลให้ใช้ตาราง page 7

* ข้อมูลชุดนี้วิเคราะห์โดยใช้ IRRISTAT โดยสมมติค่า N = 30

ภาควิชากีฏวิทยา

TRANSFORMATION IDENTIFICATION FOR FILENAME : exb EX1 PAGE 1

TITLE :

NO. OF REPLICATIONS = 3

NO. OF TREATMENTS = 24

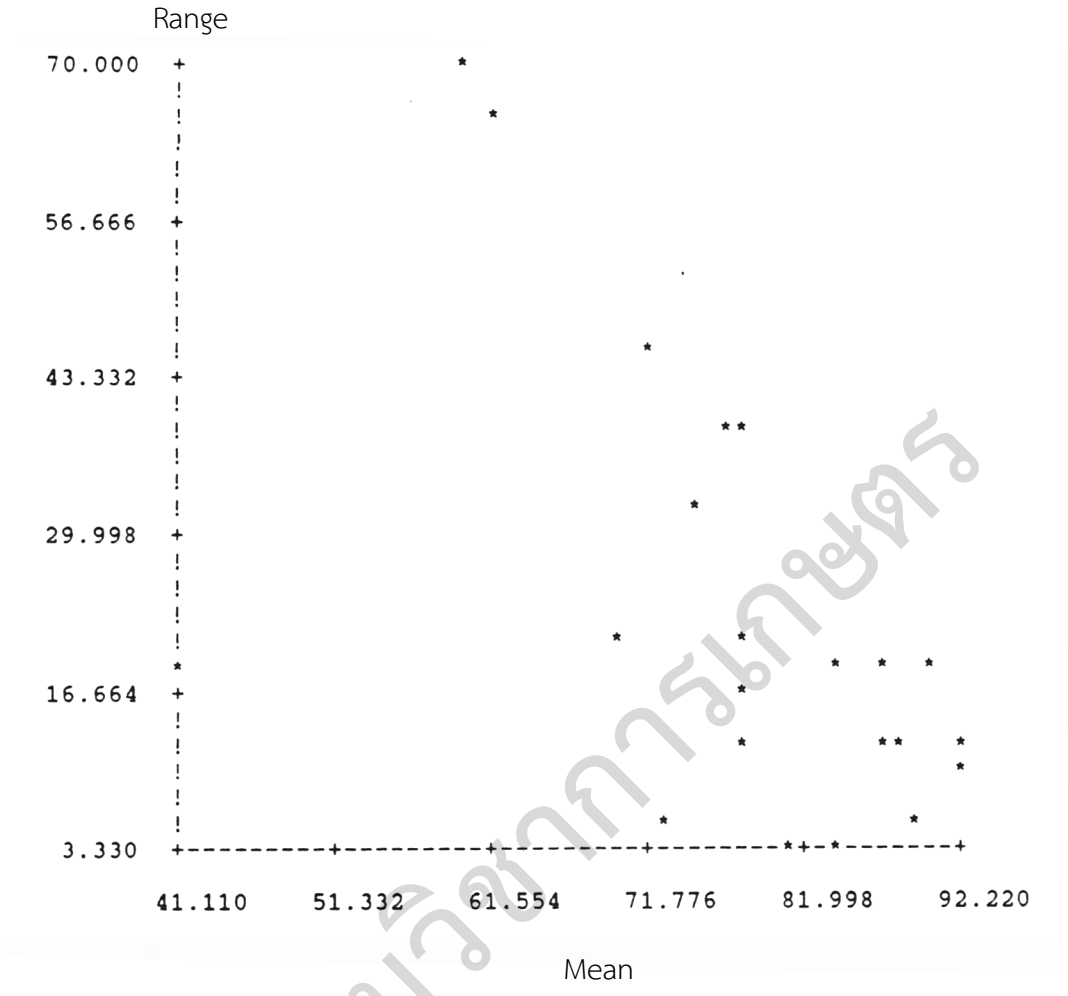
VARIABLE : tran (%)

ORIGINAL SCALE

		REP1	REP2	REP3	MEAN	RANGE
T	1	96.67	80.00	76.67	84.45	20.00
T	2	26.67/	93.33	66.67	62.22	66.66
T	3	93.33	100.00	80.00	91.11	20.00
T	4	73.33	93.33	60.00	75.55	33.33
T	5	83.33	96.67	86.67	88.89	13.34
T	6	70.00	86.67	80.00	78.89	16.67
T	7	83.33	80.00	100.00/	87.78	20.00
T	8	86.67	100.00	90.00	92.22	13.33
T	9	90.00	80.00	93.33	87.78	13.33
T	10	60.00	100.00	73.33	77.78	40.00
T	11	73.33	70.00	76.67	73.33	6.67
T	12	93.33	46.67	76.67	72.22	46.66
T	13	80.00	73.33	56.67	70.00	23.33
T	14	73.33	93.33	70.00	78.89	23.33
T	15	86.67	93.33	90.00	90.00	6.66
T	16	83.33	13.33	83.33	60.00	70.00
T	17	73.33	73.33	90.00	78.89	16.67
T	18	76.67	100.00	60.00	78.89	40.00
T	19	90.00	93.33	80.00	87.78	13.33
T	20	80.00	80.00	83.33	81.11	3.33
T	21	73.33	86.67	76.67	78.89	13.34
T	22	86.67	83.33	83.33	84.44	3.34
T	23	96.67	93.33	86.67	92.22	10.00
T	24	43.33	30.00	50.00	41.11	20.00

กรมวิชาการเกษตร

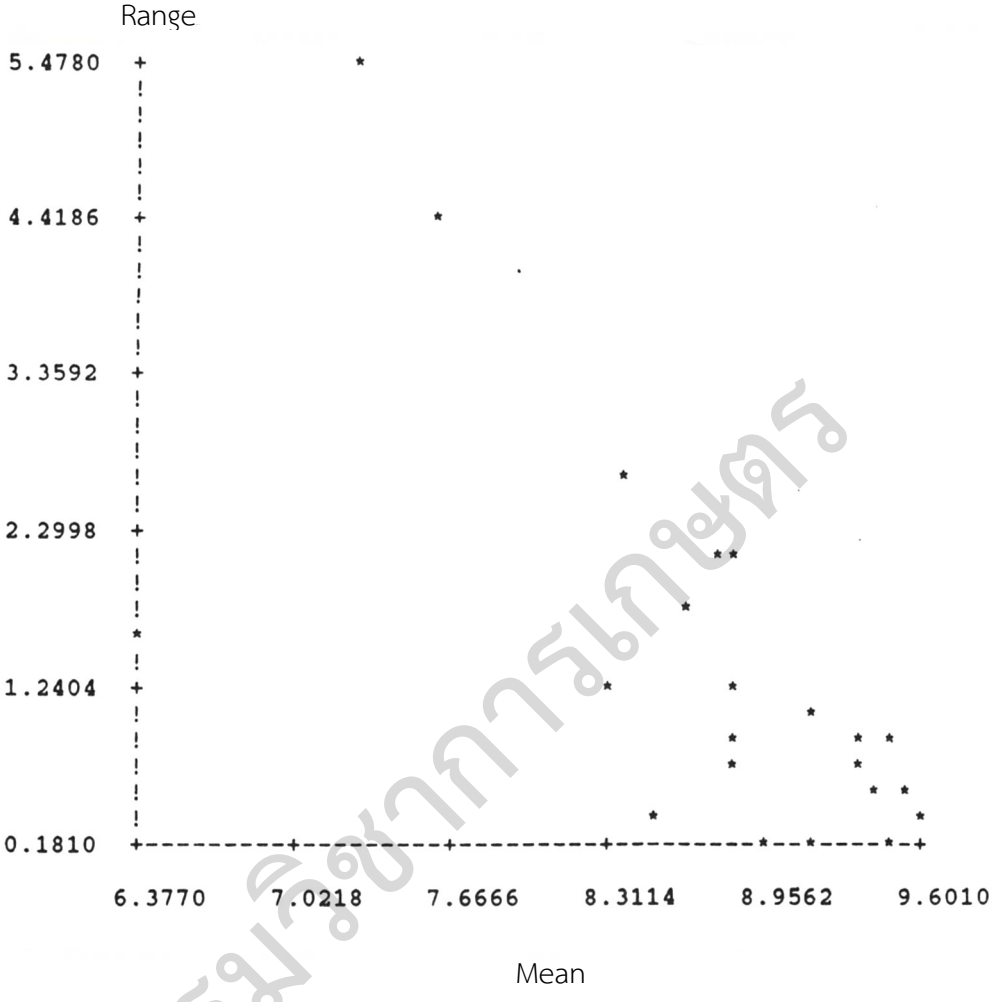
Plotting of Range vs. Mean based on Original Scale : r = –0.53** (n = 24)



NOTE : 2 hidden obns.

กรมวิชาการเกษตร

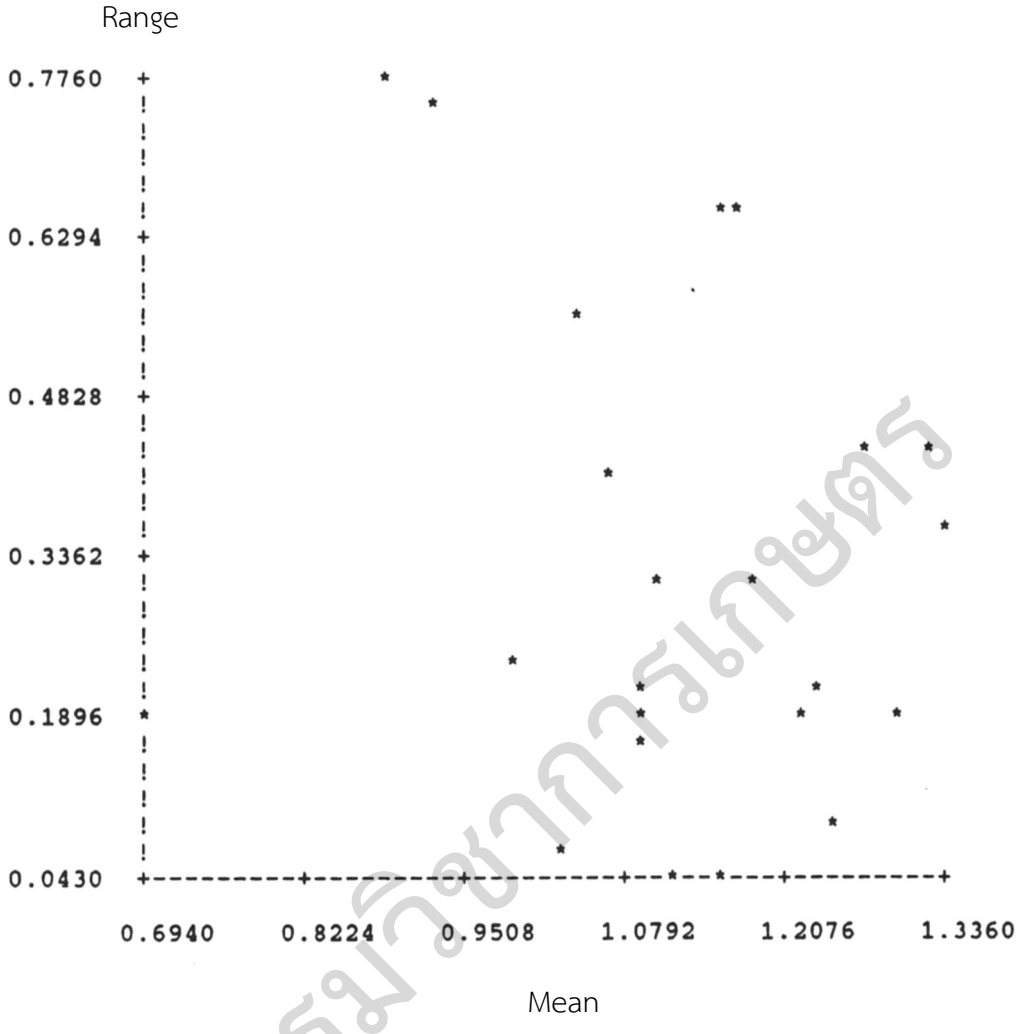
Plotting of Range vs. Mean based on Square root Scale : r = –0.65** (n = 24)



NOTE : 2 hidden obns.

กรมวิชาการเกษตร

Plotting of Range vs. Mean based on Arcsine Scale : r = –0.17 ns (n = 24)



NOTE : 2 hidden obns.

กรมวิชาการเกษตร

Tran IN ARCSINE SCALE[1]

	REP1	REP2	REP3
t1	79.4857	63.4351	61.1178
t2	31.0931	75.0331	54.7377
t3	75.0331	89.4771	63.4351
t4	58.9070	75.0331	50.7686
t5	65.9027	79.4857	68.5862
t6	56.7892	68.5862	63.4351
t7	65.9027	63.4351	75.0331
t8	68.5862	89.4771	71.5652
t9	71.5652	63.4351	75.0331
t10	50.7686	89.4771	58.9070
t11	58.9070	56.7892	61.1178
t12	75.0331	43.0907	61.1178
t13	63.4351	58.9070	48.8331
t14	58.9070	75.0331	56.7892
t15	68.5862	75.0331	71.5652
t16	65.9027	21.4139	65.9027
t17	58.9070	58.9070	71.5652
t18	61.1178	89.4771	50.7686
t19	71.5652	75.0331	63.4351
t20	63.4351	63.4351	65.9027
t21	58.9070	68.5862	61.1178
t22	68.5862	65.9027	65.9027
t23	79.4857	75.0331	68.5862
t24	41.1670	33.2110	45.0001
REP TOTALS	1,517.9755	1,616.7268	1,514.6669
REP MEAN	63.2490	67.3636	63.1111

[1]Arcsine (Sqr (X / 100))

ANALYSIS OF VARIANCE FOR tran

BASED ON VALUES TRANSFORMED TO Arcsine (Sqr (X/100))

SOV	DF	SS	MS	F
Replication (r)	2	280.2640	140.1320	<1
Treatment (T)	23	5002.1752	217.4858	1.51 ns
Error	46	6625.8083	144.0393	
Total	71	11,908.2451		

ns = not significant

กรมวิชาการเกษตร

TABLE OF TREATMENT MEAN FOR tran (%)

BASED ON TRANSFORMED SCALE

(AVE. OF 3 REPS)

TREATMENT	RANKS	MEANS	
t1	8	68.01287	ab
t2	21	53.62130	abc
t3	2	75.98177	a
t4	17	61.56957	abc
t5	6	71.32487	ab
t6	15	62.93683	ab
t7	4	72.93830	ab
t8	1	76.54283	a
t9	7	70.01113	ab
t10	11	66.38423	ab
t11	19	58.93800	abc
t12	18	59.74720	abc
t13	20	57.05840	abc
t14	13	63.57643	ab
t15	5	71.72817	ab
t16	22	51.07310	bc
t17	14	63.12640	ab
t18	9	67.12116	ab
t19	7	70.01113	ab
t20	12	64.25764	ab
t21	16	62.87034	ab
t22	10	66.79720	ab
t23	3	74.36833	ab
t24	23	39.79270	c

In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% Level by DMRT.

กรมวิชาการเกษตร

TABLE OF TREATMENT MEAN FOR tran (%)

BASED ON ORIGINAL SCALE

(AVE. OF 3 REPS)

TREATMENT	RANKS	MEANS
t1	8	84.447 ab
t2	21	62.223 abc
t3	2	91.110 a
t4	17	75.553 abc
t5	6	88.890 ab
t6	15	78.890 ab
t7	4	87.777 ab
t8	1	92.223 a
t9	7	87.777 ab
t10	11	77.777 ab
t11	19	73.333 abc
t12	18	72.223 abc
t13	20	70.000 abc
t14	13	78.887 ab
t15	5	90.000 ab
t16	22	59.997 bc
t17	14	78.887 ab
t18	9	78.890 ab
t19	7	87.777 ab
t20	12	81.110 ab
t21	16	78.890 ab
t22	10	84.443 ab
t23	3	92.223 ab
t24	23	41.110 c

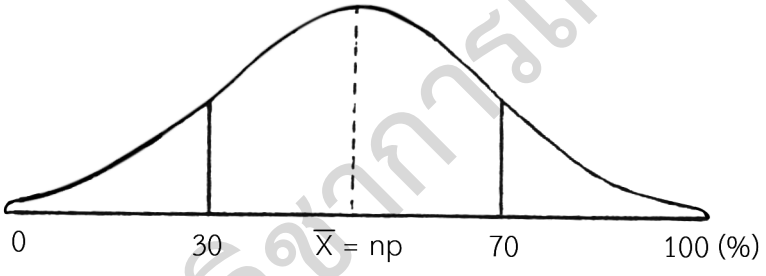
In a column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% Level by DMRT.

กรมวิชาการเกษตร

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> ตัวอย่างการแปลงข้อมูลโดยใช้ Square root transformation ($\sqrt{X}$) ใช้ข้อมูลงานทดลองแมลงศัตรูอ้อย

- ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลเปอร์เซ็นต์กออ้อยที่ถูกทำลายซึ่งเป็น percentage data โดยมีค่าของค่าสังเกตอยู่ระหว่าง 0 – 18.32%
- จาก Scatter diagram ของ Original data (page 2) พบว่า mean กับ variance มีความสัมพันธ์กัน
- Variance จะเป็นอิสระต่อ mean ได้โดยใช้ Square root transformation (page 3 – 4)

<u>สังเกต</u> ปกติแล้ว percentage data จะมีการกระจายแบบ binomial ดังภาพ ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง mean กับ variance จะตรวจพบก็ต่อเมื่อข้อมูลอยู่ในส่วนต้นหรือปลายโค้ง (0 – ≤ 30% หรือ ≥ 70 – 100%) เท่านั้น ในขณะเดียวกันอาจจะพบว่าข้อมูลที่อยู่ในช่วงดังกล่าวสามารถใช้ Arcsine transformation ได้เช่นกัน (page 5 – 6)



ข้อมูลชุดนี้วิเคราะห์โดยใช้ IRRISTAT

กรมวิชาการเกษตร

TRANSFORMATION IDENTIFICATION FOR FILENAME : exc

TITLE :

NO. OF REPLICATIONS = 4

NO. OF TREATMENTS = 8

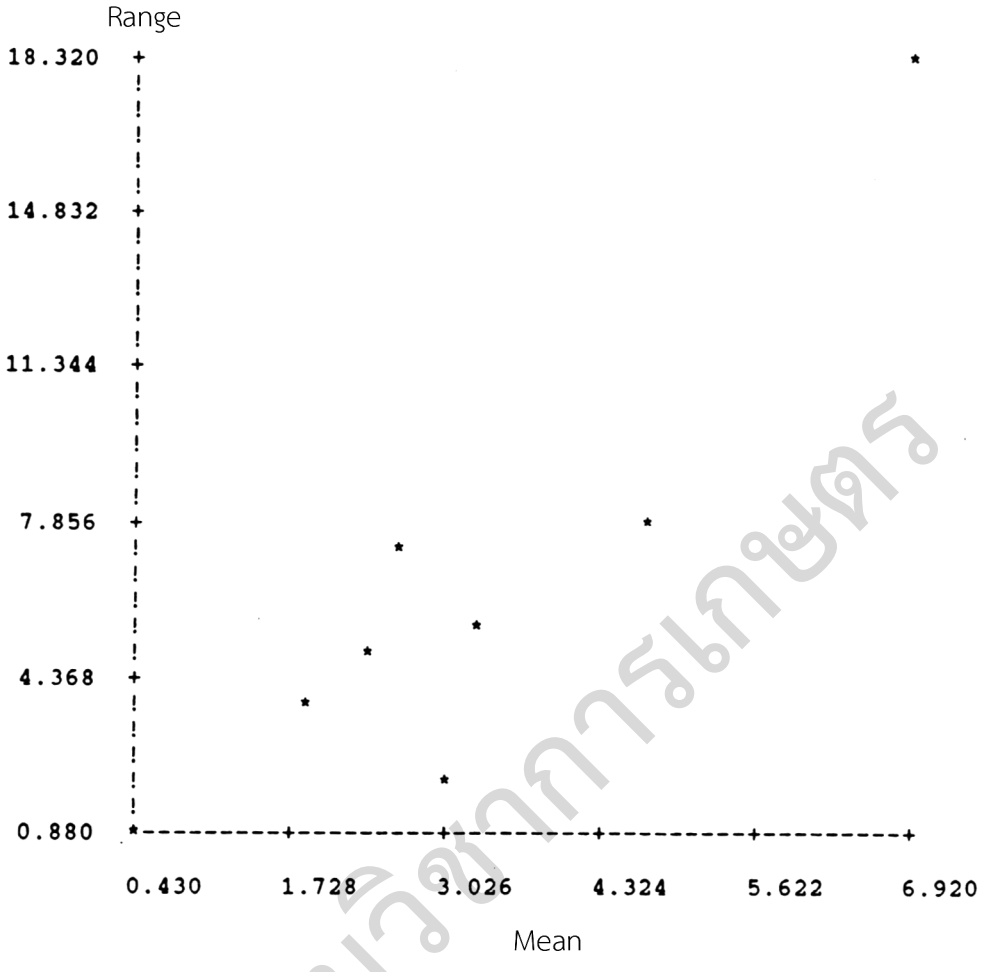
VARIABLE : tran (%)

ORIGINAL SCALE

		REP1	REP2	REP3	REP4	MEAN	RANGE
T	1	18.32	3.42	0.00	5.93	6.92	18.32
T	2	0.00	0.00	0.85	0.88	0.43	0.88
T	3	1.69	2.61	4.24	4.06	3.15	2.55
T	4	6.25	0.85	3.28	8.87	4.81	8.02
T	5	0.00	5.36	0.00	4.35	2.43	5.36
T	6	0.00	0.00	3.28	7.69	2.74	7.69
T	7	0.99	3.57	1.68	6.96	3.30	5.97
T	8	0.00	4.27	1.69	1.80	1.94	4.27

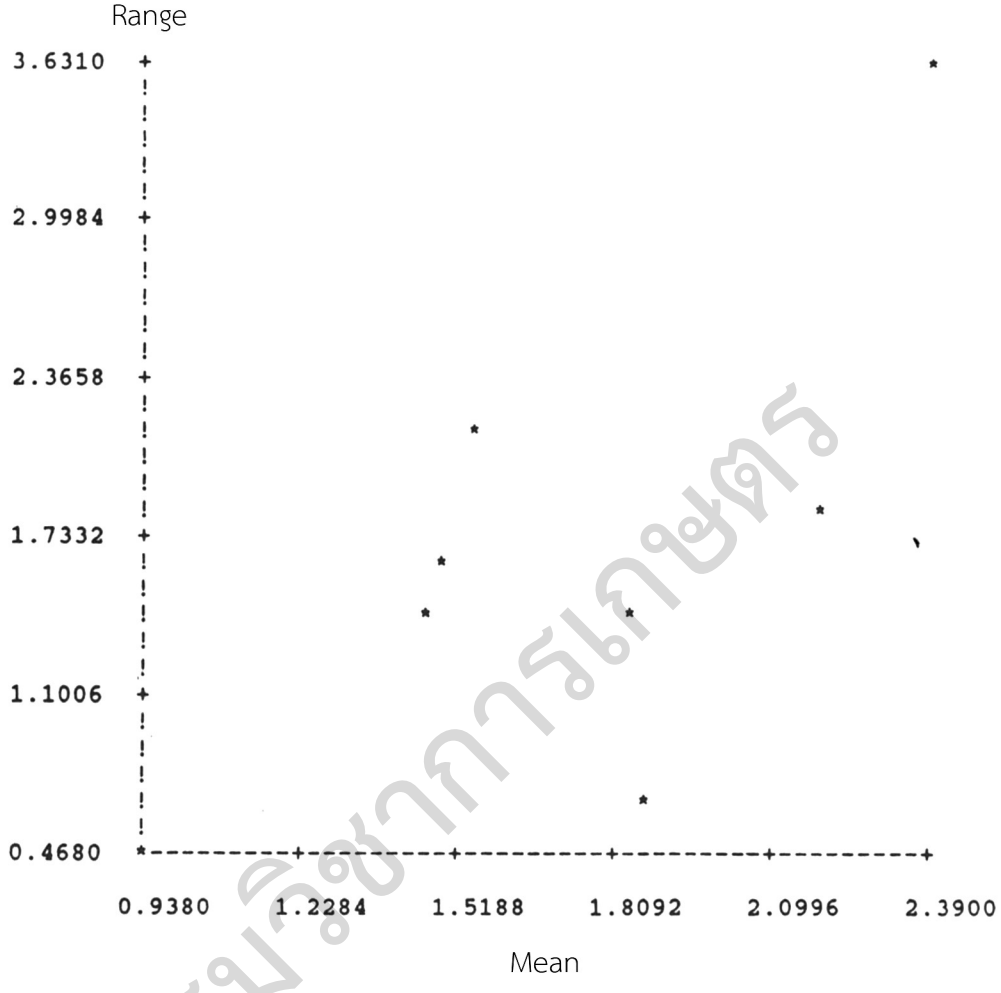
กรมวิชาการเกษตร

Plotting of Range vs. Mean based on Original Scale : r = 0.90** (n = 8)



กรมวิชาการเกษตร

Plotting of Range vs. Mean based on Square Root Scale : r = 0.69 (n = 8)



กรมวิชาการเกษตร

TRANSFORMATION IDENTIFICATION FOR FILENAME : exc

TITLE :

NO. OF REPLICATIONS = 4

NO. OF TREATMENTS = 8

VARIABLE : tran (%)

TRANSFORMED SCALE (SQR (X+.5))

		REP1	REP2	REP3	REP4	MEAN	RANGE
T	1	4.338	1.980	0.707	2.536	2.390	3.631
T	2	0.707	0.707	1.162	1.175	0.938	0.468
T	3	1.480	1.764	2.177	2.135	1.889	0.697
T	4	2.598	1.162	1.944	3.061	2.191	1.899
T	5	0.707	2.421	0.707	2.202	1.509	1.714
T	6	0.707	0.707	1.944	2.862	1.555	2.155
T	7	1.221	2.017	1.476	2.731	1.861	1.510
T	8	0.707	2.184	1.480	1.517	1.472	1.477

ANALYSIS OF VARIANCE FOR tran

BASED ON VALUES TRANSFORMED TO Sqr (X+1)

SOV	DF	SS	MS	F
Replication (r)	3	2.7583771	0.9194590	1.59 ns
Treatment (T)	7	4.9246021	0.7035146	1.21 ns
Error	21	12.1766396	0.5798400	
Total	31	19.8596191		

ns = not significant

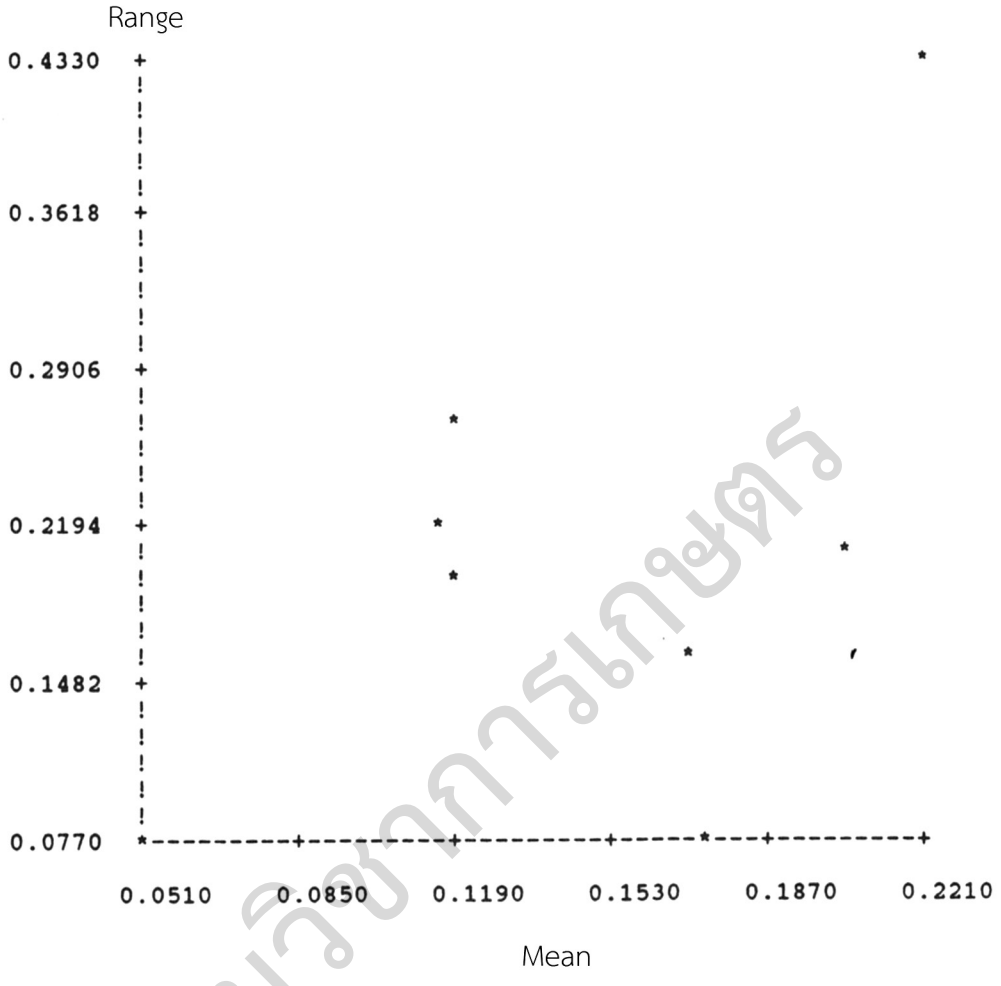
TABLE OF TREATMENT MEANS FOR tran (%)

BASED ON ORIGINAL SCALE (AVE. OF 4 REPS)

TREATMENT	MEANS	DIFFERENCE
t1	6.918	4.978 ns
t2	0.433	–1.508 ns
t3	3.150	1.210 ns
t4	4.813	2.872 ns
t5	2.428	0.488 ns
t6	2.743	0.803 ns
t7	3.300	1.360 ns
t8 (CONTROL)	1.940	–

กรมวิชาการเกษตร

Plotting of Range vs. Mean based on Arcsine Scale : r = 0.49 ns (n = 8)



กรมวิชาการเกษตร

Tran IN ARCSINE SCALE[1]

	REP1	REP2	REP3	REP4
t 1	25.3419	10.6572	0.5230	14.0942
t 2	0.5230	0.5230	5.2899	5.3827
t 3	7.4696	9.2972	11.8829	11.6244
t 4	14.4775	5.2899	10.4343	17.3271
t 5	0.5230	13.3864	0.5230	12.0384
t 6	0.5230	0.5230	10.4343	16.0997
t 7	5.7103	10.8912	7.4474	15.2968
t 8	0.5230	11.9255	7.4696	7.7103
REP TOTALS	55.0915	62.4935	54.0045	99.5736
REP MEANS	6.8864	7.8117	6.7506	12.4467

[1]Arcsine (Sqr (X/100))

MORE...

ANALYSIS OF VARIANCE FOR tran
BASED ON VALUES TRANSFORMED TO Arcsine (Sqr (X/100))

SOV	DF	SS	MS	F
Replication (r)	3	173.69322	57.89774	1.72 ns
Treatment (T)	7	290.48465	41.49781	1.23 ns
Error	21	707.19099	33.67576	
Total	31	1,171.36890		

ns = not significant

TABLE OF TREATMENT MEANS FOR tran (%)
BASED ON ORIGINAL SCALE (AVE. OF 4 REPS)

TREATMENT	MEANS	DIFFERENCE
t1	6.918	4.978 ns
t2	0.433	−1.508 ns
t3	3.150	1.210 ns
t4	4.813	2.872 ns
t5	2.428	0.488 ns
t6	2.743	0.803 ns
t7	3.300	1.360 ns
t8 (CONTROL)	1.940	–

ศูนย์วิทยทรัพยากร

การใช้เทคนิคทางสถิติในการดำเนินงานทดลอง

ถึงแม้การวางแผนงานทดลอง (Experiment design) จะมีความสำคัญมากก็ตาม แต่ถ้าไม่มีความรู้เกี่ยวกับการดำเนินงานทดลองในไร่นาและไม่มีความระมัดระวังในการดำเนินงานทดลองหรือขาดความรู้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ถูกต้อง นักวิชาการก็ไม่สามารถที่จะนำผลงานทดลองนั้นมาวิเคราะห์และสรุปเหตุผลให้เป็นที่เชื่อถือได้ เช่น การทดลองเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยหรือยาปราบศัตรูพืชต้องศึกษาหาวิธีไม่ให้ปุ๋ยหรือยาเคมีปะปนกัน โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปุ๋ยอัตราต่าง ๆ กัน หรือเปรียบเทียบประสิทธิภาพของยาต่างชนิดกัน เป็นต้น

ในการนำเอาแผนการทดลองต่าง ๆ (Design) ไปใช้ทดลองในไร่นาจะเห็นได้ชัดว่านอกเหนือจากปัญหาเรื่องน้ำแล้ว ดินจะมีความสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงเป็นอันดับหนึ่ง

ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Soil heterogeneity)

มักจะกล่าวกันเสมอว่า ถ้าจะเลือกที่ดินที่ทำการทดลอง ควรจะหาที่ ๆ มีความสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นการยากที่จะหาได้ตามทฤษฎีดังกล่าว นักวิชาการทราบว่าเมื่อได้ทำการปลูกพืชลงไปในพื้นที่ที่เท่ากัน 2 แปลง มีการเตรียมดิน ดูแลรักษา ใส่ปุ๋ย ยาปราบศัตรูพืชเหมือนกันทุกอย่าง แต่ผลที่ได้ของแต่ละแปลงนั้นย่อมไม่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากสาเหตุหลายประการที่ไม่สามารถจะแจงรายละเอียดได้ แต่ที่เห็นชัดก็คือความแตกต่างระหว่างลักษณะต่าง ๆ ของพืชนั้น เช่น ความสูง การออกดอก ผลผลิตที่แตกต่างกันเห็นชัด

ปัญหาที่เรามักจะพูดถึงเริ่มแรกที่จะทำการทดลองปลูกพืชอะไรก็ตาม ก็คือว่าจะเลือกพื้นที่ทดลองที่ถือว่าจะเป็นตัวแทนที่ดีได้อย่างไร

ปัญหานี้ตอบได้ว่า ควรพยายามเลือกที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ซึ่งปฏิบัติยาก แต่ที่ง่ายกว่าก็คือว่าควรจะพิจารณาหลีกเลี่ยงที่ดินซึ่งมีลักษณะดังต่อไปนี้คือ

1. **ที่ลาดเอียง (Slope)**

พื้นที่ใดเป็นที่ลาดเอียง จะเห็นได้ว่าดินตอนล่าง ๆ มีความอุดมสมบูรณ์ดีกว่าตอนบน ทั้งนี้เนื่องด้วยแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมักถูกละลายได้ง่าย ด้วยเหตุนี้จึงถูกชะล้างละลายไหลลงมาตามแนวลาดเอียง ถ้าท่านจะเลือกที่ ๆ ทำการทดลอง (ถ้าหลีกเลี่ยงได้) ก็ไม่ควรที่จะเลือกที่ลาดชันหรือเลือกที่ ๆ เป็น Slope น้อยที่สุด แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้ที่ ๆ เป็น Slope ในการทดลองจำเป็นต้องนำเอาวิธี Blocking มาใช้

2. ที่ ๆ เคยทำการทดลองปลูกพืชอื่นมาก่อน (Areas used for experiments in previous croppings)

ในงานทดลองใดก็ตาม ถ้ามีสิ่งสนใจจะทดสอบ (treatment) หลายชนิด เช่น การเปรียบเทียบปุ๋ยหลายอัตรา หรือยาปราบศัตรูพืชหลายชนิด ยิ่งจะทำให้ความอุดมสมบูรณ์แตกต่างกันมาก นอกจากนั้นยังมีการตกค้างของปุ๋ยหรือยาฆ่าแมลงเหล่านั้นหลงเหลืออยู่ ด้วยเหตุนี้เพื่อจะทำให้การทดลองชุดถัดไปไม่มีผลตกค้างเหล่านั้น ควรที่จะเว้นการทดลองเปรียบเทียบ treatment ใด ๆ ซ้ำลงในที่ดินผืนเดิมสักระยะหนึ่งก่อน และแล้วในระหว่างนั้นให้ทำการปลูกพืชชนิดเดียวกันโดยมี cultural practice ต่าง ๆ เหมือนกันโดยให้มีการดูแลรักษาเหมือนกัน ซึ่งเรียกว่า Uniformity Trial

ลิขสิทธิ์กรมวิชาการเกษตร

สัก 1 – 2 crop ก่อนแล้วจึงใช้ที่ทดลองผืนนั้นทำการทดลองเปรียบเทียบงานทดลองเดิมซ้ำ หรือชุดอื่น ๆ ต่อไป ทั้งนี้เพื่อว่าในช่วงที่ปลูกพืชแบบ Uniformity Trial นั้นเป็นเวลาที่ดินจะได้ปรับตัวให้มีความสม่ำเสมอดีขึ้น

3. ที่ว่างระหว่างแปลงย่อยหรือระหว่างซ้ำ (Presence of unplanted alleys)

จะสังเกตเห็นว่า ถ้าปลูกพืชลงในที่ดินซึ่งเป็นที่ว่างระหว่าง Strip หรือเป็นทางเดิน พืชจะแสดงความเจริญเติบโตดีกว่าต้นที่ปลูกภายในแปลงย่อย เพื่อเป็นการเลี่ยงค่าของ error ที่จะเกิดเพิ่มขึ้นควรจะมีการทำเครื่องหมาย “ที่ว่าง” นั้นไว้ เพื่อว่าในการปลูกพืชครั้งต่อไปจะได้เว้นที่ไว้เช่นเดิมจะได้ไม่ปลูกพืชลงบน “ที่ว่าง” นั้น

4. ที่ ๆ ซึ่งทำการปรับใหม่ (Graded areas)

ในการปรับที่ดินที่เป็น Slope ก็ดีหรือที่ที่เป็นลุ่มหรือดอนผิดปกติ การเกลี่ยดินให้สม่ำเสมอกันจะทำให้ดินที่อยู่ข้างบนกลับลงไปอยู่ข้างล่าง เป็นเหตุให้เกิดความอุดมสมบูรณ์ของดินแตกต่างกันมากและในขณะเดียวกันทำให้ดินข้างบนมีความอุดมสมบูรณ์น้อย ความแตกต่างระหว่างระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินมักจะเกิดขึ้นและคงตัวอยู่นานเป็น 2 – 3 ปี ด้วยเหตุนี้ที่ที่เพิ่งมีการปรับ (Graded) ใหม่ ๆ ควรจะเลี่ยงใช้เป็นที่ปลูกพืชทดลอง แต่ถ้าเลี่ยงไม่ได้ควรจะทำการปลูกพืชแบบ Uniformity Trial ก่อนแล้วทำการปลูกพืชทดลอง

4.1 Blocking ที่ผืนนั้น ได้แก่การแบ่งที่ผืนนั้นตามลักษณะความอุดมสมบูรณ์ของดินให้แต่ละ Block มีความแตกต่างของความอุดมสมบูรณ์ของดินอย่างเห็นชัด แต่พยายามให้ภายใน Block มีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด

4.2 หรือทำการ Adjustment ผลผลิตแบบ Co – variance analysis กล่าวคือ ทำการปรับผลผลิตที่ได้หลังจากปลูกแบบ Uniformity Trial

โดยให้ X เป็นผลผลิตของปีแรก (initial weight)

Y เป็นผลผลิตของปีต่อไป (final weight)

5. บริเวณที่ ๆ ซึ่งยังมีต้นไม้ใหญ่ เสาโรงเรียน และสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ

บริเวณที่ต่าง ๆ ดังกล่าวแล้วไม่เหมาะสมที่จะปลูกพืช เนื่องจากจะทำให้พืชไม่เจริญเท่าที่ควรด้วยเหตุของร่มเงา หรือดินที่ขุดขึ้นมาในบริเวณก่อสร้าง ทำให้พืชไม่เจริญงอกงาม

6. ที่ดินไม่เหมาะสมกับพืชชนิดนั้น ๆ

ก่อนทำการทดลองพืชใด ๆ ก็ตาม ควรจะทำการศึกษาจนแน่ใจว่าชนิดดินนั้นเหมาะสมกับพันธุ์พืชนั้น ๆ หรือไม่ ควรจะหลีกเลี่ยงดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ นอกเหนือจากการทดลองที่มีจุดประสงค์เพื่อจะศึกษาลักษณะของดินชนิดนั้นโดยตรง เช่น ดินที่เป็นกรดจัด ดินเค็ม เป็นต้น

กลุ่มวิชาการเกษตร

การวัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Measuring soil heterogeneity)

ถ้าทราบประวัติของความอุดมสมบูรณ์ในดินที่ทำการทดลองก่อนย่อมเป็นแนวทางที่นักวิชาการสามารถที่จะตัดสินใจเลือกที่ดินได้ถูกต้อง มีวิธีที่จะสามารถวัดความอุดมสมบูรณ์ของดินได้โดยการทำ Uniformity Trial

Uniformity Trial คือ การปลูกพืชลงในพื้นที่แห่งใดแห่งหนึ่งที่ต้องการทราบลักษณะดินว่ามีความอุดมสมบูรณ์เป็นอย่างไร พืชจะต้องเป็นพันธุ์เดียวกันหมดทั้งผืน มีการปลูก เช่น ระยะปลูก จำนวนต้น/หลุม การดูแลรักษา การใส่ปุ๋ย ฯลฯ สม่ำเสมอทั่วกันทั้งแปลง ปัจจัยอื่น ๆ นอกจากดินต้องพยายามให้อยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน แล้วจึงทำการแบ่งผืนดินที่ปลูกพืชนั้น ๆ ออกเป็นหน่วยเล็ก ๆ ขนาดเท่ากัน เรียกว่า “Basic unit” (b.u.) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช เช่น

1. ถ้าเป็นพืชไร่ขนาดเล็ก เช่น ข้าว ข้าวโพด ถั่วต่าง ๆ อาจแบ่งออกเป็นแถว เช่น ในการศึกษาเรื่องข้าว basic unit หนึ่ง จะทำการเก็บ 8 ต้นต่อแถว โดยปลูกข้าวให้มีระยะห่างระหว่างแถว x ต้น เท่ากับ 20 x 20 เซนติเมตร เป็นต้น

2. ถ้าเป็นพืชไร่ขนาดใหญ่ เช่น มันสำปะหลัง อ้อย ฯลฯ ควรแบ่งพื้นที่ออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเล็ก ๆ ขนาด 1 ตารางเมตร เป็นต้น

เมื่อแบ่งพืชออกเป็นหน่วยเล็ก ๆ แล้วจึงทำการเก็บข้อมูลของลักษณะต่าง ๆ มาศึกษา เช่น ผลผลิต ความสูง ฯลฯ โดยเฉพาะผลผลิตของแต่ละหน่วย สามารถนำมาศึกษาหาความสมบูรณ์ของดินได้

ขนาดของ basic unit ที่ใช้วัดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ถ้าสามารถเก็บขนาด b.u. เล็กได้เท่าใดทำให้สามารถศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ละเอียดยิ่งขึ้น แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับแรงงาน งบประมาณเพราะถ้าเก็บขนาดเล็กมากก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงขึ้น

การทำแผนภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Soil heterogeneity contour map)

ตัวอย่างจากการศึกษา uniformity Trial ได้ทำที่สถานีทดลองข้าวคลองหลวงในฤดูการทำนาปี 2516 และที่สถานีทดลองสุพรรณบุรี ในพื้นที่ 20 x 40 เมตร มีระยะห่างเท่ากับ 20 x 20 เซนติเมตร ใส่ปุ๋ย N – P – K ในอัตรา 20 – 6 – 6 กิโลกรัมต่อไร่ โดยพยายามใส่ให้สม่ำเสมอ การป้องกันกำจัดโรคแมลงข้าวได้ควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิด ได้ทำการเก็บเกี่ยวแถวนอก (bordered row) ทิ้งประมาณ 4 แถวโดยรอบ เหลือจำนวนต้นที่ได้ทำการเก็บเกี่ยวผลเพียง 96 แถว x 192 ต้น ทำการเก็บเกี่ยวทีละแถว โดยแต่ละแถวได้เก็บผลจากต้นข้าว 8 ต้น ที่ปลูกติดต่อกันเป็นหนึ่งหน่วย (1 basic unit) หรือเท่ากับแถวยาว 1.60 เมตร ด้วยเหตุนี้จึงมีจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 96 แถว แต่ละแถวมีจำนวน 24 หน่วย แต่ละหน่วยทำการนวด ชั่งแยกกันแล้วคำนวณปรับน้ำหนักข้าวให้เทียบค่าความชื้นที่ 14% เหมือนกันหมดทุกค่า นำผลผลิตที่ปรับแล้วมาทำแผนภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยคำนวณจากการใช้ค่าน้ำหนักของแปลงย่อยที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีขนาด 2.56 ตารางเมตร จากจำนวน basic unit ที่อยู่ติดต่อกันเป็นกลุ่ม 9 ค่า นำมาหาค่าเฉลี่ย (Nine moving average)

จากรูปภาพที่ 1 (หน้า 207) จะเห็นได้ว่า ความอุดมสมบูรณ์ของที่ปลูกข้าวแปลงนี้ไม่ค่อยสม่ำเสมอแสดงความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นหย่อม (spot) โดยเฉพาะด้านซ้ายของรูปเห็นได้ชัดว่าไม่มีความสม่ำเสมอ ด้านขวาของรูปแสดงว่ามี gradient จากสูงไปต่ำ ซึ่งสรุปได้ว่า

กรมวิชาการเกษตร

1. ถ้าจะมีการทดลองปลูกพืชบนลักษณะดินทางซีกด้านขวา อาจจะแบ่งพื้นที่ออกเป็นแบบ complete block ได้กล่าวคือ แบ่ง block ตั้งฉากกับ gradient ของดิน อาจจะได้ประมาณ 2 – 3 complete block เป็นต้น

2. ส่วนดินซีกทางซ้ายของภาพ ไม่สามารถแบ่ง block ชนิดสมบูรณ์ได้ควรจะแบ่งเป็น sub block เล็ก ๆ ภายใน block ใหญ่ กล่าวคือ ควรใช้การวางแผนแบบ Incomplete block (หรือเรียกว่า Lattice design) เป็นต้น

ขนาดและรูปร่างของแปลงย่อย (Plot size and Plot shape)

ในการทดลองปลูกพืชในสถานีทดลองหรือไร่นา ต้องคำนึงถึงขนาดและรูปร่างของแปลงย่อยที่เหมาะสมของแต่ละพืช รวมทั้งการวางทิศทางของแปลงย่อยด้วย เนื่องด้วยเหตุดังกล่าวจะมีผลต่อค่าของ experimental error ถ้าขนาดของ plot เล็กเกินไปอาจทำให้ได้ผลที่เชื่อถือไม่ได้ ในขณะเดียวกันถ้า plot ใหญ่เกินความจำเป็น ย่อมเป็นการเสียเวลา แรงงานและงบประมาณโดยใช่เหตุ

ดูตัวอย่างของการปลูกข้าวแบบ Uniformity Trial

จากตารางที่ 1 (หน้า 210) และรูปภาพที่ 2 (หน้า 208) จะเห็นได้ว่า โดยหลักทั่ว ๆ ไปเมื่อขนาดของ plot size ใหญ่ขึ้น ค่าของ Coefficient of variation (C.V.) จะลดลงเรื่อย ๆ แต่จะถึงจุดหนึ่งที่ถึงแม้จะเพิ่มขนาดของแปลงย่อย (plot size) ขึ้นไปอีกก็ตาม แต่ค่าของ C.V. จะไม่เปลี่ยนแปลงซึ่งจากรูปภาพที่ 2 นี้ จะสามารถประมาณขนาดของแปลงย่อยได้ใกล้เคียงพอสมควร

ขนาดของแปลงย่อย (Plot size) หาได้ 2 วิธี

1. จากการอ่านจากรูปกราฟสรุปได้ว่า เมื่อขนาด plot size ประมาณ 5 – 8 ตารางเมตร ค่าของ C.V. จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งสรุปได้ว่าในการเก็บผลผลิตของข้าวควรจะเก็บจากพื้นที่ที่ไม่รวมแถวริม (net area) ประมาณ 5 – 8 ตารางเมตร เป็นอย่างน้อยที่สุด

2. จากค่า basic unit ที่เก็บได้จากหน่วยเล็ก ๆ ในตารางที่ 1 คือ มีพื้นที่ตั้งแต่ 0.32 ตารางเมตร ถึง 46.08 ตารางเมตร ซึ่งมีขนาดและรูปร่างต่างชนิดกันประมาณ 50 ตัวอย่าง เมื่อนำมาหาค่าแปลงย่อยที่เหมาะสม (Optimum plot size) โดยวิธีการของ Fairfield Smith ซึ่งมีสูตร

$$X_{opt} = \frac{b}{1-b} \times \frac{K_1}{K_2}$$

X_{opt} = ขนาดของแปลงย่อยที่เหมาะสม

B = ค่าของ Soil Heterogeneity เป็นค่าที่หาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า Variance ของแต่ละแปลงย่อยกับค่าของขนาด plot size ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้า b มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า ดินชนิดนั้นเป็นแบบ Complete Uniformity ถ้า b มีค่าเท่ากับ 1 หมายความว่าเป็น Extreme Heterogeneity

K_1 = ค่าของแรงงานต่อแปลงย่อย (Small plot size) ตัวอย่างเช่น เป็นค่าแรงงานเกี่ยวกับการปลูก การจดบันทึกผลการเก็บเกี่ยวผลหรือการชั่งผลผลิตของแต่ละแปลงย่อย

กรมวิชาการเกษตร

K_2 = ค่าแรงงานต่อพื้นที่ที่ใช้ปลูกผืนใหญ่ ซึ่งภายในแปลงใหญ่ย่อมบรรจุด้วยแปลงย่อยหลายแปลง จะเป็นข้อมูลของการเตรียมดิน การไถคราด การยกร่อง การหว่านปุ๋ย การใช้ยาปราบศัตรูพืช หรือการเก็บวัชพืช เป็นต้น

ตัวอย่างจากการศึกษาหา plot size ของข้าวได้ค่า

$$X_{opt} = \frac{0.513}{(1 - 0.513)} \times \frac{2.555}{0.544} = 4.95 \text{ ตารางเมตร}$$

สรุปได้ว่า

1. จากการหาโดยใช้สูตรของ Smith ได้ขนาดของแปลงย่อยที่เหมาะสมที่ใช้สำหรับในแปลงทดลอง ในสถานีทดลองประมาณ 5 ตารางเมตร (net area) ทั้งนี้ไม่รวมแถวริม (bordered row)

2. จากการอ่านจากกราฟจะได้ขนาดแปลงย่อยประมาณ 5.6 ตารางเมตร สำหรับพืชทั่วไป มักจะหาจากรูปกราฟเนื่องด้วยเป็นการยุ่งยากและเสียเวลามากที่จะทำการเก็บค่า K_1 และ K_2

รูปร่างของแปลงย่อย (Plot shape) ในการที่จะตัดสินว่าแปลงย่อยควรมีรูปร่างอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับความสะดวกในการปฏิบัติอย่างหนึ่ง และขึ้นอยู่กับผลวิเคราะห์ทางสถิติอีกอย่างหนึ่ง

ตารางที่ 2 (หน้า 211) แสดงว่าค่า “F – ratio” เป็นค่าที่เปรียบเทียบความแปรปรวนระหว่างแปลงย่อยที่มีพื้นที่เท่ากัน แต่มีรูปร่างต่างกัน จะเห็นได้ว่าแปลงย่อยที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว (Long narrow plot) จะให้ประสิทธิภาพดีกว่าชนิดที่มีรูปร่างค่อนข้างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Short and Wider) ทั้งนี้จะเห็นได้ชัดในงานทดลองข้าวและฝ้ายโดยเฉพาะฝ้ายยิ่งเห็นชัดเจนมาก ทั้งนี้เพราะฝ้ายมีรูปร่างของ plot ค่อนข้างยาวมาก (ตารางที่ 3 หน้า 212) จึงจะให้ประสิทธิภาพดีกว่า ส่วนข้าวโพดจะมีรูปร่างของ plot แบบไหนก็ได้ไม่แสดงความแตกต่างกันมากนัก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4 (หน้า 213)

กรมวิชาการเกษตร

ขนาดและรูปร่างของแปลงย่อย กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์ทางสถิติงานวิจัยเกษตร ได้ศึกษาเกี่ยวกับขนาดเดิม และรูปร่างแปลงย่อยของข้าว พืชไร่อื่น ๆ (ปี 2517 – 2530) สรุปได้ดังนี้

ขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมของแปลงทดลองข้าว

ข้าว	ขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยว[1/] (ตารางเมตร)	รูปร่าง
นาสวน		
นาดำ	5	สี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว
นาหว่าน	10	สี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว
ขึ้นน้ำ		
นาดำ	9	สี่เหลี่ยมจัตุรัส
นาหว่าน	25	สี่เหลี่ยมจัตุรัส
ข้าวไร่	10	สี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว

[1/] ขนาดแปลงย่อยไม่ควรน้อยกว่านี้

ขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมของแปลงทดลองพืชไร่

ชนิดของพืชไร่	ขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยว[1/] (ตารางเมตร)	รูปร่างของแปลงย่อย
งา	6	สี่เหลี่ยมมุมฉากไม่จำกัดรูปร่าง
ถั่วเหลือง ถั่วเขียว	6	สี่เหลี่ยมมุมฉากไม่จำกัดรูปร่าง
ถั่วลิสง	7.2	สี่เหลี่ยมมุมฉากไม่จำกัดรูปร่าง
ข้าวโพด ข้าวฟาง	9	สี่เหลี่ยมมุมฉากไม่จำกัดรูปร่าง
ละหุ่ง	10	สี่เหลี่ยมมุมฉากไม่จำกัดรูปร่าง
มันสำปะหลัง	18	สี่เหลี่ยมมุมฉากไม่จำกัดรูปร่าง
ปอแก้ว	7.2	สี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว
ฝ้าย	15	สี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว
อ้อย	15	สี่เหลี่ยมมุมฉากไม่จำกัดรูปร่าง
ยาสูบ	7.2	สี่เหลี่ยมมุมฉากไม่จำกัดรูปร่าง
กระเทียม	7.2	สี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว

[1/] ขนาดแปลงย่อยไม่ควรน้อยกว่านี้

<u>หมายเหตุ</u> 1. ขนาดของแปลงย่อยสำหรับแต่ละพืชนี้ ถือเป็นพื้นที่เก็บผล (Havested area) ทั้งนี้ไม่รวมแถวริม ซึ่งควรจะมีการทดลองทุกชนิด จะมีแถวคุมกี่แถวก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานทดลองแต่ละชนิด

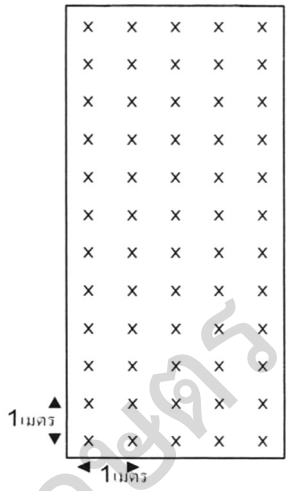
2. ไม้ยืนต้น ควรจะเก็บผลมาศึกษาอย่างน้อยจากจำนวน 6 – 16 ต้นต่อ treatment ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของไม้ผล และความอุดมสมบูรณ์ของดิน

กรมวิชาการเกษตร

การจัดระยะปลูกในแปลงย่อย

ในการปลูกพืชเป็นแถวจะคำนึงถึงการเจริญเติบโตของต้นพืช โดยเฉพาะรากที่จะมีการแผ่กระจายไป ฉะนั้นการปลูกพืชจึงควรเว้นพื้นที่จากขอบแปลงเข้ามาครึ่งหนึ่งของระยะปลูกที่ใช้ เช่น การปลูกมันสำปะหลัง ที่มีระยะปลูก 1 x 1 เมตร มีขนาดแปลงปลูก (Plot Size) 5 x 12 เมตร ควรปลูกได้ 5 แถว ๆ ละ 12 หลุม ดังรูป (ไม่ใช่ 6 แถว ๆ ละ 13 หลุม)

Plot Size 5 x 12 เมตร
ระยะปลูก 1 x 1 เมตร
ปลูกได้ 5 แถว ๆ ละ 12 หลุม



การเลือกใช้จำนวนต้นต่อหน่วยทดลอง

คำถามส่วนใหญ่ที่นักวิจัยมักจะถามนักสถิติ ก็คือ “หน่วยทดลองคืออะไร” คำตอบมักจะเป็นว่า “ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย” เช่น ชนิดและขนาดของพืช ชนิดของทรีตเมนต์หรืออิทธิพลของสิ่งแวดล้อม และที่สำคัญที่สุด คือขึ้นอยู่กับทรัพยากรที่หาได้สำหรับงานทดลองนั้น ๆ โดยทั่วไปหน่วยทดลองมักจะมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะใช้กับทรีตเมนต์ของเราได้ ทั้งยังต้องให้การวัดอิทธิพลของทรีตเมนต์ในแปลงที่อยู่ติดกันเป็นอิสระต่อกัน เหตุผลอีก 2 ข้อ ในการเลือกใช้หน่วยทดลองขนาดเล็กแทนขนาดใหญ่ก็คือ

ก. เมื่อมีทรัพยากรจำกัด การใช้หน่วยทดลองขนาดเล็กทำให้สามารถทำการทดลองได้หลายซ้ำ

ข. สำหรับแผนการทดลองที่มีการจัดบล็อคหน่วยทดลองขนาดเล็ก จะทำให้เกิดความสม่ำเสมอภายในบล็อคเดียวกันได้มากกว่า

ในงานทดลองไม้ยืนต้น มีประเภทของหน่วยทดลองอยู่ 3 ลักษณะที่นักวิจัยจะเกี่ยวข้องด้วยเสมอ คือ

1. Sub – tree plots หมายถึง การนำเอากิ่ง ก้าน ดอก หรือผลของต้นพืชมาเป็นหน่วยทดลองแต่มักจะไม่ใช้บ่อยนัก ในกรณีที่ทรีตเมนต์มีอิทธิพลต่อต้นพืชทั้งต้น หรือต้นพืชที่สามารถดูดซึมได้ (mobilize) เช่น การพ่นยาประเภทดูดซึมที่ใบเพื่อป้องกันโรคและแมลงไม่ควรที่จะใช้ Sub – tree plots

ชนิดของทรีตเมนต์ ที่ควรใช้กับ Sub – tree plots ควรใช้ทรีตเมนต์กับกิ่ง ช่อดอก หรือกับผล โดยที่ไม่มีผลกระทบต่อส่วนอื่นของกิ่งหรือผลที่อยู่ใกล้เคียงกัน เช่น การผสมเกสรด้วยมือ การใช้ถุงคลุมผลไม้ เป็นต้น

การใช้สารเคมีชนิดพ่นไม่แนะนำให้ใช้กับ Sub – tree plots เพราะอาจทำให้สารเคมีปลิวไปถูกส่วนอื่นของต้นไม้ได้

กรมวิชาการเกษตร

2. Single – tree plots ถึงแม้จะเป็นที่ยอมรับกันว่า เป็นวิธีที่ใช้ต้นไม้น้อยที่สุด และเป็นประโยชน์ในงานทดลองหลายประเภท แต่ก็ควรจะระมัดระวังว่าหน่วยทดลองที่อยู่ติดกันจะต้องเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้น การใช้ต้นไม้หนึ่งต้นต่อแปลงย่อยไม่ควรใช้ในกรณีต่อไปนี้

2.1 ทรีตเมนต์ที่ใช้สำหรับต้นหนึ่งอาจปลิวหรือรั่วไหลไปยังต้นข้างเคียงได้

2.2 มีความแตกต่างของการเจริญเติบโตระหว่างต้นพืชเห็นได้ชัด ต้นพืชที่ล้อมรอบไปด้วยต้นที่แข็งแรงกว่า มักจะให้ผลผลิตต่ำกว่าต้นพืชที่ล้อมรอบด้วยต้นที่อ่อนแอกว่า

3. Multiple – tree plots ในกรณีที่มีทรัพยากรจำกัดไม่ควรใช้แปลงย่อยที่ใช้ต้นไม้หลายต้น แต่อย่างไรก็ตาม อาจจำเป็นต้องใช้ในกรณีที่

3.1 ต้นพืชที่ใช้ปลูกมีความแปรปรวนสูง เช่น การใช้เมล็ดปลูก

3.2 ทรีตเมนต์หรือวิธีการบางอย่างไม่ควรใช้ Single – tree plots เช่น งานทดลองการให้น้ำต้นพืช เป็นต้น

การแบ่งบล็อค (Blocking) คือวิธีการแบ่งหน่วยทดลอง (Experimental unit = e.u.) ออกเป็นกลุ่ม ๆ ซึ่งเรียกว่า block โดยให้หน่วยทดลองภายในแต่ละ block มีลักษณะเหมือนกันมากที่สุดและให้มีความแตกต่างระหว่าง block มากที่สุด ที่เห็นชัดได้แก่ การแบ่งแต่ละ block ให้มีความอุดมสมบูรณ์สม่ำเสมอกันที่สุด

ในการวางแผนการทดลองควรจัดให้แต่ละ experimental unit (e.u.) ในแต่ละ block ได้รับ treatment แบบสุ่มเป็นอิสระต่อกันภายใน block และภายในแต่ละ block จะมี treatment ครบหรือไม่ครบก็ตาม

ถ้ามี treatment ครบภายในแต่ละ block เรียกว่าเป็น Randomized Complete Block หรือ ถ้าจำนวน treatment ภายใน block มีมาก อาจจัดบาง treatment ใส่ไว้ใน sub block เช่น การทดลองแบบ Incomplete Block Design (ICB) เป็นต้น

ทำไมต้องมีการ Blocking ในกรณีที่ไม่มีการ block ยกตัวอย่างเช่นใน green house สมมติถ้าต้องการเปรียบเทียบ treatment 2 ชนิด คือ A และ B ถ้าวางกระถางดังในรูป

ผิด

A	A	A	A
B	B	B	B

ถูก

B	A	B	A
A	B	A	B

ถ้า A แตกต่างกับ B อาจไม่ใช่เพราะว่า treatment A ดีกว่า treatment B แต่อาจเป็นไปได้ว่า กลุ่มของกระถางที่ได้รับ treatment A อาจได้รับการให้น้ำ แสงสว่าง ความชื้น ดีกว่ากลุ่มกระถางที่ได้รับ treatment B

กรมวิชาการเกษตร

ดังนั้นถ้าเราทำ blocking โดยให้โอกาสของกระถางที่ทดลอง treatment A และ B มีโอกาสได้รับอาหารและสิ่งแวดล้อมเหมือนกัน จะเห็นว่าการแบ่ง block จะทำให้ค่าของ standard error เล็กลง ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบระหว่าง treatment ทั้งสองถูกต้องยิ่งขึ้น ทั้งสามารถจะวิเคราะห์ผลและสรุปได้ว่ามีความแตกต่างระหว่างทั้งสอง treatment นั้นจริง ไม่ใช่เพราะสาเหตุเนื่องจากสิ่งแวดล้อมหรือบังเอิญให้เป็นไป

ประโยชน์จากการมีบล็อค

นอกจากการ blocking จะเป็นประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ในแง่ปฏิบัติเกี่ยวกับการปลูก ดูแลรักษาแปลงทดลอง การจดบันทึกผล ฯลฯ วิธีการ blocking จะช่วยลดค่าของ error ลงไปได้เช่นกัน ยกตัวอย่าง

1. ในกรณีที่การปลูก การดูแลรักษาแปลงทดลอง การเก็บข้อมูล เช่น การบันทึกผลความสูง การเก็บผลผลิตของการทดลองหนึ่ง ๆ ไม่สามารถทำเสร็จภายในวันเดียวกัน อย่างน้อยควรทำการเก็บผลหรือบันทึกผลของทุก plot ที่อยู่ภายในให้เสร็จเป็น block ไป ในกรณีนี้ความแตกต่างที่อาจเกิดขึ้นจากการเก็บข้อมูลไม่พร้อมกัน สามารถที่จะหาค่าความแปรปรวนระหว่าง block ต่อ block หรือค่าความแปรปรวนของวันต่อวัน ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด ทั้งนี้จะทำให้ค่าของ experimental error ลดลง

2. เช่นเดียวกับข้อแรก อาจนำมาใช้ได้กับเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลแปลงทดลองหรือผู้ทำการจดบันทึกถ้าต้องทำหลายคนย่อมไม่สามารถที่จะปฏิบัติได้เหมือนกันทุกคน ในกรณีใดก็ตามที่การดูแลปฏิบัติเกี่ยวกับงานทดลอง ที่ต้องช่วยกันทำ ยกตัวอย่างเช่น การใส่ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง โรค การวัดความสูง ฯลฯ ควรที่จะให้เจ้าหน้าที่แต่ละคนรับผิดชอบในแต่ละ block ไป เช่น

2.1 การบันทึกผลเสียหายเนื่องจากโรค แมลง ศัตรูพืช เจ้าหน้าที่แต่ละคนย่อมมีการตัดสินใจในการให้คะแนนก็ดี หรือมีความละเอียดในการปฏิบัติงานแตกต่างกันไป แต่ละคนอาจมีหลักการในการให้คะแนนไม่เหมือนกันในกรณีนี้ควรจัดให้แต่ละคนรับผิดชอบเป็น block ไป ทั้งนี้เพื่อให้ทุก treatment ภายใน block ได้รับหลักการให้คะแนนจากคน ๆ เดียวกัน

2.2 การทดลองในห้องปฏิบัติการก็เช่นเดียวกัน บางครั้งงานทดลองมีหลาย treatment เจ้าหน้าที่ผู้ดูแลไม่สามารถที่จะรับผิดชอบได้ทั้งหมด ในกรณีนี้ก็อาจแบ่งให้เจ้าหน้าที่ดูแลเป็น block ไป เช่น การเลี้ยงไหม เป็นต้น เจ้าหน้าที่แต่ละคนควรถูกมอบให้ดูแล ให้อาหารแก่ไหมหนึ่ง block ต่อหนึ่งคน

3. ในการคัดเลือกพันธุ์พืชมาทดลอง ถึงแม้จะพยายามเลือกพืชที่มีอายุใกล้เคียงกันมีการเจริญเติบโตเหมือนกัน แต่บางครั้งความสมบูรณ์ของต้นพืชนั้นก็ยังแตกต่างกันมาก ในกรณีนี้ควรจะจัดกลุ่มความเจริญเติบโตของพืชออกตามสภาพของต้นที่เจริญเติบโตดี ปานกลาง หรือพอใช้ แล้วจัดพืชที่เจริญเติบโตดีอยู่ใน block หนึ่ง ที่มีความเจริญเติบโตปานกลางอยู่อีก block หนึ่ง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ความแตกต่างของความเจริญเติบโตของพืชนั้นสามารถที่จะขจัดออกไปได้จาก block ที่มีความแตกต่างกัน

กรมวิชาการเกษตร

ตัวอย่างที่ยกมาข้างต้นนี้ ถือว่าเป็นการทำให้เสร็จเป็น block (on a per block basic) ซึ่งยังมีวิธีการอื่นอีกหลายอย่างที่ไม่สามารถนำมายกตัวอย่างในที่นี้ได้หมด

สรุปแล้วเมื่อมีความแตกต่างระหว่าง experimental unit (e.u.) ที่จะนำมาทดสอบมากก็พยายามจัดให้หน่วยทดลองนั้นอยู่ภายใน block ที่มีความแตกต่างกันมาก ยิ่งจัดให้แต่ละ block มีความแตกต่างกันมากเท่าไรยิ่งเป็นการลด experimental error ของการทดลองให้น้อยลง ย่อมหมายถึงความถูกต้อง (precision) ในการที่จะตัดสินว่า treatment ที่จะทดสอบนั้นว่าแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด

รูปร่างและประสิทธิภาพของบล็อค (Block Shape)

โดยทั่วไปการแบ่งแปลงทดลองผืนใหญ่ออกเป็น block มักจะเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนงานทดลอง จากตารางที่ 5 (หน้า 214) แสดงให้เห็นว่า block ที่มีรูปสี่เหลี่ยมค่อนข้างเป็นจัตุรัส จะให้ประสิทธิภาพดีกว่า block ชนิดที่มีรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว ทั้งนี้จะเห็นว่าตรงกันข้ามกับรูปร่างของแปลงย่อย

ในงานทดลองทั่วไป จะเห็นได้ว่าจุดประสงค์ของการแบ่ง block พยายามให้มีความแตกต่างระหว่าง block มากที่สุด แต่ภายใน block ให้มีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด ทั้งนี้เพื่อว่า treatment ภายในแต่ละ block จะได้มีความอุดมสมบูรณ์ของดินหรือสิ่งแวดล้อมคล้ายคลึงกัน

สำหรับงานทดลองพืชชนิดอื่น ควรจะถือหลักการเดียวกันกับเรื่องข้าว คือจัดให้ treatment ต่าง ๆ ที่ต้องการทดสอบอยู่ภายใน block ที่มีความสม่ำเสมอกันมากที่สุด เช่น การให้น้ำ การใช้ปุ๋ย การดูแลรักษาให้คล้ายคลึงกัน แต่ทั้งนี้ย่อมขึ้นอยู่กับจำนวน treatment ภายใน block ด้วย ถ้าจำนวน treatment มาก block ก็จะใหญ่ด้วย เหตุนี้ถ้ามีจำนวน treatment มากความสม่ำเสมอภายใน block ย่อมแตกต่างกันมาก ในกรณีนี้จึงควรใช้การวางแผนแบบ ICB

ในตารางที่ 6 (หน้า 215) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้การวางแผน Randomized Complete block (RCB) กับ Incomplete block design (ICB) สรุปได้ว่า ถ้ามีจำนวนทรีตเมนต์น้อย เช่น 3 x 3 หรือ 9 ทรีตเมนต์ การใช้ Incomplete block design ยังไม่จำเป็น แต่ถ้าจำนวนทรีตเมนต์ มากขึ้น ประมาณ 6 x 6 หรือ 36 ทรีตเมนต์ การใช้ Incomplete block จะเพิ่มประสิทธิภาพดีกว่า RCB ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์

โดยสรุปแล้วการใช้ Incomplete block design สำหรับทุกพืชควรใช้ในกรณีที่พื้นที่ที่ทดลองมีความอุดมสมบูรณ์แตกต่างกันมาก หรือในกรณีที่มีจำนวนพันธุ์ หรือ treatment มากนับเป็นสิบ ๆ สายพันธุ์จึงจะมีประสิทธิภาพ เนื่องด้วยการวางแผนและการวิเคราะห์ค่อนข้างจะยุ่งยากกว่าการวางแผนแบบธรรมดา

กรมวิชาการเกษตร

ความสัมพันธ์ขนาดของ Plot Size กับชนิดของงานทดลอง

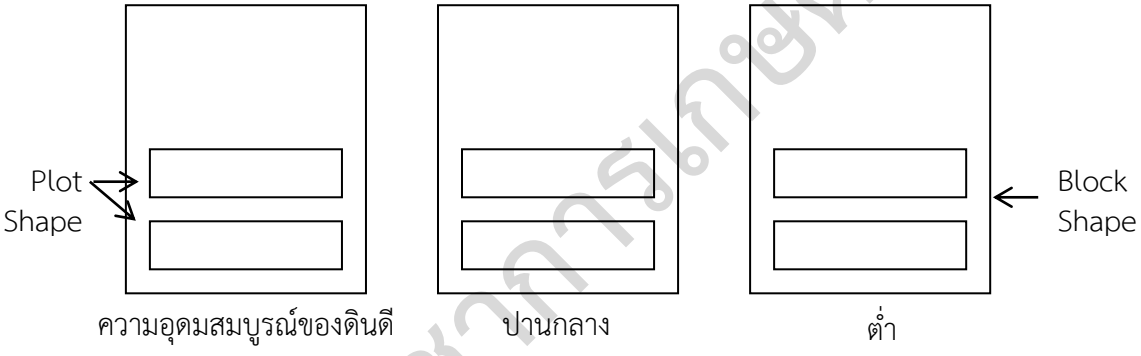
ประเภทของงานทดลอง ย่อมมีส่วนเกี่ยวข้องกับขนาดของ Plot size ด้วย เช่น

1. งานทดสอบปุ๋ยย่อมมีขนาด Plot size ใหญ่กว่างานทดลองที่เปรียบเทียบเฉพาะพันธุ์พืช งานทดลองเกี่ยวกับระบบการให้น้ำ ทดน้ำ ย่อมมีขนาดใหญ่กว่างานทดลองปุ๋ย เป็นต้น

2. งานทดลองที่เกี่ยวกับการใช้ยาเคมีปราบศัตรูพืช โดยเฉพาะงานประเภทที่ใช้เครื่องมือพ่นยา ควรมีความกว้างของ Plot พอเหมาะกับรัศมีของเครื่องพ่นยาหรือควรให้รูปร่างของ Plot เป็นรูปร่างค่อนข้างสี่เหลี่ยมจัตุรัสได้ยิ่งดี

3. ถ้าพื้นที่ทดลอง มีความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นหย่อม ๆ (patchy) ขนาดของ plot ควรใหญ่กว่าปกติ นอกจากนั้นรูปร่างของ Plot ก็ไม่จำเป็นต้องขนานไปกับ gradient ของดินเสมอไป

<u>หมายเหตุ</u> ถ้าดินมีความอุดมสมบูรณ์ปกติ กล่าวคือ มีความอุดมสมบูรณ์ลาดเอียงจากสูงไปหาต่ำ รูปร่างของ Plot ควรมีความยาวขนานไปตาม Gradient ของดิน ส่วนการวาง block ให้ตั้งฉากกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน



4. ถ้าไม่ทราบประวัติของพื้นที่ที่ใช้ทำการทดลองมาก่อน ควรให้รูปร่างของแปลงย่อยเป็นรูปค่อนข้างสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะปลอดภัยกว่า

ซ้ำ (Replication)

ในการพิจารณาว่าควรจะใช้จำนวนกี่ซ้ำในการทดลองใด ๆ ขึ้นอยู่กับหลายอย่าง เช่น

1. ขึ้นอยู่กับ Inherent variability หรือสิ่งที่เราต้องการศึกษา ถ้าพันธุ์พืชหรือ treatment ที่ศึกษามีความแตกต่างกันน้อยมาก ไม่ค่อยเห็นชัด ควรจะเพิ่มจำนวนซ้ำมากขึ้น

2. ขึ้นอยู่กับจำนวน treatment ที่ศึกษา ถ้ามีจำนวน treatment พอสมควรอาจใช้เพียง 2 – 3 ซ้ำก็ได้ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงค่า degree of freedom ของ error ไม่ควรน้อยกว่า 10 – 12 สำหรับข้าวและพืชไร่

ส่วนไม้ยืนต้นไม่ควรน้อยกว่า 12 – 15 ถ้าในกรณีที่มีต้นที่ต้องการเก็บผลอย่างน้อย 4 ต้น ต่อแปลงย่อยแต่ถ้างานทดลองไม้ยืนต้นจำเป็นต้องใช้ต้นเดียว (single tree plot) ค่า degree of freedom จะต้องเพิ่มเป็นอย่างน้อย 25 หรือมากกว่านั้น นอกจากนี้กรณีที่มีข้อมูลสูญหายจะทำให้ค่า error degree of freedom ถูกหักออกไปเท่ากับจำนวนข้อมูลที่หายไป ด้วยเหตุนี้จึงควรใช้จำนวนซ้ำให้มากกว่าที่ควรจะใช้

กรมวิชาการเกษตร

3. แต่ถ้าจำนวน treatment มาก แปลงอาจใหญ่เกินไปความแตกต่างภายใน block จะค่อนข้างสูง ทำให้มีความแปรปรวนใน block สูง ในกรณีนี้ควรใช้การวางแผนแบบ Incomplete Block Design

4. ขึ้นอยู่กับแบบแผนการทดลองที่เลือกใช้ บางการทดลองที่มีจำนวน treatment มากเป็นสิบ ๆ ต้องใช้การวางแผนแบบ Incomplete Block Design อาจใช้เพียง 2 ซ้ำก็พอ

5. ขึ้นอยู่กับชนิดของงานทดลอง เช่น งานทดลองในห้องปฏิบัติการในห้องกระจก หรืองานทดลองในกระถาง ซึ่งสามารถควบคุมสิ่งแวดล้อมได้พอสมควรใช้เพียง 2 ซ้ำก็พอ

6. ขึ้นอยู่กับสภาพของดินที่ทำการทดสอบ ถ้าดินมีความแปรปรวนสูงคือ มีความแตกต่างกันมากควรทำหลาย ๆ ซ้ำ

7. ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของแปลงย่อย (Plot Size and Plot Shape) ถ้าขนาดของแปลงย่อยใหญ่มากควรทำหลาย ๆ ซ้ำ

8. ในงานทดลองบางชนิด จำเป็นต้องทำในไร่นา เพื่อเป็นการสาธิตให้กสิกรดูในพื้นที่ทดลองแปลงใหญ่จำเป็นต้องทำการทดสอบหลายท้องที่ เพื่อให้แน่ใจว่า treatment นั้นเหมาะสมกับสภาพท้องที่เหล่านั้นหรือไม่ จะทำหลายซ้ำก็ได้ เพราะมักต้องใช้งบประมาณมาก ในกรณีนี้ควรทำแห่งละอย่างน้อย 2 ซ้ำ ทำการทดลองอย่างน้อย 4 – 5 ท้องที่ แล้วนำผลนั้นมาวิเคราะห์ร่วมกันแบบ Combined Analysis of Variance

การแก่งแย่งระหว่างพืช

ต้นพืชที่เจริญงอกงามดี มักจะแย่งอาหารและได้รับสิ่งแวดล้อมดีกว่าพืชที่อ่อนแอกว่า ต้นพืชที่ปลูกระยะห่างระหว่างต้นมักจะมีความเจริญเติบโตกว่าพืชที่มีการปลูกระยะถี่ การที่พืชมีความเจริญเติบโตต่างกัน มีระยะปลูกระหว่างต้นต่างกัน ย่อมมีการแก่งแย่งอาหาร ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความชื้น พลังแสงจากดวงอาทิตย์ CO_2 และ O_2 ต่างกัน นั้นก็คือ เกิดการแก่งแย่งระหว่างต้นพืช หรือเรียกว่า Competition effect

เราจะสังเกตเห็นว่าพืชที่ปลูกอยู่แถวริมของ plot ก็ดี หรือปลูกที่ต้นหัวท้ายของแถวก็ดี มักจะมีการเจริญเติบโตดีกว่าหรือด้อยกว่าพืชที่ปลูกอยู่ในแถวกลาง หรือต้นที่อยู่ภายใน

ผลของการแก่งแย่งระหว่างต้นพืชที่เกิดขึ้นดังกล่าวข้างต้นนี้ จะทำให้ค่าของ experimental error สูงขึ้น ควรจะต้องทำการศึกษาว่ามีสาเหตุเนื่องมาจากอะไรบ้าง และหาทางแก้ไขเพื่อเป็นการลดค่า experimental error

กรมวิชาการเกษตร

สาเหตุที่ทำให้เกิด Competition effect

1. เนื่องจากพันธุ์พืช (Varietal competition)

ในการทดลองเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ บางครั้งจะพบพืชที่มีต้นสูงและเตี้ยปนกันอยู่ ซึ่งโดยหลักทั่วไปแล้วควรที่จะแยกประเภทต้นสูงไว้พวกหนึ่ง หรือต้นเตี้ยไว้พวกหนึ่ง แล้วทำการเปรียบเทียบพืชที่มีความสูงแตกต่างกันในการทดลองเดียวกันยกตัวอย่างเรื่องต้นข้าว มีรายงานไว้ว่าต้นที่สูงหรือต้นที่มีการแตกกอดีมักจะข่ม (แก่งแย่งอาหาร แร่ธาตุ ฯลฯ) ต้นที่เตี้ยและมีการแตกกอน้อย

ตามตารางที่ 7 (หน้า 216) ความแตกต่างระหว่างแถวริมของต้นข้าวที่ปลูก 3 แถว ความแตกต่างระหว่างแถวริมนอกกับแถวกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะผลผลิตและการแตกกอ เช่นเดียวกับกอหัวท้ายสุดก็แสดงความแตกต่างกับกอในอย่างเห็นชัด นอกจากนั้นยังมี interaction ระหว่างพันธุ์ X กอ และแถว X กอ อีกด้วย ซึ่งแสดงว่าทุกพันธุ์ไม่ได้แสดง Competition effect ที่เกิดขึ้นระหว่างแถวกับระหว่างกอเหมือนกัน กล่าวคือ บางพันธุ์อาจมีอิทธิพลของแถวนอกมารบกวนมากน้อยผิดกันหรือบางพันธุ์อาจไม่มีเลยก็ได้ ด้วยเหตุนี้ถ้าเราจะไม่คำนึงถึงอิทธิพลของแถวริมหรือกอหัวท้าย อาจได้ข้อมูลที่ over estimate หรือ under estimate ก็เป็นได้เช่นเดียวกับตารางที่ 8 (หน้า 217) แสดงอิทธิพลของแถวริม ในการปลูกกะหล่ำปลีที่ไร่เอกชน จังหวัดลำพูน และจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งปรากฏว่ามี Border row effect เกิดขึ้นทั้งสองแห่ง สรุปได้ว่าผลผลิตของแถวริมให้ผลสูงกว่าแถวกลางประมาณ 9% และ 16.5% ตามลำดับ

2. เนื่องจากการทดลองปุ๋ย (Fertilizer competition)

การแก่งแย่งที่เกิดขึ้นในเรื่องงานทดลองปุ๋ยก็คล้ายคลึงกับเรื่องพันธุ์ แทนที่จะมีการแก่งแย่งเกิดขึ้นระหว่างพันธุ์พืชที่ปลูกใกล้กัน ก็จะเป็นการแก่งแย่งระหว่างแปลงพืชที่ได้รับปุ๋ยอัตราแตกต่างกัน ในเรื่องปุ๋ยจะมีอิทธิพลของการแก่งแย่งเกิดขึ้นได้ 2 ประการ กล่าวคือ

2.1 แปลงที่ได้รับอัตราปุ๋ยสูง จะมีความเจริญงอกงาม สามารถแก่งแย่งพลังแสงอาทิตย์และ CO_2 ได้ดีกว่า

2.2 การใส่ปุ๋ยในแปลงที่อยู่ติดกันนั้น ปุ๋ยจากแปลงที่มีอัตราสูงจะถูกต้นพืชดูดซึมไปสู่แปลงที่มีอัตราปุ๋ยต่ำกว่า ทำให้แปลงปุ๋ยที่มีอัตราสูงกว่าเสียเปรียบ

จะเห็นได้ว่าการเสียเปรียบที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปในทางตรงกันข้าม ซึ่งจะเป็นสาเหตุที่จะทำให้เกิด Competition effect เกิดขึ้นทั้งสองแบบ และการเสียเปรียบเนื่องจากการสูญเสียปุ๋ยย่อมรุนแรงกว่าการเสียเปรียบเนื่องจากถูกแก่งแย่งพลังอาทิตย์หรือ CO_2 ด้วยเหตุนี้ในเรื่องการทดลองปุ๋ย แปลงที่มีอัตราปุ๋ยต่ำกว่าย่อมได้เปรียบกว่าแปลงที่มีอัตราปุ๋ยสูงกว่าเป็นธรรมดา

3. เนื่องจากที่ว่างระหว่าง block หรือที่ว่างระหว่างทางน้ำไหลผ่าน (Unplanted borders)

หมายถึงที่ว่างรอบแปลงทดลอง หรือที่ว่างระหว่าง block โดยปกติที่ว่างเหล่านี้กว้างกว่าระยะระหว่างแถว หรือระหว่างต้น ต้นพืชที่อยู่ติดกับที่ว่างดังกล่าวมักมีความเจริญเติบโตมีความสามารถในการแก่งแย่งอาหารดีกว่าต้นที่อยู่แถวใน

การใช้สถิติกับงานวิจัยเกษตร

4. เนื่องจากกอหาย (Missing hills)

นักวิชาการไม่สามารถที่จะควบคุมไม่ให้มีการเกิดกอหายได้ ด้วยเหตุนี้เมื่อเกิดกอหายโดยเหตุใดก็ตาม เช่น เมล็ดพันธุ์ไม่งอก ถูกทำลายโดยโรค แมลง ศัตรูพืช จะสังเกตเห็นว่าต้นที่อยู่ล้อมรอบกอหายได้รับอาหาร แร่ธาตุ มีการเจริญเติบโตดีกว่ากอที่สมบูรณ์ (หมายถึงกอที่มีต้นพืชล้อมรอบอยู่ครบ)

การควบคุมอิทธิพลของการแก่งแย่ง (Control of Competition effects)

เมื่อเกิดการแก่งแย่งขึ้น เช่น ในเรื่องพันธุ์พืชที่มีความเจริญเติบโตดีกว่าพันธุ์ที่อยู่ข้างเคียงสามารถแก่งแย่งอาหารได้ดีกว่า เป็นต้น จึงจำเป็นที่จะต้องหาทางป้องกันแก้ไขให้อิทธิพลของการแก่งแย่งลดลงเท่าที่จะทำได้ เพื่อเป็นการลดค่าของ experimental error ลงด้วย อาจทำได้โดย

1. ไม่เก็บผลจากแถวริม หรือต้นหัวท้าย (Remove bordered plants)

จะเห็นได้ชัดว่า ไม่ว่าจะเป็นแปลงเปรียบเทียบพันธุ์ ปุ๋ยหรือระยะปลูก แถวด้านนอกของ plot จะมีความเจริญเติบโตผิดจากแถวกลางอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะในแปลงทดลองเกี่ยวกับระยะปลูก ถ้าระยะปลูกถี่ยิ่งจะเห็นความแตกต่างของแถวนอกว่าให้ผลผลิตแตกต่างกับแถวในได้เด่นชัด ยกตัวอย่างเรื่องข้าว ซึ่งมีระยะปลูกระหว่างแถวค่อนข้างถี่ เช่น 20 – 25 เซนติเมตร บางการทดลองจะแสดง Competition effect เกิดขึ้นที่แถวริมนอกถึง 2 – 3 แถว (หมายความว่าเมื่อเก็บเกี่ยวผลไม่ควรเก็บแถวริมด้านละ 2 – 3 แถวนั้น) สรุปได้ว่า

- งานทดลองเกี่ยวกับปุ๋ยข้าว ควรมีแถวคุม (Border rows) ด้านละ 2 แถว เป็นอย่างน้อย ส่วนในงานทดลองเปรียบเทียบพันธุ์ ควรมีแถวคุมด้านละ 1 แถว ก็พอ
- งานทดลองพืชไร่อื่น ๆ เช่น อ้อย ถั่ว ซึ่งมีระยะห่างระหว่างแถวเกินกว่า 50 เซนติเมตรขึ้นไป ควรมีแถวคุมอย่างน้อยข้างละ 1 แถวก็พอ
- งานทดลองไม้ยืนต้นถึงแม้จะมีระยะห่างระหว่างแถวกว้างมากก็ตามแต่ความเจริญของรากมักจะแผ่ขยายไปไกล ควรมีแถวคุมข้างละ 1 แถว หรือมีแถวคุมร่วม (Border Junction)

ส่วนต้นหัวท้ายของแต่ละแถว ควรตัดออก 1 – 2 ต้นก็แล้วแต่ระยะปลูกของพืชชนิดนั้น เช่นเดียวกัน

จะเห็นได้ว่าในการไม่เก็บผลจากแถวนอกสุด 1 – 2 แถว ย่อมมีผลต่อ plot size หมายความว่าพืชนั้น ๆ ต้องมี plot size โตกว่าปกติ ซึ่งก็หมายถึงทำให้ block size โตตามไปด้วย ซึ่งก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่า experimental error สูงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงควรพิจารณาให้ดีว่าการทดลองชนิดใดควรมี border row กี่แถว

2. จัดกลุ่มพืชที่มีลักษณะเดียวกันไว้ด้วยกัน (Group more homogeneous genotypes)

พืชที่มีความสูงหรืออายุเก็บเกี่ยวต่างกันมาก ควรแยกการทดลองออกเป็นคนละชุด เช่น ข้าวอายุเบา และอายุหนักให้แยกการทดลองออกเป็น 2 ชุด เป็นต้น

แต่ถ้างานทดลองบางการทดลอง จำเป็นที่จะเปรียบเทียบพันธุ์พืชบางลักษณะที่มีความแตกต่างกันในการทดลองเดียวกัน เช่น

ลักษณะความสูงมักจะแสดง competition effect ให้เห็นชัดกว่าลักษณะอื่น ถ้าพันธุ์พืชมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ยกตัวอย่าง เช่น ถ้าต้องการเปรียบเทียบพันธุ์พืช 60 สายพันธุ์มี

กรมวิชาการเกษตร

ความสูงมาก สูงปานกลาง และต้นเตี้ยอย่างละ 20 พันธุ์ ทำการทดลอง 4 ซ้ำ สามารถเปรียบเทียบได้ โดยทำการวางแผนแบบ “Group balanced block design” ดัง Lay out ต่อไปนี้

Rep1			Rep2		
Tall	Short	Medium	Short	Medium	Tall
Medium	Tall	Short	Tall	Medium	Short
Rep3			Rep4		

3. ในกรณีที่พันธุ์พืชไม่มีความแตกต่างกันในความสูงมากนัก การวางแนวทางของ plot จะวางในทิศทางใดก็ได้ แต่ในกรณีที่มีต้นสูงเตี้ยคละกัน และไม่มีความสูงแตกต่างกันมากนักให้วางทิศทางของ plot ในแนวตะวันออก ตะวันตก และให้เว้นช่องว่างระหว่าง Strip ให้เกินกว่าความแตกต่างระหว่างความสูงของต้นที่สูงที่สุดกับต้นที่เตี้ยที่สุด และเว้นช่องว่างระหว่างซ้ำเท่ากับความสูงของต้นที่สูงที่สุด

4. ถ้าจะมีการเปลี่ยนรูปร่างของ block หรือจัด replication ใหม่ อย่าปลูกพืชบนที่ว่างที่เว้นไว้ ระหว่าง strip หรือเป็นที่น้ำไหลผ่าน (alley) หรือปลูกพืชบนระหว่างซ้ำเดิม เพราะพืชที่ขึ้นในที่ว่างเหล่านั้น จะเจริญงอกงามกว่าปกติ ควรปลูกพืชพันธุ์เดียวแบบ Uniformity Trial บนแปลงทดลองเดิมนั้นก่อนสักหนึ่งฤดูแล้วจึงใช้ที่นั้นสำหรับปลูกทดลองชุดใหม่ต่อไป

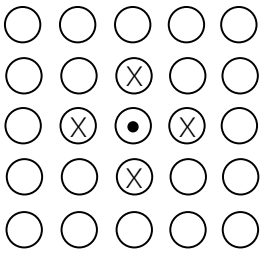
5. ในกรณีที่เป็นต้นไม้ใหญ่ ไม่สามารถที่จะมีแถวคุม (Bordered row) ของแต่ละ Plot หรือมีแถวคุมร่วม (Border Junction) ได้อาจอนุโลมให้มีแถวคุมเฉพาะรอบนอกของแปลงใหญ่ได้ (รูปภาพที่ 3 หน้า 209) ทั้งนี้ควรใช้ต้นไม้ (หรือ treatment) ที่เป็นพันธุ์หรือชนิดเดียวกัน ยกตัวอย่าง เช่น พันธุ์มะม่วงหิมพานต์ พันธุ์ที่ 10 ควรมีแถวคุมด้านนอกเป็นพันธุ์ที่ 10 โดยตลอด เป็นต้น หรือพันธุ์ที่ 7 ปลูกพันธุ์เดียวกันเพิ่มอีกหนึ่งต้นของหัวแถว ทางด้านซ้ายมือดังรูปภาพที่ 3 (หน้า 209)

หรือในกรณีที่มีงานทดลองปลูกพืชลงในกระถาง ถ้าจะมีแถวคุมของแต่ละ treatment อาจต้องใช้กระถางเป็นจำนวนมาก อนุโลมให้ใช้หลักการเดียวกัน กับการทดลองต้นไม้ใหญ่ดังที่กล่าวมา ข้างต้น

มักจะมีผู้ถามกันว่าจะใช้พันธุ์เดียวกัน เช่น พันธุ์มาตรฐานเป็น guard row ได้หรือไม่ ขอแนะนำว่าควรใช้ treatment หรือพันธุ์เดียวกันกับ treatment ที่ต้องการทดสอบจะถูกต้องกว่า ทั้งนี้จะได้ขจัดปัญหาเกี่ยวกับความสูงหรือลักษณะอื่น ซึ่งอาจมีอิทธิพล (effect) ต่องานทดลองนั้น ๆ ได้ ยกเว้นแต่ ถ้าไม่มีพันธุ์พืชหรือ treatment หลายชนิดพออาจจะอนุโลมให้ใช้ treatment หรือพันธุ์เดียวกันเป็น guard row โดยรอบได้ แต่ก็ไม่ถูกต้องเท่าในกรณีแรก

6. เก็บเฉพาะต้นที่สมบูรณ์ (Harvest only plants with appropriate border) พบว่าต้นพืชที่อยู่ล้อมรอบต้นที่สูญหาย (missing plant) มักจะมีความเจริญเติบโตหรือได้รับอาหารดีกว่า ด้วยเหตุนี้ในการเก็บข้อมูลไปศึกษา ไม่ควรที่จะเก็บผลมาจากต้นที่ล้อมรอบต้นที่เสียหายตามรูปดังนี้

กรมวิชาการเกษตร



⦿ ต้นที่เสียหาย
ⓧ ต้นที่ไม่เก็บผล

นำไปประเมินผลผลิตหรือศึกษาลักษณะต่างๆ เช่น ความสูง การเป็นโรค ฯลฯ

7. ในงานทดลองเกี่ยวกับปุ๋ย มีรายงานว่าอิทธิพลของการตกค้างของปุ๋ย (Residual effect) ของปุ๋ยไนโตรเจนนั้น ไม่มีเพราะเป็นปุ๋ยที่มีการสลายตัวง่ายแต่มีผลตกค้างของปุ๋ยฟอสเฟต โปแตสเซียมและธาตุอาหารรอง เช่น เหล็ก สังกะสี แมกนีเซียม มีผลตกค้างเป็นปี ด้วยเหตุนี้เมื่อมีงานทดลองเกี่ยวกับปุ๋ยควรปฏิบัติ ดังนี้

7.1 ไม่ควรทำการทดลองใด ๆ ซ้ำกับที่เป็นแปลงทดลองปุ๋ยมาก่อนอย่างน้อยควรเว้นเสียหนึ่ง crop โดยปลูกพืชแบบ Uniformity Trial ก่อน ถึงจะทำการทดลองที่นั้น ๆ ได้

7.2 ถ้าเป็นการทดลองปุ๋ยซ้ำกับการทดลองชุดเดิม ให้คงแผนผัง (Lay Out) เดิมไว้ไม่ควรเตรียมแผนผังใหม่ (randomization) ใหม่

8. วิธีการปรับผลผลิตเมื่อมีตัวเลขสูญหาย (Stand correction) การสูญหายของข้อมูล (missing value) อาจเกิดขึ้นได้หลายประการ ควรมีการปรับข้อมูลหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับสาเหตุต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

8.1 ปกติพืชที่อยู่ล้อมรอบต้นที่สูญหายไป มักจะได้รับอาหาร และอิทธิพลสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ดีกว่าพืชที่ขึ้นตามปกติ ถ้าการสูญหายมีเพียงน้อยต้น มักจะไม่ต้องมีการปรับตัวเลข เพราะถือว่ามีการชดเชยกันได้ (Compensation)

8.2 ถ้าข้อมูลที่สูญหายไปเนื่องจาก inherent character (การสืบเนื่องจากกรรมพันธุ์) เช่น บางสายพันธุ์ susceptible ต่อการเป็นโรค แมลงชอบทำลายหรือเปอร์เซ็นต์ การงอกค่อนข้างต่ำ ไม่ต้องหาค่า missing value นำผลที่เก็บได้ (ถึงแม้จะมีผลผลิตต่ำ) ไปวิเคราะห์ได้เลย

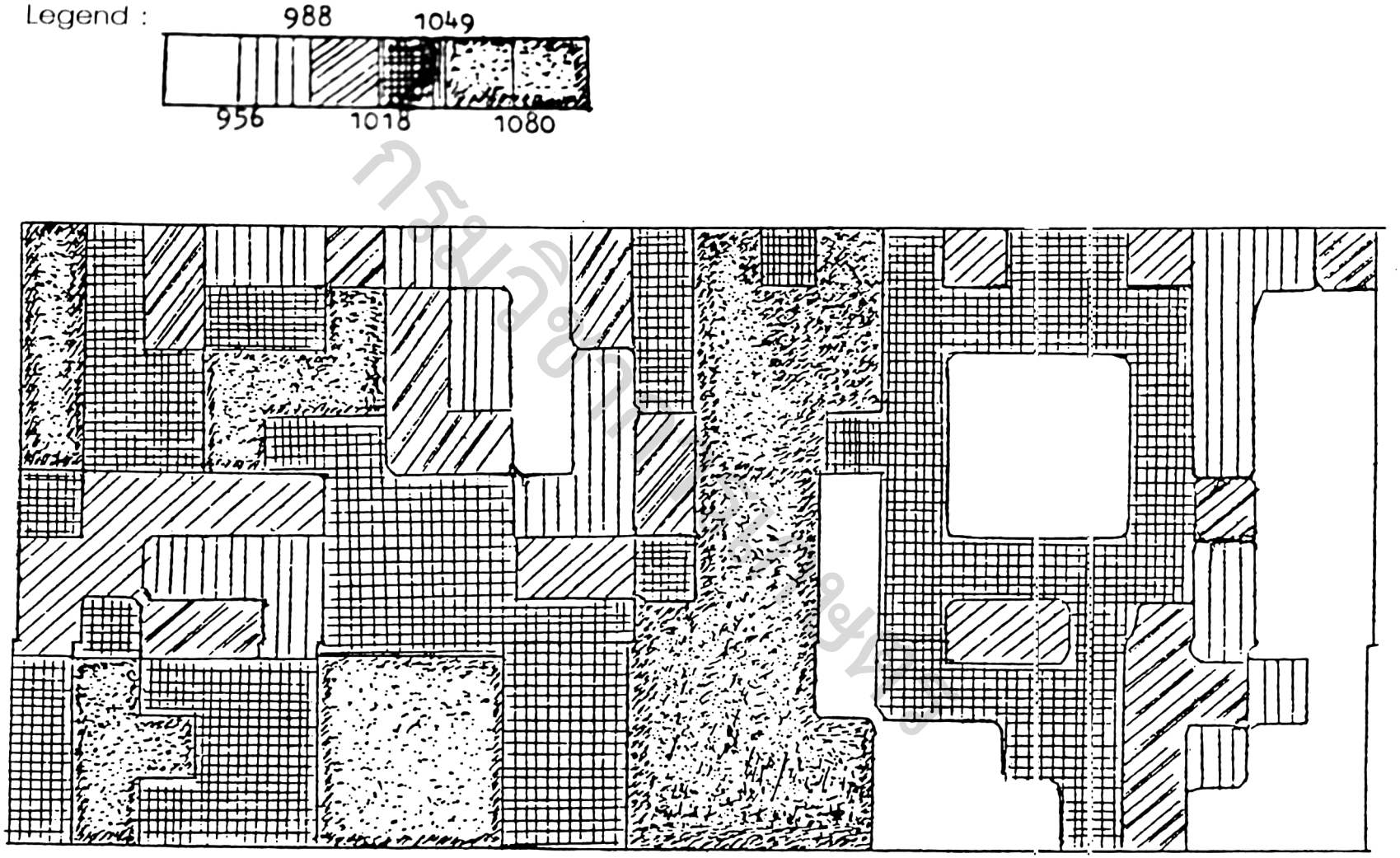
8.3 แต่ถ้าในกรณีของงานทดลองทางด้านเขตกรรม (Agronomy Trial) เช่นงานทดลองปุ๋ย ถึงจะมีการสูญหายเนื่องจากโรค – แมลงก็ตาม จำต้องหา missing value เพราะเราสนใจเรื่องปุ๋ยเป็นสำคัญ

8.4 ข้อมูลสูญหายเนื่องจากศัตรูอื่นทำลาย เช่น นก หนู ปู หรือถูกขโมยเก็บเกี่ยวผลผลิตหรือนวดฝัด ตกหล่น ชั่งผลผลิต เป็นต้น ควรทำดังนี้

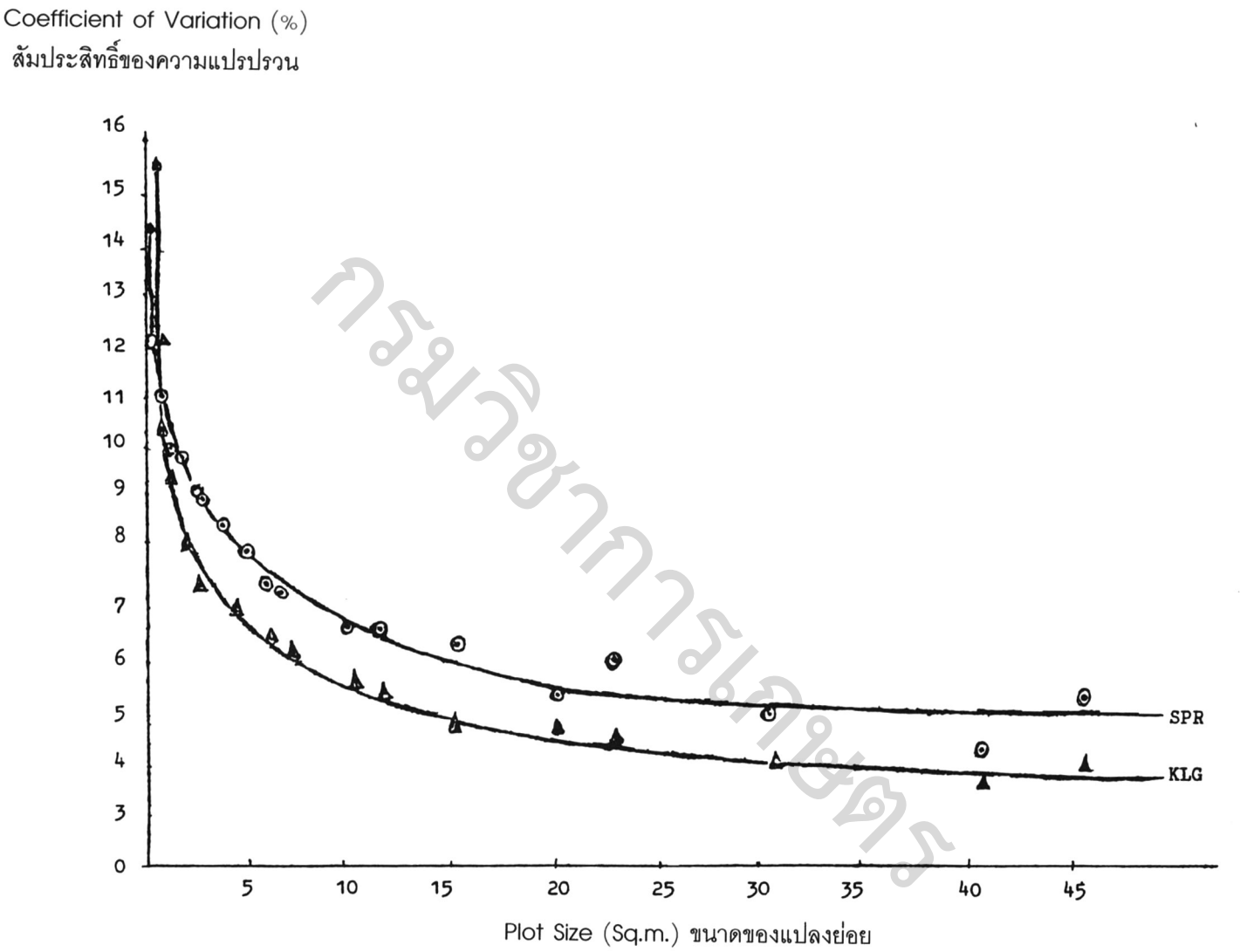
ถ้าการสูญหายมีเปอร์เซ็นต์ค่อนข้างสูงในแต่ละ plot เช่น มีผลเสียหายเกินกว่า 20% ของจำนวนต้นต่อ plot ให้ประเมินผลเสียหายมาชดเชยได้โดยสูตรวิธีหา missing value

แต่ถ้าจำนวน plot ในแต่ละการทดลองมีจำนวนที่หายไปเกินกว่า 20% ของจำนวน plot ทั้งหมดไม่ควรหาตัวเลขมาชดเชย ให้นำวิธีวิเคราะห์แบบ Co – variance analysis มาใช้

กรมวิชาการเกษตร



รูปภาพที่ 1 แสดงความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ใช้ทดลองปลูกข้าว กข.1 แบบ Uniformity Trial สถานีทดลองข้าวคลองหลวง ฤดูนาปี 2516



กรมวิชาการเกษตร

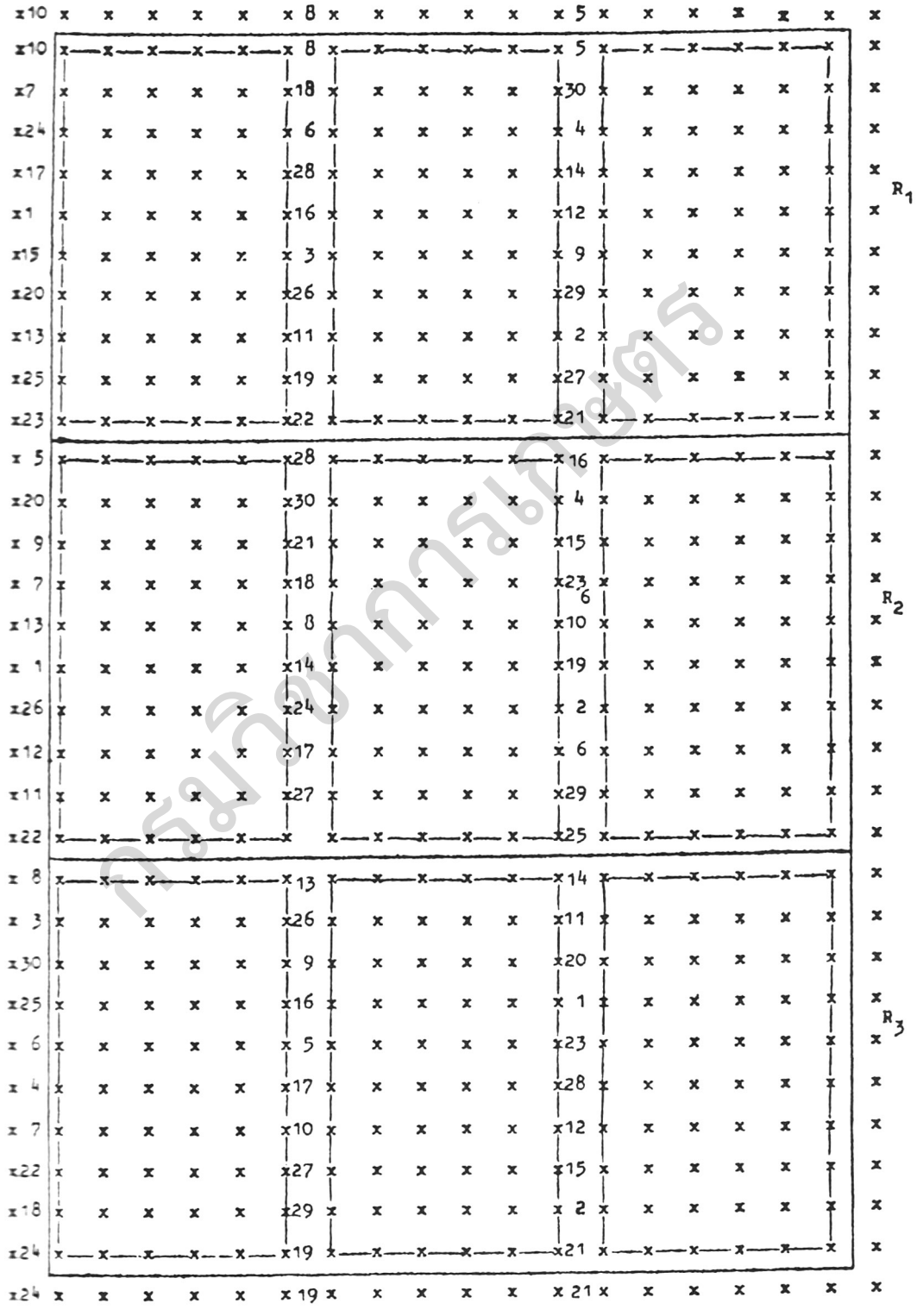
Figure 2. Coefficient of variation for different plot size from uniformity data grain yield of RD - 1, 120 kg N/ha at SPR and KLG

รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนที่ขนาดแปลงย่อยต่าง ๆ ของสถานีทดลองสุพรรณบุรี และสถานีทดลองคลองหลวง

รูปภาพที่ 3

แผนผังแปลงเปรียบเทียบพันธุ์มะม่วงหิมพานต์ ที่สถานีทดลองพืชสวน

มี 30 พันธุ์ ๆ ละ 6 ต้น 3 ซ้ำ, 640 ต้น ระยะ 6 x 6 เมตร



กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (C.V.%) ของแปลงย่อยที่มีพื้นที่เก็บเกี่ยวขนาดต่าง ๆ กัน ที่สถานีทดลองข้าวคลองหลวงและสุพรรณบุรี ปี พ.ศ. 2513

ขนาดแปลงย่อย (ตารางเมตร)	คลองหลวง	สุพรรณบุรี
.32	15.53	14.15
.64	11.97	11.96
.96	10.37	10.99
1.28	9.53	10.08
1.92	8.36	9.93
2.56	7.72	9.12
3.84	6.88	8.64
5.12	6.44	8.15
5.76	6.05	7.44
7.68	5.52	7.48
10.24	5.21	6.64
11.52	5.09	6.73
15.36	4.69	6.31
20.48	4.61	5.47
23.04	4.30	5.92
30.72	3.90	4.82
40.96	3.66	4.22
46.08	3.77	4.26

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 2 แสดงค่าความแปรปรวนของแปลงทดลองข้าวที่มีขนาดและรูปร่างต่างกัน สถานีข้าวคลองหลวง และสุพรรณบุรี ปี พ.ศ. 2516

Plot Size (sq.m.)	Plot shape Width x Length (m. x m.)	KLG		SPR	
		Comparable Variance	F – ratio	Comparable Variance	F – ratio
3.84	2.4 x 1.6	957	1.08^{ns}	2,977	1.48**
	1.2 x 3.2	928	1.05^{ns}	2,869	1.42**
	0.8 x 4.8	940	1.06^{ns}	2,718	1.35**
	0.6 x 6.4	885	–	2,020	–
7.68	4.8 x 1.6	1,415	1.61*	4,589	1.73**
	2.4 x 3.2	1,205	1.37^{ns}	4,647	1.75**
	1.6 x 4.8	1,227	1.40^{ns}	4,806	1.81**
	1.2 x 6.4	1,284	1.46^{ns}	3,342	1.26^{ns}
	0.7 x 12.4	879	–	2,651	–
10.24	6.4 x 1.6	1,653	1.50^{ns}	5,910	1.89**
	3.2 x 3.2	1,557	1.42^{ns}	5,285	1.69*
	1.6 x 6.4	1,383	1.26^{ns}	4,187	1.34 ^{ns}
	0.8 x 12.8	1,099	–	3,130	–
15.36	4.8 x 3.2	1,839	1.18^{ns}	7,089	1.61*
	3.2 x 4.8	1,964	1.26^{ns}	7,541	1.71*
	2.4 x 6.4	1,698	1.10^{ns}	5,193	1.18 ^{ns}
	1.6 x 9.6	1,547	–	4,411	–

^{ns} not Significant

** Significant at 1% Level

* Significant at 5% Level

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 3 แสดงค่าความแปรปรวนของแปลงทดลองฝ้ายที่มีขนาดและรูปร่างต่างกัน ปี พ.ศ. 2518 ที่ อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี

Plot Size (sq.m.)	Plot shape Width x Length	Degree of Freedom	Comparable Variance	F – ratio
5.25	1.75 x 3.00	1,728	35,070	–
10.50	3.50 x 3.00	864	25,890	1.03^{ns}
	1.75 x 6.00		25,104	
15.75	5.25 x 3.00	576	22,447	1.09^{ns}
	1.75 x 9.00		20,097	–
21.00	7.00 x 3.00	432	20,585	1.35*
	3.50 x 6.00		19,631	1.35*
	1.75 x 12.00		17,213	–
31.50	10.50 x 3.00	288	18,685	1.45*
	5.25 x 6.00		17,367	1.45*
	3.50 x 9.00		16,280	1.28^{ns}
	1.75 x 18.00		12,698	–
42.00	14.00 x 3.00	216	17,414	1.49*
	7.00 x 6.00		16,331	1.37*
	3.50 x 12.00		13,854	1.18^{ns}
	1.75 x 18.00		11,734	–
47.25	15.75 x 3.00	192	16,176	1.14^{ns}
	5.25 x 9.00		14,314	–
63.00	21.00 x 3.00	144	14,886	2.38*
	10.50 x 6.00		15,119	2.43*
	7.00 x 9.00		13,441	2.16*
	5.25 x 12.00		12,250	1.97*
	3.50 x 18.00		10,222	1.64*
	1.75 x 36.00		6,220	–

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 4 แสดงค่าความแปรปรวนของแปลงทดลองข้าวโพดที่มีขนาดและรูปร่างต่างกัน ปี พ.ศ. 2518

ขนาดแปลงย่อย (ตารางเมตร)	รูปร่างของแปลงย่อย กว้าง x ยาว (เมตร x เมตร)	Degree of freedom	Comparable Variance	F – ratio
6.00	6.00 x 1	288	266.80	1.06^{ns}
	3.00 x 2	288	252.20	–
	1.50 x 4	288	260.49	1.03 ^{ns}
	.75 x 8	288	280.16	1.11 ^{ns}
9.00	9.00 x 1	192	648.94	1.05 ^{ns}
	4.50 x 2	192	639.86	1.03 ^{ns}
	3.00 x 3	192	618.71	–
	2.25 x 4	192	634.79	1.03 ^{ns}
	1.50 x 6	192	635.11	1.03 ^{ns}
	.75 x 12	192	771.40	1.25 ^{ns}
12.00	12.00 x 1	144	1,246.89	1.03 ^{ns}
	6.00 x 2	144	1,354.61	1.12 ^{ns}
	3.00 x 4	144	1,313.03	1.08 ^{ns}
	1.50 x 8	144	1,214.19	–
13.50	4.50 x 3	123	1,650.48	1.02 ^{ns}
	2.25 x 6	123	1,623.00	–
18.00	18.00 x 1	96	2,951.71	–
	9.00 x 2	96	3,420.86	1.16 ^{ns}
	6.00 x 3	96	3,601.58	1.22 ^{ns}
	4.50 x 4	96	3,551.08	1.20 ^{ns}
	3.00 x 6	96	3,482.41	1.18 ^{ns}
	2.25 x 8	96	3,234.51	1.10 ^{ns}
	1.50 x 12	96	3,375.91	1.14 ^{ns}
	.75 x 24	96	3,592.93	1.22 ^{ns}
24.00	12.00 x 2	72	6,763.49	–
	6.00 x 4	72	7,645.17	1.13 ^{ns}
	3.00 x 8	72	7,063.18	1.04 ^{ns}
27.00	9.00 x 3	64	9,725.95	1.01 ^{ns}
	4.5 x 6	64	9,834.82	1.02 ^{ns}
	2.25 x 12	64	9,638.80	–
36.00	18.00 x 2	48	15,558.29	1.08 ^{ns}
	12.00 x 3	48	18,766.68	1.30 ^{ns}
	9.00 x 4	48	21,073.48	1.46 ^{ns}
	6.00 x 6	48	22,008.71	1.52 ^{ns}
	4.50 x 8	48	20,777.05	1.44 ^{ns}
	3.00 x 12	48	21,408.88	1.48 ^{ns}
	1.50 x 24	48	14,463.73	–

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 5 แสดงประสิทธิภาพของการบล็อค สถานีทดลองข้าวคลองหลวง และสุพรรณบุรี ปี พ.ศ. 2513

Number of plots/block	Block Size (sq.m.)	Block Shape Width x length (m. x m.)	Block efficiency (b.e.) KLG	SPR
Plot Size and Shape : 1.2 x 4.8 (5.76 sq.m)				
2	11.52	2.4 x 4.8	1.21	1.67
		1.2 x 9.6	1.25	0.97
4	23.04	4.8 x 4.8	1.27	1.48
		2.4 x 9.6	1.13	1.06
8	46.08	4.8 x 9.6	1.16	1.08
		2.4 x 19.2	0.97	1.06
		9.6 x 4.8	1.25	1.38
Plot Size and Shape : 2.4 x 6.4 (15.36 sq.m)				
2	30.72	2.4 x 12.8	0.97	1.11
		4.8 x 6.4	1.86	1.40
3	46.08	2.4 x 19.2	0.88	1.08
4	61.44	9.6 x 6.4	1.63	1.12
		4.8 x 12.8	1.07	1.18
6	92.16	4.8 x 19.2	0.94	1.16
8	122.88	9.6 x 12.8	1.13	1.20
		19.2 x 6.4	1.43	1.10
12	184.32	9.6 x 19.2	0.97	1.15
24	368.64	9.6 x 38.4	0.99	1.08
		19.2 x 19.2	0.99	1.02

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการวางแผนการทดลองระหว่าง Simple lattice และ Square lattice กับการวางแผนแบบ Randomized Complete block

Type of Design	Shape of Block m. x m.	No. of Rep	No. of Test	Relative Efficiency(%)	
				Mean	Interval
3 x 3 Simple Lattice	3.6 x 3.2	2	8	102.7	93 – 142
	1.2 x 9.6	2	8	105.6	93 – 139
3 x 3 Lattice Square		2	8	149.3	104 – 195
6 x 6 Simple Lattice	1.2 x 19.2	2	2	100.8	100.5 – 100.9
	1.2 x 19.2	2	2	96.3	93.0 – 99.6
	7.2 x 3.2	2	2	111.4	109.3 – 113.5
	7.2 x 3.2	2	2	117.3	100 – 134.6
6 x 6 Lattice Square		2	2	122.7	120 – 125.4

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 7 อิทธิพลของการแก่งแย่งระหว่างแถวริม และกอริมของงานทดลองข้าว สถานีทดลองข้าวโคกสำโรง ฤดูนาปี พ.ศ. 2510

SOV	DF	MS		
		Grain Height (gm.)	Tiller Count	Plant height (cm.)
Total	623			
Replicate	3	382	10	1,862
Variety	12	136	23	1,575**
Error (a)	36	33	3	64
Row	2	391**	57**	52
R_2 VS R_1R_3	(1)	769**	114**	88
R_1 VS R_3	(2)	13	0.1	16
Var X Row	24	18	2	21
Error (b)	78	17	3	23
Hill	3	6,441**	685**	144**
H_4 VS $H_1H_2H_3$	(1)	2,988**	353**	180**
H_1 VS H_2H_3	(1)	16,329**	1,701**	251**
H_2 VS H_3	(1)	5	0.16	0.87
Var X Hill	36	37**	4	34
Row x Hill	6	323**	44**	43
Var x Row x Hill	72	19	3	17
Error (c)	351	25	3	26

** Significant at 1% level

* Significant at 5% level

$\bar{X}(H_1)$ = 34.5 กรัม 12.9 กอ 157.5 ซม.

$\bar{X}(H_2)$ = 21.5 กรัม 8.8 กอ 155.9 ซม.

$\bar{X}(H_3)$ = 22.1 กรัม 8.8 กอ 156.0 ซม.

$\bar{X}(H_4)$ = 21.1 กรัม 8.4 กอ 155.2 ซม.

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 8 อิทธิพลของการแก่งแย่งระหว่างแถวของงานทดลองกะหล่ำปลีในไร่เอกชน อ.เมือง จ.ลำพูน และ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2517

8.1 Analysis of Variance (ผลผลิตเป็น กก./แถว)

SOV	ลำพูน		เชียงใหม่	
	DF	MS	DF	MS
Rep	2	24.2869	1	2.3184
Fertilizer	5	27.8940	5	18.8932
CK VS treated	(1)	130.5016**	(1)	67.5751**
Among treated	(4)	2.2420	(4)	6.7227
Error (a)	10	12.0745	10	4.7853
Row	3	5.2594	3	2.3775
Border VS Inner row	(1)	14.4453*	(1)	5.7063*
Between Border row	(1)	11.1378	(1)	0.0004
Between Inner row	(1)	0.1951	(1)	1.4259
Row x Fertilizer	15	0.7891	15	0.8868
(Border VS Inner) X (CK VS treated)	(1)	0.2480	(1)	0.0388
X (Among treated)	(4)	0.4108	(4)	0.9350
(Bet.Border) X (CK VS treated)	(1)	0.0807	(1)	0.0003
X (Among treated)	(4)	0.0512	(4)	1.6398
(Bet.Inner) X (CK treated)	(1)	4.4967	(1)	0.7442
X (Among treated)	(4)	1.2833	(4)	0.5537
Error (b)	36	2.5269	18	0.9056
C.V. (a) %	30.8		49.0	
C.V. (b) %	14.1		21.3	

8.2 ผลผลิตเฉลี่ยเป็น กก./แถว

สูตรปุ๋ย	ลำพูน	เชียงใหม่
0 – 0 – 0	8.28	1.81
20 – 0 – 0	12.42	5.08
20 – 0 – 10	11.68	5.59
20 – 0 – 20	12.30	4.27
20 – 10 – 20	11.55	6.12
20 – 20 – 20	13.61	3.89
Mean of Border row	11.74	4.80
Mean of Inner row	10.76	4.12

กรมวิชาการเกษตร

ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของงานทดลอง (Coefficient of Variation)

ในงานทดลองค้นคว้าหาสายพันธุ์พืชดี ให้ผลผลิตสูง มีการตอบสนองต่อปุ๋ยทั้งต้านทานโรคและแมลงนั้นจำเป็นต้องใช้การวางแผนงานทดลองแบบต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับจุดมุ่งหมายของงานค้นคว้าแต่ละสายงาน การที่จะชี้ขาดว่างานทดลองใดดำเนินมาถูกต้องตามหลักวิชาการ สามารถนำผลการทดลองไปใช้อ้างอิงเป็นหลักฐานได้หรือไม่นั้นพิจารณาได้จากผลการวิเคราะห์โดยใช้หลักวิชาสถิติและนิยมใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation = C.V.) ตัดสินว่างานทดลองนั้น ๆ จะเป็นที่เชื่อถือได้มากน้อยแค่ไหน ค่า C.V. ของงานทดลองแต่ละอย่างย่อมแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ

1. ชนิดของพืชและลักษณะต่าง ๆ ของพืชที่ทำการศึกษาค้นคว้า ยกตัวอย่าง เช่น C.V. ของงานทดลองข้าวแยกตามลักษณะที่ศึกษามีดังนี้

ผลผลิต	10 – 12%
ความสูง	5 – 6%
ขนาดของเมล็ด (ความยาว, ความกว้าง)	1 – 2%

2. ขึ้นอยู่กับประเภทของงานทดลอง เช่น
   2.1 งานทดลองเปรียบเทียบพันธุ์พืช (Variety Trial)
   2.2 งานทดลองด้านเขตกรรม เช่น ปุ๋ย ระยะปลูก (Agronomy Trial)
   2.3 งานทดลองด้านโรค – แมลง (past and disease Trial)

ในงานค้นคว้าวิจัยทุกอย่าง นักวิชาการมักสนใจค่า C.V. ของผลผลิตเป็นอันดับหนึ่ง กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์ทางสถิติงานวิจัยเกษตร กองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตร ได้รวบรวมค่า C.V. ของงานทดลองพืชต่าง ๆ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average) ได้ค่า C.V. มาตรฐาน ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 C.V. (%) มาตรฐานตามลักษณะงานทดลองข้าวและพืชไร่ต่าง ๆ

ชนิดพืช	C.V.(%)[1/] ของผลผลิต	
	เปรียบเทียบพันธุ์	เขตกรรม
ข้าวนาสวน	10 ± 3 (603)	12 ± 5 (356)
ข้าวขึ้นน้ำ	15 ± 4 (61)	19 ± 9 (13)
ข้าวโพด	17 ± 9 (335)	15 ± 8 (16)
ข้าวฟ่าง	19 ± 7 (206)	16 ± 7 (11)
ถั่วเหลือง	19 ± 6 (155)	20 ± 9 (17)
ถั่วเขียว	20 ± 7 (87)	20 ± 2 (22)
ถั่วลิสง	16 ± 5 (44)	20 ± 6 (16)
ฝ้าย	18 ± 8 (149)	22 ± 10 (39)
มันสำปะหลัง	19 ± 7	16 ± 6

[1/] แสดงค่าในรูปของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าใน ( ) หมายถึงจำนวนการทดลอง

กรมวิชาการเกษตร

เทคนิคในการดำเนินงานทดลองเกี่ยวกับแมลง (Experimental Techniques in Entomology)

Source of Error in Entomology Field Experiments

นักกีฏมีปัญหาที่เกี่ยวข้องด้วย 2 ชนิด คือ พืชและแมลง

ด้วยเหตุนี้ Source of error จึงเกิดได้ทั้ง 2 ชนิด คือ

1. Error in Agronomic

- Soil heterogeneity
- Border effects
- Missing hills
- Residual effects of unplanted alley
- Residual effects of treatment in previous crops
- Off types
- Non – uniform plant density

2. Error in Entomology Trials

2.1 non – uniform insect distribution นอกเหนือจาก soil heterogeneity และ ฯลฯ การระบาดของแมลงที่ไม่สม่ำเสมอก็เป็นสาเหตุใหญ่ที่ทำให้ค่า experimental error สูง เพราะในงานทดลองศึกษาพันธุ์ต้านทานแมลง จะมีการระบาดของแมลงสูง ทำให้เกิด Non uniform insect distribution เนื่องด้วยการทดลองประเภทนี้ไม่มีการใช้ยาปราบศัตรู คงปล่อยให้การระบาดเป็นไปตามธรรมชาติตรงกันข้ามกับงานทดลองด้าน Agronomic Trial มักมีการป้องกันแมลงอย่างดี (จึงทำให้การระบาดของแมลงสม่ำเสมอดีกว่า)

2.2 Border Effects

2.2.1 เกิดเมื่อการใช้ยาป้องกันที่ต่างกันของ Plot ที่ใกล้เคียง

2.2.2 เกิดเมื่อ degree ของความต้านทานของพันธุ์ที่ต่างกัน พันธุ์หนึ่งอาจมีความต้านทานมากกว่าอีกพันธุ์หนึ่ง

2.2.3 เกิดเมื่อ plot ที่ติดกัน (adjacent plot) ได้รับการ inoculate หรือปล่อยแมลงที่ density ต่างกัน

2.3 Bias in “Check” plot

2.3.1 ในการทดลองเกี่ยวกับ insect control experiments เมื่อมีการวัดผล crop yield และ insect density Check plot or unprotected plot มักจะถูกล้อมรอบด้วย plot ที่มีการใส่ยาในอัตราแตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้ในกรณีที่มีการระบาดของแมลงปานกลาง insecticide ที่ใส่ในแปลงอื่นทำให้ population ของแมลงใน check plot ลดลง ซึ่งข้อนี้จะแตกต่างจาก large area ที่ไม่มีการใส่ยา ผลก็จะทำให้เกิด under estimation ในการวัดผลเกี่ยวกับการใช้ยาหมายความว่า อาจสรุปออกมาได้ว่าการใช้ยาไม่ได้ผลก็เป็นได้

2.3.2 ในการศึกษาหาพันธุ์ที่ต้านทานแมลง (Varietal testing for insect resistance) resistant var. ที่ถูกล้อมรอบด้วย Susceptible var. มักจะถูกแมลงทำลายมากกว่าปกติอาจจะสรุปผลผิดพลาดก็เป็นได้ เช่น พันธุ์ที่ต้านทานแมลง ก็อาจสรุปได้ว่าไม่ต้านทานก็เป็นได้

กลุ่มวิชาการเกษตร

2.4 ความลำบากในการเก็บตัวเลขเกี่ยวกับความเสียหายเนื่องจากแมลง (Entomology data) ในการศึกษาเกี่ยวกับแมลง มักจะวัดผลเกี่ยวกับ

- Insect incidence คือ วัดผล treatment ที่ใช้ใส่ลงไป
- Crop yield เพื่อวัดผล economic loss

การวัดผลการระบาดของแมลง (Measurement of insect incidence)

2.4.1 Insect population variation จะเกิดเนื่องจากการผันแปรของปีและช่วงเวลาของการระบาด

2.4.2 Symptoms ที่เกิดขึ้นจากแมลง เช่น เพลี้ยไฟ ทำให้เป็นโรคใบหงิกวัดได้ยาก เพราะจะเป็นปัญหาว่า symptom นั้นเกิดจากแมลง หรือสาเหตุอื่น

2.5 อิทธิพลของสิ่งแวดล้อม (Effects of environment) ในการทดลองเกี่ยวกับ field experiment มักจะขึ้นกับ

- ดินที่ใช้ปลูกระหว่าง growing season
- ดิน ฟ้า อากาศ
- สิ่งแวดล้อม

ปัญหาเหล่านี้จะยิ่งเป็นปัญหาใหญ่ใน Entomology Trial เพราะ environment effect จะมีอิทธิพลต่อทั้ง insect population และ crop performance

การระบาดของแมลงในแต่ละครั้งจึงไม่สามารถ control ได้ ด้วยเหตุนี้การศึกษาตัวเลขเกี่ยวกับแมลงจึงมี Variation สูงในแต่ละครั้งที่ทำการศึกษา ไม่สามารถที่จะ control insect population จากการศึกษาแต่ละครั้ง

สรุปได้ว่า experimental error ในการทดลองเกี่ยวกับแมลงจึงสูงกว่าใน Agronomic Trial มาก

3. Plot Technique ที่จะใช้ลดค่า Experimental error ยากกว่าของ Agronomic Trial มาก technique เหล่านี้อาจเป็น

3.1 Plot size treatment ที่ใช้ใน entomology work มี border effect มาก เนื่องด้วยมีการใช้ยาฆ่าแมลงหลายชนิด และความหนาแน่นของแมลงในแต่ละช่วงเวลาก็แตกต่างกันไป

ด้วยเหตุนี้ Plot Size ต้องใหญ่กว่า Agronomic Trial มากโดยทั่วไปในการใช้ยาปราบศัตรูพืชมักใช้ประมาณ 10 – 100 ตารางเมตร (ส่วนมากใช้ระหว่าง 20 – 60 เมตร) แต่ถ้าใช้เครื่องมือพ่นยา ควรใช้ขนาดพื้นที่ที่ค่อนข้างใหญ่อย่างน้อยประมาณ 20 x 20 เมตร

3.2 ให้มีการ Blocking คือ เทคนิคในการที่จะแบ่ง plot ที่จะทำการทดสอบ treatment ให้มีความสม่ำเสมอกันให้มากที่สุด ใน Entomology Trial Blocking ไม่ใช่ขึ้นอยู่แต่กับ Soil Heterogeneity เท่านั้น ยังขึ้นอยู่กับ

- Natural Immigration แบ่ง block ตามขวางทิศทางที่แมลงจู่โจม
- Wind Direction หรือตามทางลมที่พัดพาแมลง
- Water Movement มีคันกั้นตามทางที่มีน้ำไหลผ่าน

กรมวิชาการเกษตร

3.3 จำนวนซ้ำ (Number of Replication)

เมื่อได้ control ปัญหาต่าง ๆ ที่จะทำให้เป็นต้นเหตุให้ค่า experimental error สูง เช่น

- Non – uniform distribution
- Border effect
- Bias in CK plot
- Difficulty in collect data
- Effect of environment

แต่ค่า expt. Error ยังคงสูง ก็ต้องเพิ่มจำนวนซ้ำ แต่การเพิ่มก็ต้องระวังถ้าเพิ่มมากเกินไปก็อาจจะไม่คุ้มค่า ควรใช้ประมาณ 3 – 4 ซ้ำ

3.4 การเลือกใช้ Experimental design ช่วยในการ

- เปรียบเทียบ treatment ได้ถูกต้อง
- ขจัด soil heterogeneity
- ขจัด non uniform insect distribution

Design ที่ใช้ดีที่สุด คือ RCB

- แต่ให้มีการ blocking ที่ถูกต้อง
- และมีจำนวน treatment ไม่มากนัก
- ต้องมีการดูแลให้การ management สม่ำเสมอภายใน block
- ให้มี small block size
- เมื่อมีจำนวน treatment มาก ควรใช้ ICB design ทำให้ค่า error ลดลง
- Factorial Expt. and Family of SP design ถ้าจะใช้ให้ปรึกษานักสถิติ

4. Sampling Technique ในการวัดผลเสียหายเนื่องจากแมลง

ยังมีการศึกษาน้อยมากเกี่ยวกับ sampling Technique ในการวัดผล insect incidences เพราะแมลงมีหลายชนิดที่ทำลายหลายพืช เทคนิคหนึ่งอาจเหมาะสมกับการวัดผลแมลงชนิดหนึ่ง แต่อาจไม่เหมาะสมกับอีกชนิดหนึ่ง ด้วยเหตุนี้จึงควรมีการศึกษาร่วมกันระหว่างนักกีฏและนักสถิติ

ในกรณีที่ยังไม่มีการศึกษาถึง Sampling Technique ในการวัดผลแมลงเฉพาะอย่างมีกฎพอที่จะยึดถือง่าย ๆ ดังนี้

4.1 ในการวัดผล insect incidence และ grain yield ควรวัดจากพื้นที่เดียวกัน (same area) ซึ่งถ้าทำการวัดผลและเก็บผลจากคนละแห่ง จะทำให้เกิด sampling error

4.2 ในการวัดผล insect incidence ประกอบด้วย two components คือ

4.2.1 นับจำนวนกอ (ต้น) ที่เสียหาย (infested hill)

4.2.2 วัดความรุนแรงของต้นว่าเป็นมากหรือน้อย (degree of severity) Combination ของ two components ข้างต้นนี้ จะบอกถึง degree of insect incidence = infested hill x degree of severity

กรมวิชาการเกษตร

4.3 เมื่อมี Infestation เกิดขึ้นในการทดลองใด ๆ ควรแบ่ง degree ของความรุนแรงออกเป็น 3 ส่วน

เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย		การนับ
ต่ำ	<30	นับหมดทุกต้น (Complete enumeration)
ปานกลาง	30 – 69	ใช้ Sampling แบบ Skip – row method เช่น นับแถว เว้นแถว หรือแถวเว้น 2 แถว
สูง	>70	นับโดยเว้นแถวให้ห่างขึ้น

4.4 ศึกษาความสัมพันธ์ของแมลงที่ทำลายที่มีอิทธิพลต่อผลผลิต (Relation insect density to crop loss) ในการวัดผลความเสียหายเนื่องจากแมลง ควรคะนึงถึง effect on crop yield ด้วย

ใช้ค่า Correlation หาความสัมพันธ์ของ Insect density x Crop loss ประโยชน์ที่ได้รับ

- ชี้ให้เห็นว่า ศัตรูพืชชนิดไหนที่ทำให้ผลผลิตตกต่ำ
- แมลงชนิดไหน ทำความเสียหายระยะใดให้พืช

4.5 เวลาที่เหมาะสมในการวัดผล

4.5.1 เวลาของการตรวจผลขึ้นกับประสิทธิภาพของยา บางชนิดต้องนับผลเร็ว บางชนิดช้า เข้าใจลักษณะการทำลายของยา เช่น ยา Prebrin ปราบตั๊กแตน ต้องติดตามผลถึงอาทิตย์เพราะฆ่าแมลงช้า

4.5.2 บางชนิดถ้ามีการฉีดยา หรือให้ treatment แล้ว ควรมีการ check ผลในวันรุ่งขึ้นมิฉะนั้นแมลงจากแปลงข้างเคียงจะเข้ามารบกวน

4.5.3 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของ treatment จะวัด population ของแมลงในแต่ละ treatment ค่อนข้างยาก เพราะนิสัยของแมลงแต่ละชนิดต่างกัน การกระจายไม่สม่ำเสมอ บางชนิดเคลื่อนไหวเร็ว บางครั้งจะ check ได้แต่ตัวอ่อนเท่านั้น

4.6 การวัดผลเฉพาะความเสียหายของโรค แมลง เท่านั้นยังไม่พอ จำเป็นจะต้องทำการวัดผลผลิตของพืชที่ทำการทดลองควบคู่ไปด้วย

4.7 ถ้ามีแมลงหลายชนิดระบาดในเวลาเดียวกัน ควรศึกษาแมลงที่มีความสำคัญในแง่ที่ทำให้ผลผลิตตกต่ำก่อน

กรมวิชาการเกษตร

เทคนิคการเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูล

ในงานทดลองทางด้านพืช การที่จะทราบผลของทรีตเมนต์ต่าง ๆ ส่วนใหญ่ใช้วัดลักษณะของพืช เช่น งานทดลองปุ๋ยถั่วเหลือง พันธุ์ สจ 2 โดยการใส่ปุ๋ยอัตราต่าง ๆ จะทราบว่าปุ๋ยแต่ละอัตรามีผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์นี้อย่างไรบ้าง ก็จะใช้วิธีเก็บข้อมูลผลผลิตในแปลงปุ๋ยอัตราต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกัน นอกจากนี้บางการทดลอง ยังเก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิต คุณภาพของเมล็ดหรือผลิตผล เพื่อศึกษาผลของทรีตเมนต์หรือสภาพแวดล้อมต่อพืชนั้น ๆ เช่น ความสูง การแตกกอ จำนวนกิ่ง จำนวนดอก จำนวนเมล็ดต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ จำนวนข้อต่อลำ ขนาดเมล็ดผล เปอร์เซ็นต์โปรตีน น้ำมันในเมล็ด ฯลฯ ซึ่งการเก็บข้อมูลเหล่านี้ จะต้องใช้ขนาด รูปร่าง จำนวนตัวอย่าง และวิธีการสุ่มแตกต่างกัน ตามจุดประสงค์ของงานวิจัย ชนิดของพืช วิธีการปลูก ตลอดจนขนาดของแปลงทดลองด้วย ข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างที่ถูกต้อง จะสามารถใช้อธิบายผลของทรีตเมนต์ต่าง ๆ ได้อย่างแท้จริง ฉะนั้นเทคนิคการเก็บตัวอย่างก็เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการปฏิบัติงานวิจัย

นอกจากนี้การบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของพืช การทำลายของโรค แมลงและสัตว์ศัตรูพืชต่าง ๆ ตลอดจนข้อมูลสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลอง ก็จะใช้เป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะช่วยให้ความแปรปรวนของการทดลอง (Experimental Error) ลดลงได้บ้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อการทดลองนั้นเกิดความเสียหาย นอกจากนี้ยังใช้อธิบายในการรายงานผลการทดลองด้วย

เทคนิคการเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูล ในที่นี้จะกล่าวถึง

1. หลักสำคัญในการเก็บตัวอย่าง
2. การเก็บข้อมูลผลผลิต
3. การเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาคุณภาพของเมล็ด
4. การเก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตข้าว
5. การเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูลแปลงทดลองที่เสียหาย
6. การบันทึกข้อมูลงานทดลอง
7. การบันทึกข้อมูลข้างเคียง

1. หลักสำคัญในการเก็บตัวอย่าง

เนื่องจากงานทดลองเป็นการทำแปลงขนาดเล็ก เก็บตัวอย่างเพื่อประเมินผลผลิต ก็จะเก็บในพื้นที่ขนาดเล็กด้วย เช่น ในงานทดลองถั่วลิสง เก็บเกี่ยวในพื้นที่เพียง 7 ตารางเมตร มันสำปะหลัง 18 ตารางเมตร หรือในไม้ยืนต้น ไม้ผล เก็บจาก 6 – 16 ต้นเท่านั้น เป็นต้น แต่ในการรายงานผลการทดลองโดยทั่วไปจะรายงานผลผลิตเป็นกิโลกรัมต่อไร่ หรือการรายงานลักษณะอื่น ๆ เช่น ความสูง ก็เป็นการเก็บตัวอย่างเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ถึงแม้ว่าบางครั้งจะทำแปลงทดลองขนาดใหญ่ในไร่นา

ภาควิชากายภาพ

เกษตรกรก็ไม่จำเป็นต้องเก็บเกี่ยวทั้งแปลง เพราะเป็นการสิ้นเปลืองเวลา และงบประมาณควรใช้วิธีสุ่มเก็บตัวอย่างจำนวนหนึ่งเท่านั้น

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนของแปลงทดลองนั้นอย่างแท้จริง จึงต้องมีข้อสำคัญที่ควรระมัดระวัง และใช้เป็นหลักในการเก็บตัวอย่าง ดังนี้

1.1 การเว้นแถวริมหรือแถวคุม

1.2 ขนาด รูปร่าง และจำนวนตัวอย่าง

1.3 การสุ่มตัวอย่าง

1.4 การเก็บข้อมูลซ้ำต้นหรือกอเดิม

1.1 การเว้นแถวริมหรือแถวคุม

จากการสังเกตการณ์เจริญเติบโตของพืชในแต่ละแปลงย่อย (plot) จะเห็นได้ว่าต้นพืชที่อยู่ทางด้านริมแปลง จะเจริญได้ดีหรือว่าด้อยกว่าต้นพืชที่อยู่ด้านในของแปลง ทั้งนี้เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของการได้รับแสงแดด ความชื้นและแร่ธาตุอาหาร ต้นที่อยู่ด้านติดกับที่ว่างก็จะได้รับแสงแดดและธาตุอาหารพืชมากกว่าต้นที่อยู่ด้านใน หรือเกิดการแก่งแย่งระหว่างทรีตเมนต์ที่อยู่ติดกัน แปลงย่อยที่ได้ทรีตเมนต์ที่เหมาะสม พืชจะเจริญเติบโตได้ดี อาจจะมีผลต่อต้นพืชที่อยู่ในแปลงที่ติดกันได้

ฉะนั้น การเก็บข้อมูลใด ๆ จึงจำเป็นต้องเว้นส่วนที่เป็นแถวริมหรือพื้นที่ ๆ เป็นส่วนริมของแปลง ซึ่งจะต้องประกอบด้วย

- จำนวนแถวหรือพื้นที่ที่ถือว่าเป็นแถวริม
- ด้านที่ต้องเว้นเป็นแถวริม จะต้องเว้นทั้งสี่ด้านของแปลงย่อย หรือเว้นเฉพาะด้านหัวและท้ายของแปลงทดลองเท่านั้น

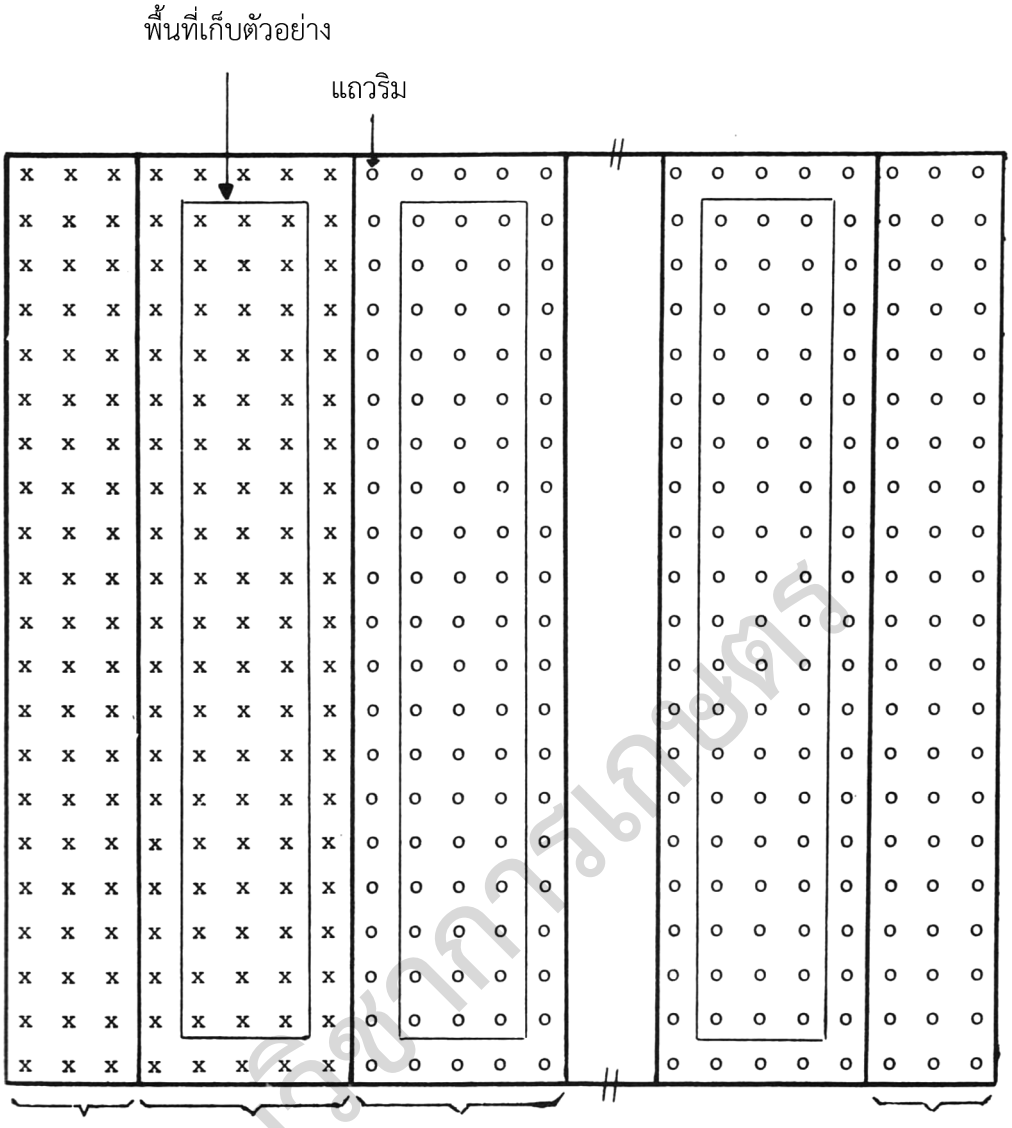
ทั้งสองประการนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ประเภทของงานทดลอง และสภาพการปลูกของเกษตรกร ว่าปลูกเป็นแปลงผืนใหญ่ติดต่อกันหรือปลูกเป็นผืนยาว โดยจะกล่าวทั่ว ๆ ไปถึงการเว้นแถวริมของแปลงทดลองข้าว พืชไร่ ผัก ไม้ดอกไม้ประดับและไม้ยืนต้น ดังนี้

1.1.1 แปลงทดลองข้าว เนื่องจากข้าวเป็นพืชที่มีระยะปลูกไม่ห่างกันมาก ส่วนใหญ่แปลงทดลองข้าวนาดำ จะมีระยะปลูก 25 x 25 หรือ 25 x 33 $\frac{1}{3}$ เซนติเมตร หรือถ้าเป็นข้าวนาหว่านก็จะหว่านเมล็ดไม่ห่างมาก จำนวนแถวที่เว้น จึงให้พิจารณาจากประเภทของงานทดลอง ดังนี้

- งานเปรียบเทียบพันธุ์ ส่วนใหญ่จะจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวที่มีความสูงและอายุไม่ต่างกันมาก อยู่ในการทดลองเดียวกัน ให้เว้นแถวริมของแปลงย่อยด้านละ 1 แถว กอหัวและท้ายแถวด้านละ 1 กอ แต่ถ้าความสูงและความสามารถในการแตกกอของพันธุ์ที่ทดลองแตกต่างกันมาก ก็ให้เพิ่มแถวริม เป็นด้านละ 2 แถว ถ้าเป็นนาหว่านให้เว้นพื้นที่ริมแปลงย่อยทั้งสี่ด้านอย่างน้อยด้านละ 50 เซนติเมตร

ทางด้านหัวและท้ายแปลง (Strip) ให้ปลูกแถวริมเพิ่มขึ้นอีกด้านละ 3 แถว (หรือ 75 เซนติเมตร) โดยใช้ข้าวพันธุ์เดียวกับแปลงย่อยที่อยู่ริมสุด (ภาพที่ 1)

กลุ่มวิชาการเกษตร



ระยะปลูก : 25 x 33 $\frac{1}{3}$ เซนติเมตร

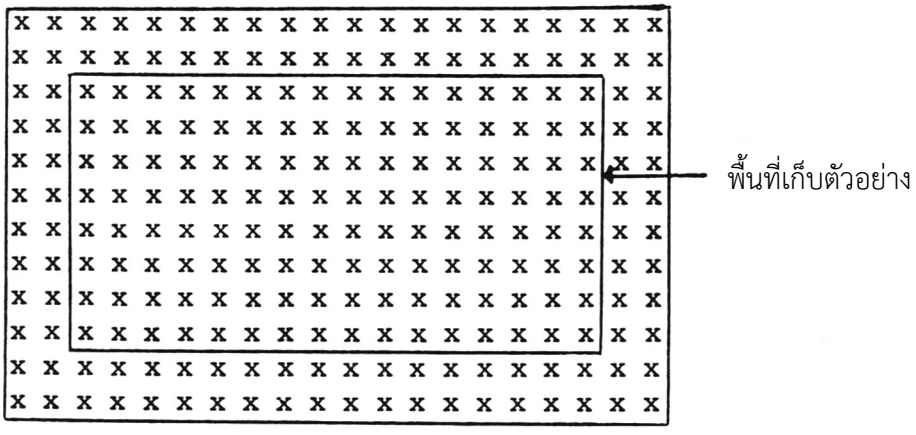
ปลูก : 5 แถว ๆ ละ 21 กอ = 1.67 x 5.25 เมตร

เก็บตัวอย่าง : 3 แถว ๆ ละ 19 กอ = 1.00 x 4.75 เมตร

ภาพที่ 1 การเว้นแถวริมของแปลงทดลองเปรียบเทียบผลผลิตข้าวนาดำ กรณีที่ปลูกโดยการหว่านให้เว้นโดยรอบแปลงอย่างน้อย 50 เซนติเมตร

- งานทดลองปุ๋ย ถึงแม้ว่าแต่ละทรีตเมนต์จะมีคันนากั้นโดยรอบ แต่เพื่อป้องกันการซึมของปุ๋ยในแปลงที่อยู่ใกล้เคียง หรือข้าวแปลงที่ใส่ปุ๋ยอัตราสูง อาจจะเจริญเติบโตเร็ว ลำต้นสูงแตกกอมาก การเจริญเติบโตของรากจะแผ่กระจายไปไกล อาจจะเกิดการแก่งแย่งกับแปลงที่ใส่ปุ๋ยอัตราต่ำที่อยู่ใกล้เคียง ฉะนั้นในงานทดลองปุ๋ย จึงควรเว้นแถวริมอย่างน้อย 2 แถว หัวและท้ายแถวด้านละ 2 กอ (ภาพที่ 2)

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 2 งานทดลองปุ๋ยข้าว ให้เว้นส่วนที่ไม่เก็บตัวอย่าง อย่างน้อยด้านละ 2 แถว หัวและท้ายด้านละ 2 กอ

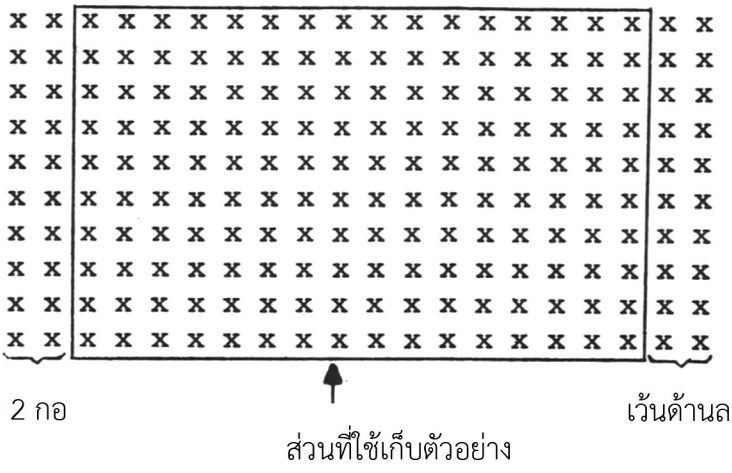
- งานทดลองการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรค แมลง วัชพืช การใช้สารเคมีโดยการพ่น ถึงแม้ว่าจะระมัดระวังไม่ให้กระจายไปยังแปลงย่อยที่อยู่ใกล้เคียงแล้วก็ตาม แต่เพื่อความปลอดภัยจึงควรเว้นแถวริม 2 แถว หรือมากกว่า 2 แถว

นอกจากนี้งานทดลองที่เกี่ยวกับการป้องกันกำจัดแมลง นก ถ้าบางทรีตเมนต์ ใช้สารเคมีที่มีกลิ่นเหม็น อาจทำให้แมลงและนกไม่ทำลายข้าวทรีตเมนต์ใกล้เคียงที่ไม่ได้ใช้สารเคมี ฉะนั้นการทดลองประเภทนี้ ควรพิจารณาให้รอบคอบเกี่ยวกับการวางแผนการปลูกและเก็บข้อมูล

การปลูกข้าวส่วนใหญ่เกษตรกรจะปลูกติดต่อกันเป็นผืนใหญ่ ฉะนั้นการเก็บข้อมูลให้เก็บเว้นแถวริมทั้ง 4 ด้านของแปลงย่อย (ภาพที่ 1 และ 2)

แต่ถ้าเป็นการทดลองที่ปลูกแบบขั้นบันได ซึ่งการปลูกของเกษตรกรจะปลูกเป็นแถวขนานกับขั้นบันได ประมาณขั้นละ 8 – 12 แถว ฉะนั้นการเก็บข้อมูลจึงไม่ถือว่าแถวที่ปลูกเป็นแถวริม ให้เก็บตัวอย่างจากทุกแถว เว้นแต่กอที่อยู่หัวและท้ายของแถวอย่างน้อยด้านละ 2 กอ (ภาพที่ 3) คำแนะนำนี้ได้มาจากผลงานวิจัยของกลุ่มวิจัยและวิเคราะห์ทางสถิติงานวิจัยเกษตร ในเรื่องการศึกษาอิทธิพลแถวริมของข้าวไร่ ที่ปลูกแบบขั้นบันได (กรมวิชาการเกษตร, 2529)

กลุ่มวิจัยการเกษตร



ภาพที่ 3 ข้าวไร่ที่ปลูกแบบขั้นบันได ให้เก็บตัวอย่างทุกแถว แต่เว้นกอที่อยู่หัวและท้ายแถวด้านละอย่างน้อย 2 กอ

1.1.2 แปลงทดลองพืชไร่ ส่วนใหญ่เกษตรกรจะปลูกติดต่อกันเป็นผืนใหญ่ เช่นข้าวโพด งา ถั่ว มันสำปะหลัง ฯลฯ ซึ่งจะมีระยะปลูกระหว่างแถว 50 เซนติเมตรขึ้นไป ให้เก็บตัวอย่างโดยเว้นแถวริมอย่างน้อย 1 แถว หรือ 50 เซนติเมตร และเว้นหัวและท้ายแถว อย่างน้อยด้านละ 3 หลุม (ระยะปลูกระหว่างหลุม 20 เซนติเมตร) หรือ 50 เซนติเมตร (ถ้าปลูกโดยการหว่าน)

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์ทางสถิติงานวิจัยเกษตร ได้ศึกษาอิทธิพลแถวริมของงานทดลองปุ๋ยพืชไร่บางชนิดไว้ (พ.ศ. 2520 – 2523) ดังนี้

- มันสำปะหลัง การเว้นริมขึ้นอยู่กับระยะปลูก ดังนี้

  ระยะ 1 x 2 เมตร ไม่ต้องเว้นแถวริม

  ระยะ 1 x 1 เมตร และ 1 x 0.75 เมตร เว้นแถวริมโดยรอบ 1 แถว

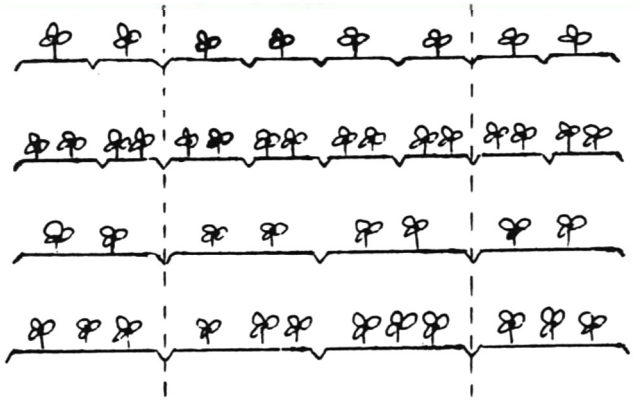
  ระยะ 1 x 0.50 เมตร เว้นแถวริมโดยรอบ 2 แถว

- ข้าวโพดในไร่กสิกร พบว่า การปลูกข้าวโพดโดยใช้ระยะปลูก 75 x 50 เซนติเมตร ปลูกหลุมละ 2 ต้น หรือใช้ระยะปลูก 75 x 25 เซนติเมตร ปลูกหลุมละ 1 ต้น ให้เว้นแถวริมด้านละ 1 แถว และหลุมหัวท้ายด้านละ 2 หลุม

- ถั่วลิสง ซึ่งมีระยะปลูก 50 x 20 เซนติเมตร ให้เว้นแถวริมอย่างน้อย 1 แถว และเว้นหลุมหัวและท้ายด้านละ 3 หลุม

แต่งานทดลองบางครั้ง เช่น ถั่วเขียว แม้ว่าเกษตรกรจะปลูกติดต่อกันเป็นผืนใหญ่แต่ก็จะยกร่องเตี้ย ๆ เพื่อความสะดวกในการให้น้ำ เช่น ร่องกว้าง 75 เซนติเมตร บนร่องอาจจะปลูก 1, 2 แถว การเก็บตัวอย่างให้เว้นร่องที่อยู่ริมทั้ง 2 ด้าน ด้านละอย่างน้อย 1 ร่อง (ไม่ใช่เว้นเพียง 1 แถว) แต่ถ้ามีการยกร่องขนาดกว้างทั้ง 75 และ 150 เซนติเมตร อยู่ในการทดลองเดียวกันให้เก็บตัวอย่างดังภาพที่ 4 คือ ร่องที่มีขนาดกว้าง 75 เซนติเมตร เว้น 2 ร่อง และร่องขนาดกว้าง 150 เซนติเมตร เว้น 1 ร่อง

กรมวิชาการเกษตร



ความกว้างของร่อง

75 เซนติเมตร

75 เซนติเมตร

150 เซนติเมตร

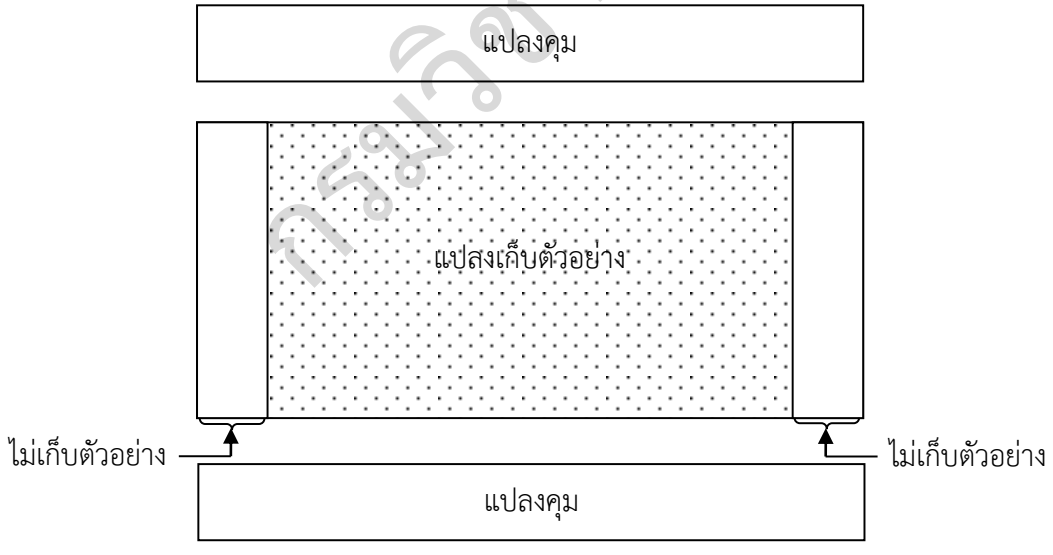
150 เซนติเมตร

ภาพที่ 4 การเก็บตัวอย่างแปลงทดลองถั่วเขียว ที่ปลูกแบบยกร่อง

ส่วนการเว้นหลุมหัวและท้ายของแต่ละแถว ให้เว้นอย่างน้อยด้านละ 3 หลุม หรือ 50 เซนติเมตร

1.1.3 แปลงทดลองผักหรือไม้ดอกไม้ประดับ ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับแปลงทดลองข้าวไร่ที่ปลูกแบบขั้นบันได ในข้อ 1.2 จึงให้เก็บตัวอย่างโดยเว้นเฉพาะต้นที่อยู่หัวและท้ายแถวด้านละอย่างน้อย 2 ต้นหรือหลุม (ดังภาพที่ 3)

เนื่องจากการเก็บข้อมูล ไม่ได้เว้นแถวริมทางด้านยาวของแปลง ถ้าระยะห่างระหว่างแปลงไม่กว้างมาก งานทดลองบางเรื่อง เช่น การพ่นยาป้องกันโรค แมลง เป็นต้น อาจจะมีผลกระทบจากทรีตเมนต์ที่อยู่ใกล้เคียง ให้ป้องกันโดยทำแปลงเพิ่มอีกทั้ง 2 ข้าง เพื่อใช้เป็นแปลงคุม (ภาพที่ 5)

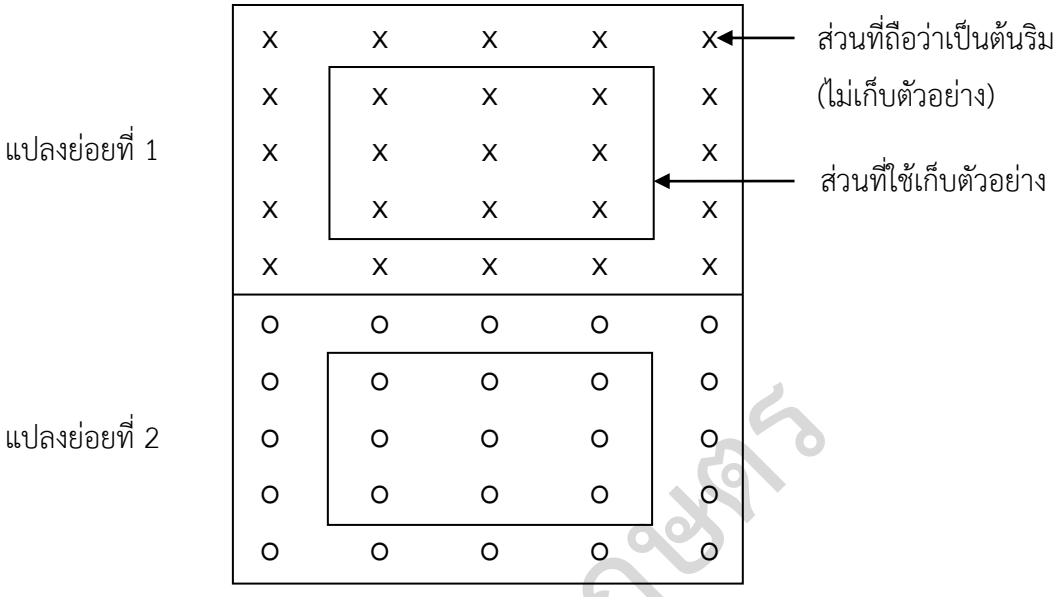


ภาพที่ 5 การใช้แปลงคุมแทนแถวคุม

กรมวิชาการเกษตร

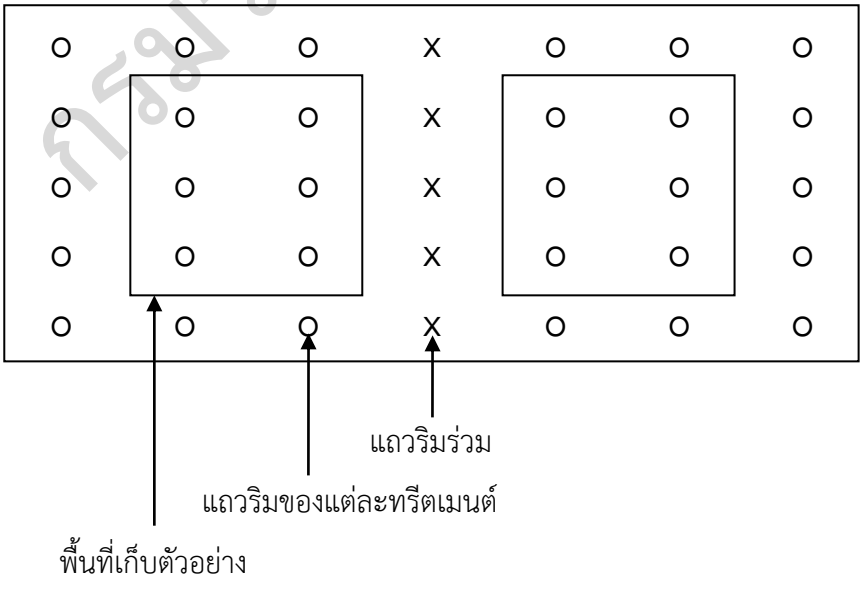
1.1.4 แปลงทดลองไม้ยืนต้น มี 2 ประเภท คือ

- ในงานทดลองที่จะใช้แนะนำเกษตรกรที่ปลูกติดต่อกันเป็นผืนใหญ่ โดยไม่มีท้องร่องคั่นระหว่างแถวปลูก ให้เก็บตัวอย่างโดยเว้นแถวริมด้านละ 1 แถว โดยรอบ (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 การเว้นแถวหรือต้นริมของไม้ยืนต้น

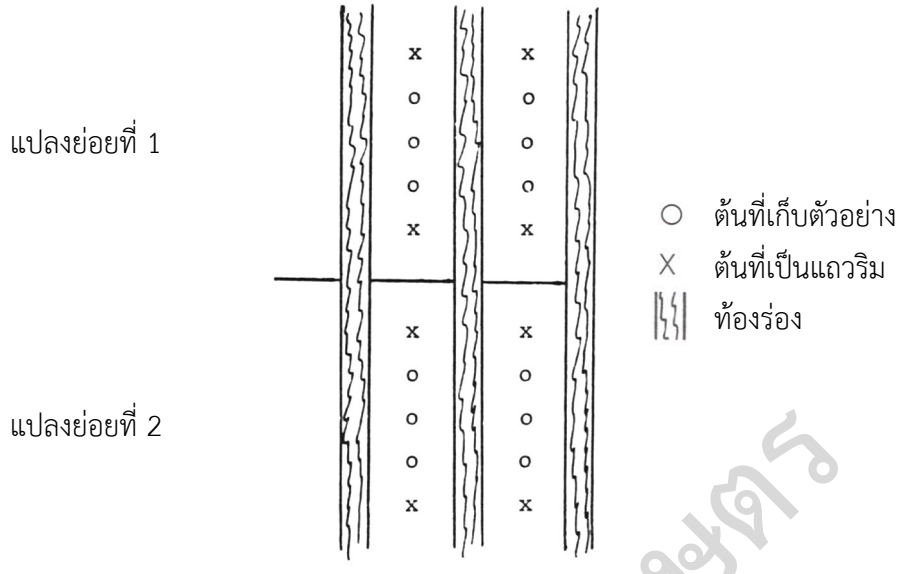
ในงานทดลองไม้ผลบางชนิด เช่น งานทดลองทุเรียน ซึ่งมีระยะปลูกห่างมาก คือ 10 x 10 เมตร เพื่อลดขนาดพื้นที่ทดลองลง อาจจะใช้แถวริมร่วมกับทรีตเมนต์ที่อยู่ข้างเคียงได้



ภาพที่ 7 การใช้แถวริมร่วมกับทรีตเมนต์ที่อยู่ข้างเคียง

กรมวิชาการเกษตร

สวนผลไม้ในท้องที่บางแห่ง เช่น สวนส้มที่รังสิต เป็นการปลูกที่มีท้องร่องกั้นระหว่างแถว ฉะนั้นจะเว้นต้นริม เฉพาะต้นที่อยู่หัวและท้ายของแถวเท่านั้น (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 การเว้นแถวริมของไม้ผลที่ปลูกโดยมีท้องร่องระหว่างแถว

1.2 ขนาด รูปร่าง และจำนวนตัวอย่าง

ในการทำงานวิจัย ส่วนใหญ่แล้วมักจะวัดผลผลิต เพื่อใช้เป็นค่าแสดงผลของทรีตเมนต์ ลักษณะผลผลิตเป็นลักษณะที่มีความแตกต่างกันในระหว่างต้นมาก และต้นที่อยู่ใกล้กันจะมีผลต่อกัน ฉะนั้นจึงต้องเก็บตัวอย่างจากหลายต้นหรือหลายกอ และเก็บเกี่ยวเป็นพื้นที่ติดต่อกันซึ่งจะมีขนาดแตกต่างกันในแต่ละพืช ส่วนรูปร่างของตัวอย่างนั้น จะต้องเก็บเกี่ยวติดต่อกันมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาวหรือจัตุรัสนั้น แตกต่างกันในแต่ละพืช ทางกลุ่มวิจัยและวิเคราะห์ทางสถิติงานวิจัยเกษตร ได้ศึกษาถึงขนาดและรูปร่างของตัวอย่างที่จะใช้เก็บข้อมูลเพื่อประเมินผลผลิตของข้าวและพืชไร่หลายชนิด ดังแสดงไว้ในหัวข้อที่ 7 การใช้เทคนิคทางสถิติในการปฏิบัติงานทดลอง เรื่องขนาดและรูปร่างของแปลงย่อย (หน้า 194 และ 196)

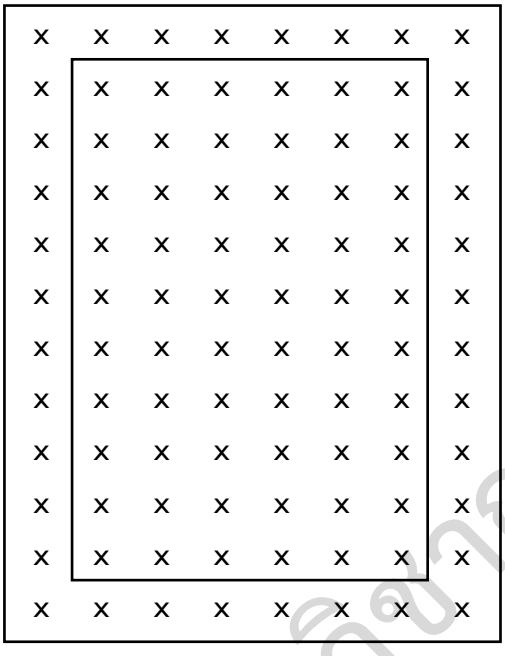
ในการเก็บตัวอย่างเพื่อประเมินผลผลิตของทุกแปลงย่อย ที่อยู่ในการทดลองเดียวกันจะต้องเก็บข้อมูลจากพื้นที่เท่ากันทุกแปลงย่อย แต่งานทดลองเกี่ยวกับระยะปลูก บางครั้งจะพบว่าไม่สามารถเก็บผลผลิตในพื้นที่เท่ากันได้ ในกรณีนี้ให้พยายามเก็บในพื้นที่ให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด (การคำนวณผลผลิตเป็นกิโลกรัมต่อไร่ ให้คำนวณจากพื้นที่เก็บเกี่ยวของแต่ละแปลงย่อย) เช่น งานทดลองเปรียบเทียบระยะปลูกมันสำปะหลัง 4 ระยะ ดังตารางที่ 1

กลุ่มวิจัยการเกษตร

ตารางที่ 1 ระยะปลูก พื้นที่ปลูกและเก็บเกี่ยว ของงานทดลองมันสำปะหลัง

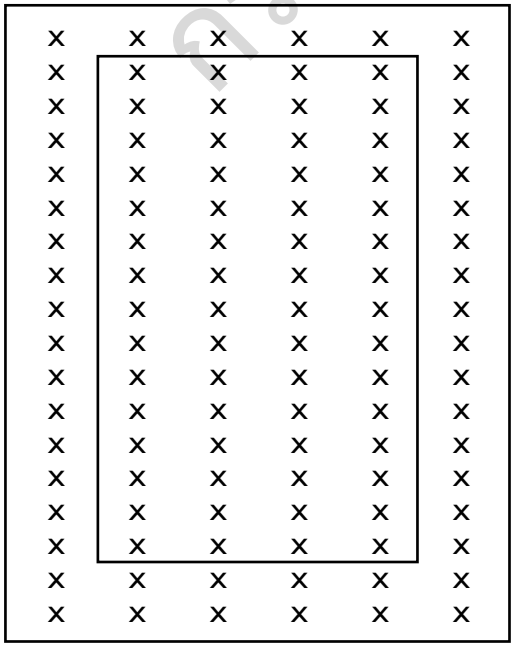
ทรีตเมนต์	ระยะปลูก (ซม.)		ปลูก			เก็บเกี่ยว		
	ระหว่างแถว	ระหว่างต้น	แถว	ต้น/แถว	น.ท.(ม.^{2})	แถว	ต้น	น.ท.(ม.^{2})
1	100	100.00	8	12	96	6	10	60
2	150	66.66	6	18	108	4	15	60
3	200	50.00	5	24	120	3	20	60
4	300	33.33	4	36	144	2	30	60

Treatment 1 ระยะปลูก 100 x 100 ซม.



ปลูก 8 แถว ๆ ละ 12 ต้น (96 ม.^{2})
เก็บเกี่ยว 6 แถว ๆ ละ 10 ต้น (60 ม.^{2})

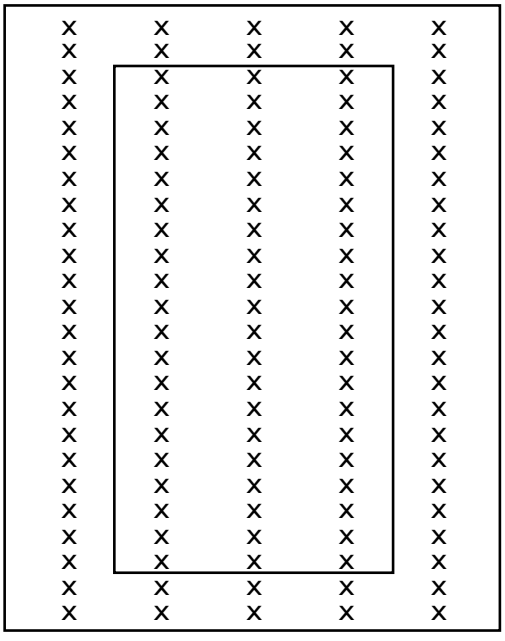
Treatment 2 ระยะปลูก 150 x 66.66 ซม.



ปลูก 6 แถวๆ ละ 18 ต้น (108 ม.^{2})
เก็บเกี่ยว 4 แถวๆ ละ 15 ต้น (60 ม.^{2})

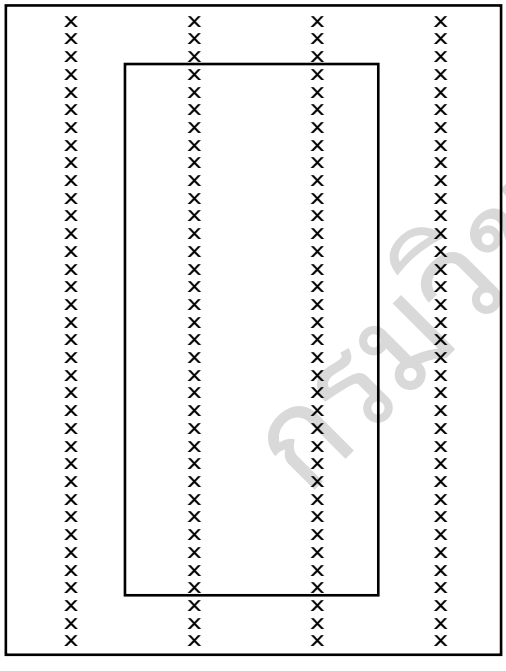
คณะวิทยาการเกษตร

Treatment 3 ระยะปลูก 200 x 50 ซม.



ปลูก 5 แถวๆ ละ 24 ต้น (120 ม.^{2})
เก็บเกี่ยว 3 แถวๆ ละ 20 ต้น (60 ม.^{2})

Treatment 4 ระยะปลูก 300 x 33.33 ซม.



ปลูก 4 แถวๆ ละ 36 ต้น (144 ม.^{2})
เก็บเกี่ยว 2 แถวๆ ละ 30 ต้น (60 ม.^{2})

กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 9 ภาพแสดงพื้นที่เก็บตัวอย่างมันสำปะหลัง ที่ใช้ระยะปลูกต่างกัน

นอกจากข้อมูลผลผลิตแล้ว นักวิจัยยังได้เก็บข้อมูลลักษณะอื่น ๆ ด้วย เช่น ความสูง การแตกกอ จำนวนดอก จำนวนกิ่ง ฯลฯ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเสริมในการรายงานผลการทดลอง ลักษณะพวกนี้จะมีความแตกต่างในระหว่างต้นหรือกอน้อยกว่าผลผลิตมากฉะนั้นขนาดของตัวอย่างจึงใช้น้อยกว่าการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินผลผลิต เช่น ข้าวนาดำ เก็บข้อมูลผลผลิตในพื้นที่ 8 ตารางเมตร วัดความสูง 5 ต้น (สุ่ม 5 จุด จุดละ 1 กอ) จำนวนรวงต่อกอ นับจาก 10 กอ (สุ่ม 5 จุด จุดละ 2 กอ) เป็นต้น สรุปแล้วจำนวนต้นหรือกอที่ใช้เป็นตัวอย่างนั้นให้พิจารณาดูความสม่ำเสมอในแปลงทดลองนั้น ถ้าลักษณะใดมีความสม่ำเสมอมากจะใช้จำนวนต้นหรือกอที่เป็นตัวอย่างน้อย แต่ลักษณะใดที่มีความแปรปรวนสูงก็ให้วัดหรือนับจากหลายต้นหรือหลายกอ

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์ทางสถิติงานวิจัยเกษตร ได้ศึกษาหาขนาดและรูปร่างแปลงเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม สำหรับศึกษาน้ำหนักฟางข้าวที่ปลูกแบบนาดำ พบว่าในงานด้านเขตกรรม ให้ใช้ตัวอย่างฟางข้าว 10 กอ โดยสุ่มเก็บตัวอย่างจาก 5 แถว ๆ ละ 2 กอ ที่ปลูกติดกัน

การสุ่มตัวอย่างหัวมันสำปะหลัง เพื่อประเมินหาปริมาณแป้ง พบว่าให้ใช้หัวมันจากต้นที่สุ่มมาอย่างน้อย 6 ต้น

ทางด้านการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับแมลง ได้ศึกษาไว้ 2 เรื่อง คือ

- การประเมินผลการทำลายของแมลงมั่วในนาข้าว ให้เก็บตัวอย่างจากกอที่อยู่ติดต่อกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว ส่วนขนาดตัวอย่างขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์การทำลาย คือ ถ้ามีการทำลายประมาณมากกว่า 80, 50, 30 และน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ สุ่มเก็บตัวอย่างจุดละ 4, 5, 6 และ 10 กอ ตามลำดับ

- การประเมินการทำลายของหนอนกอในนาข้าว ให้ใช้ขนาดตัวอย่าง 1 x 1 เมตร จำนวน 4 ตัวอย่าง ในแปลงทดลองขนาด 1 ไร่ จะได้ค่า Standard error of mean (%) ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์

1.3 การสุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลที่วัดจากทุกต้นในแปลงทดลอง ก็คือ ข้อมูลของแปลงทดลองนั้น แต่นักวิจัยสามารถที่จะเก็บข้อมูลจากต้นหรือกอ จำนวนหนึ่ง ก็สามารถใช้ประเมินค่าของแปลงทดลองนั้นได้ ถ้าใช้ขนาดและรูปร่างของตัวอย่าง ตลอดจนวิธีการสุ่มตัวอย่างที่ถูกต้อง

เพื่อป้องกันความลำเอียงในการเลือกตัวอย่าง จึงต้องใช้การสุ่ม เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการปฏิบัติงาน ควรสุ่มจุดที่จะเก็บตัวอย่างให้เรียบร้อยก่อนที่จะไปเก็บข้อมูล การสุ่มตัวอย่างมีหลายแบบ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงแบบแผนการสุ่ม (Sampling Design) ที่ปฏิบัติกันส่วนใหญ่ คือ Simple Random Sampling

กรมวิชาการเกษตร

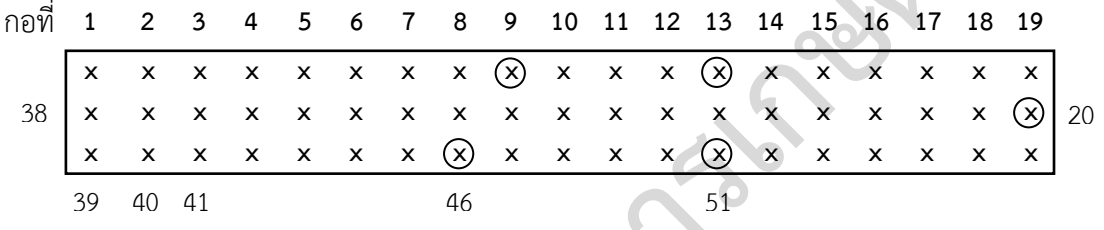
Simple Random Sampling การสุ่มวิธีนี้ ทุกต้นหรือกอในแปลงทดลอง (เว้นส่วนที่ถือว่าเป็นแถวริม ซึ่งจะไม่ใช้เก็บข้อมูล) มีโอกาสที่จะถูกสุ่มเพื่อเก็บข้อมูลเท่า ๆ กัน ที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ Random – Number Technique และ Random – Pair Technique

1.3.1 Random – Number Technique เป็นวิธีการสุ่มต้นหรือกอที่ที่จะใช้เก็บข้อมูลจากต้นหรือกอทั้งหมดในแปลง ใช้ในงานทดลองที่สามารถนับต้น หลุม กอ หรือแบ่งพื้นที่แปลงทดลองเป็นส่วน ๆ ได้โดยง่าย โดยให้เลขที่ต้นทั้งหมดแล้วสุ่มต้นที่จะเก็บข้อมูล โดยวิธีการจับฉลาก หรือใช้ตารางเลขสุ่ม ตัวอย่าง เช่น ในแปลงทดลองเปรียบเทียบผลผลิตข้าวนาดำ (ภาพที่ 10) ซึ่งเมื่อตัดแถวริมออกแล้ว

จะเหลือต้นที่จะเก็บข้อมูล 57 กอ จากการสุ่มได้กอที่เป็นตัวอย่าง 5 กอ ดังนี้

สุ่มได้กอที่ 09, 46, 51, 13, 20

จัดเรียงตามลำดับได้ดังนี้ 09, 13, 20, 46, 51



ภาพที่ 10 สุ่มวัดความสูง 5 ต้น ในแปลงทดลองเปรียบเทียบผลผลิตข้าวนาดำ

กอที่วัดเป็นตัวอย่างทั้ง 5 กอนี้ ต้องไม่เป็นกอที่อยู่ติดกับกอหายหรือกอที่เป็นข้าวปนเพราะความสูงที่วัดได้จะไม่ใช่ความสูงที่แท้จริงของข้าวแปลงนี้ฉะนั้นในการปฏิบัติควรจะสุ่มตัวอย่างสำรองไว้ด้วยเพื่อใช้ทดแทนกอที่ไม่ควรใช้เป็นตัวอย่าง

1.3.2 Random – Pair Technique ใช้ในงานทดลองที่มีต้น กอ หรือหลุมเป็นจำนวนมาก จึงไม่สะดวกที่จะนับเพื่อหาต้นที่ตกเป็นตัวอย่าง นอกจากนี้ การปลูกโดยวิธีการหว่านก็ไม่สามารถที่จะนับต้นได้ จึงต้องใช้สุ่มตัวเลขตัวอย่างละ 1 คู่ เพื่อใช้เป็นแถวและต้นที่จะเก็บข้อมูลหรือใช้เป็นระยะทางด้านกว้างและยาว ของจุดที่จะใช้เก็บข้อมูล ดังนี้

- สุ่มแถวและต้น เป็นการสุ่มหาแถวและต้นที่จะเก็บข้อมูล เช่น การนับจำนวนเพลี้ยจั๊กจั่นในแปลงทดลองละหุ่ง (จากงานวิจัยของกลุ่มวิจัยและวิเคราะห์ทางสถิติงานวิจัยเกษตร ร่วมกับกลุ่มงานวิจัยแมลงศัตรูพืชน้ำมันกองกีฏและสัตววิทยา) พบว่าในการปลูกละหุ่ง 10 แถว ๆ ละ 31 ต้น ถ้ามีเพลี้ยจั๊กจั่น เฉลี่ย 37 ตัวต่อต้น การเก็บตัวอย่างจาก 5 แถว ๆ ละ 15 ต้น จะได้ค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย 15% การที่ปลูก 10 แถว ๆ ละ 31 ต้น จะเห็นว่ามีจำนวนต้นมาก การสุ่มหาแถวและต้นจะสะดวกกว่าการสุ่มหาตัวอย่างเดียว

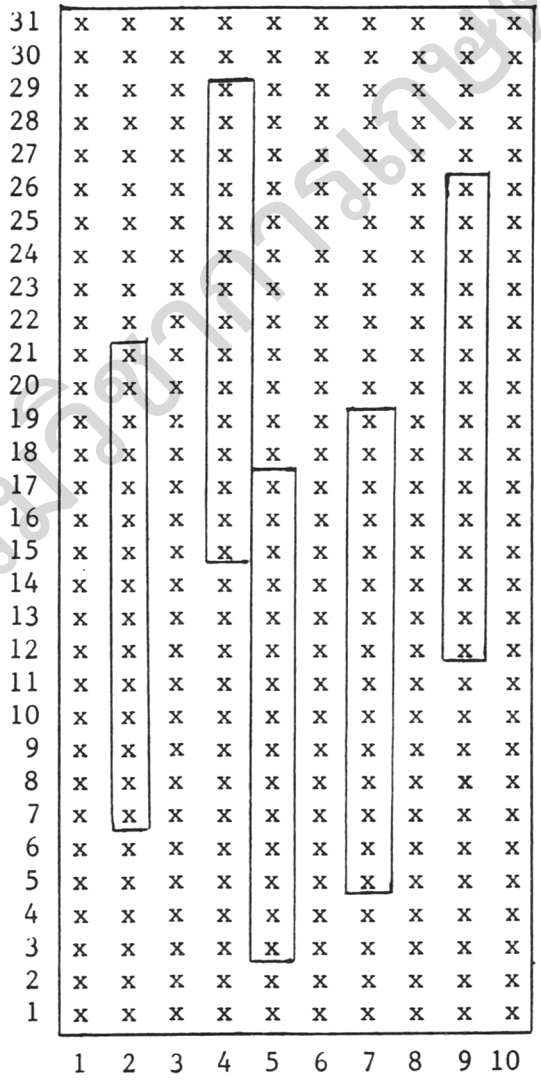
กลุ่มวิชาการเกษตร

การสุ่มต้นและแถว จะต้องใช้เป็นเลขคู่ มีจำนวน 5 คู่ ดังนี้

แถวที่	ต้นที่
9	12
2	7
5	3
7	5
4	15

เรียงลำดับแถวจากน้อยไปหามาก

แถวที่	ต้นที่
2	7
4	15
5	3
7	5
9	12



ภาพที่ 11 แสดงแถวและต้น ที่เป็นตัวอย่างจากการสุ่ม

กรมวิชาการเกษตร

- สุ่มจุดที่ใช้เก็บข้อมูล งานทดลองที่ปลูกโดยการหว่านหรือการเก็บข้อมูลผลผลิตในแปลงทดลองขนาดใหญ่ ควรจะใช้วิธีการสุ่มแบบนี้ คือ หาจุดที่เป็นตัวอย่าง โดยวัดจากริมแปลงหรือคันนาทั้งด้านกว้าง และยาวของแปลง ตามเลขที่สุ่มได้

ตัวอย่างเช่น ต้องการประเมินผลผลิตในแปลงข้าวนาดำ ซึ่งมีขนาดกว้าง 50 เมตร ยาว 126 เมตร ซึ่งคำนวณพื้นที่ได้ประมาณ 4 ไร่ ในกรณีนี้จะต้องเก็บตัวอย่างเพื่อประเมินผลผลิตจำนวน 4 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างมีพื้นที่ 2 x 4 เมตร หรือ 8 ตารางเมตร โดยมีวิธีการปฏิบัติดังนี้

1) ใช้ตารางเลขสุ่ม สุ่มตัวเลข 4 คู่ คือ

คู่ที่	ยาว	กว้าง
1	014	31
2	106	04
3	045	18
4	075	36

2) จัดเรียงลำดับเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติ ได้ดังนี้

จุดที่	ด้านยาว		ด้านกว้าง	
	เลขสุ่ม	ห่างจากจุดที่อยู่ก่อน	เลขสุ่ม	ห่างจากจุดที่อยู่ก่อน
1	014		31	
2	045	+31	18	–13
3	075	+30	36	+18
4	106	+31	04	–32

3) สุ่มจุดที่เก็บเกี่ยวกับข้าวเพื่อประเมินผลผลิต ดังนี้

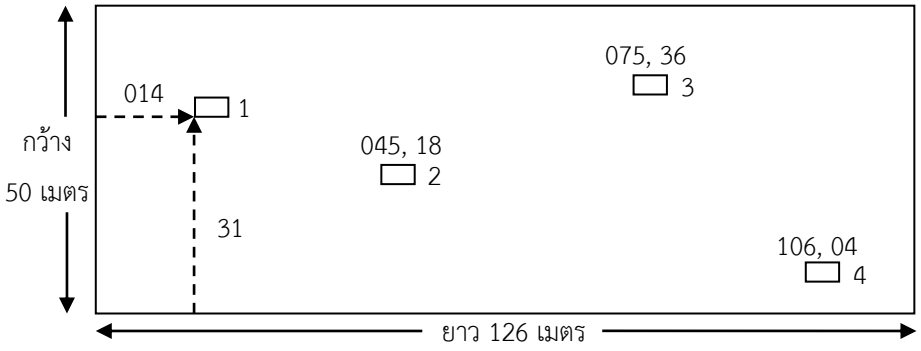
จุดที่ 1 จากมุมคันนา วัดไปตามความกว้างของแปลง 31 เมตร แล้ววัดทางด้านยาวไป 14 เมตร โดยทำมุมฉากกับด้านกว้าง จากจุดนี้เกี่ยวข้าว ในพื้นที่ 2 x 4 เมตรหรือ 8 ตารางเมตร

จุดที่ 2 จากมุมคันนาที่เริ่มต้น วัดด้านยาว 45 เมตร กว้าง 18 เมตร ก็จะได้จุดที่เก็บข้อมูล จุดที่ 2 แต่การเดินย้อนไปที่จุดเริ่มต้นจะเป็นการเสียเวลา อาจจะใช้วิธีวัดต่อไปจากจุดที่ 1 ได้ คือ ทางด้านยาว จุดที่ 2 อยู่ห่างจากจุดที่ 1 = +31 เมตร ให้วัดเดินหน้า 31 เมตร ส่วนทางด้านกว้าง, ห่างจากจุดที่ 2 = –13 เมตรให้วัดย้อยกลับไป 13 เมตร ก็จะได้จุดเก็บเกี่ยวที่ 2

จุดที่ 3 จากจุดที่ 2 วัดเดินหน้าไปตามด้านยาว 30 เมตร (+30) แล้วเดินหน้าไปทางด้านกว้าง 18 เมตร (+18)

จุดที่ 4 จากจุดที่ 3 ทางด้านยาว วัดเดินหน้าไป 31 เมตร (+31) ทางด้านกว้างวัดย้อนกลับมา 32 เมตร (–32)

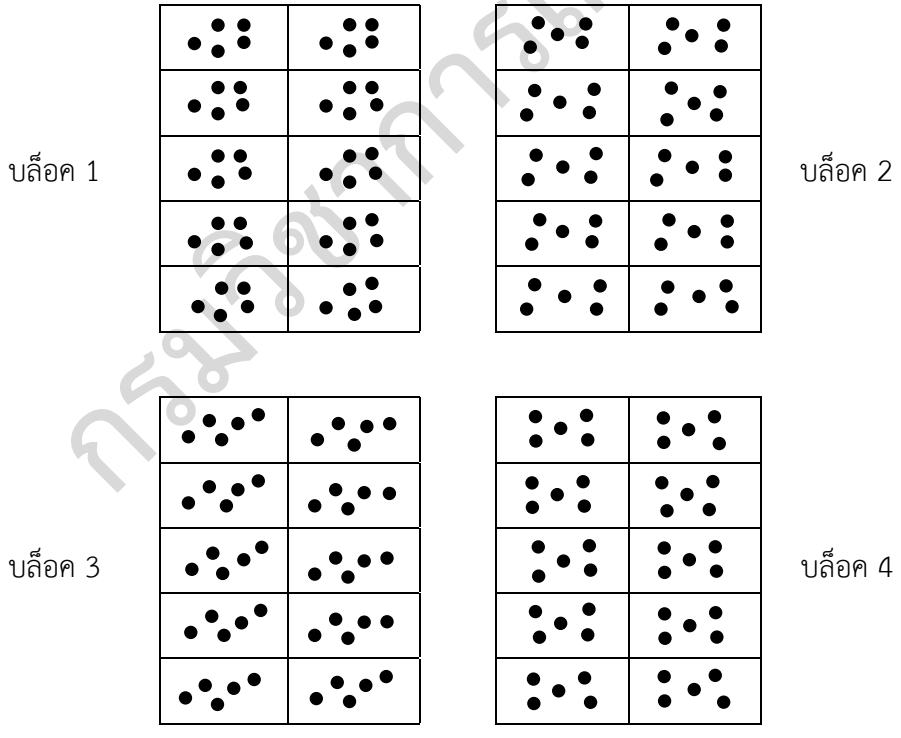
กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 12 การสุ่มตัวอย่าง 4 จุด เพื่อเก็บข้อมูลผลผลิตแปลงทดลองข้าวนาดำ

การสุ่มตัวอย่างนี้ ควรสุ่มตัวเลขสำรองไว้อย่างน้อย 1 คู่ เพื่อทดแทนตัวอย่างที่ไม่เป็นตัวแทนของแปลงนั้น เช่น เป็นแปลงทดลองปุ๋ย แต่ถูกหนูกินเสียหาย ก็ให้ใช้จุดที่สุ่มตัวเลขที่สำรองไว้แทน แต่ถ้าความเสียหายนั้นเนื่องจากทรีตเมนต์ ก็ให้ใช้ตัวอย่างนั้นเลย โดยไม่ต้องใช้เลขสำรอง

ในแผนงานทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ (RCB) ในบล็อคเดียวกัน อาจจะใช้แผนผังการสุ่มเหมือนกันทุกทรีตเมนต์ก็ได้ ถ้ามี 4 ซ้ำ ก็จะต้องสุ่มจุดที่เก็บตัวอย่าง 4 แบบ ดังนี้



ภาพที่ 13 จุดสุ่มตัวอย่างที่เหมือนกันทุกทรีตเมนต์ในบล็อคเดียวกันแต่ต่างกันในระหว่างบล็อค

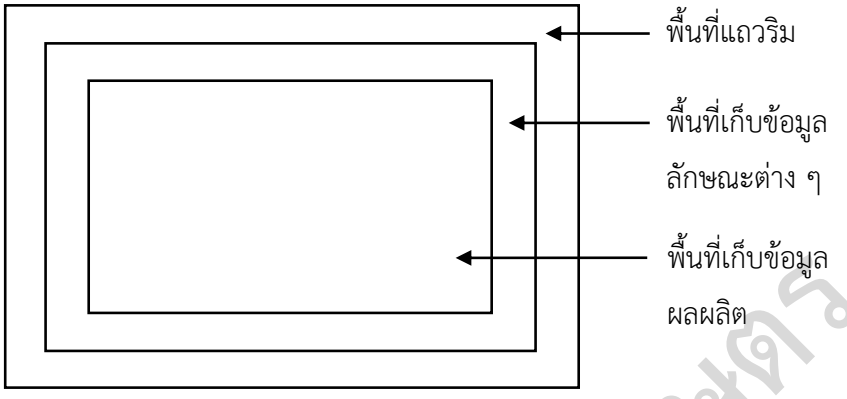
<u>หมายเหตุ</u> ในการสุ่มตัวอย่าง ควรสุ่มตัวอย่างสำรองด้วย เพื่อทดแทนจุดสุ่มตัวอย่างที่ไม่ใช่ตัวแทนที่ดีของแปลงนั้น เช่น ต้นที่ติดกับพื้นที่ ๆ มีต้นหาย เป็นต้น

กรมวิชาการเกษตร

1.4 การเก็บข้อมูลซ้ำต้นหรือกอเดิม

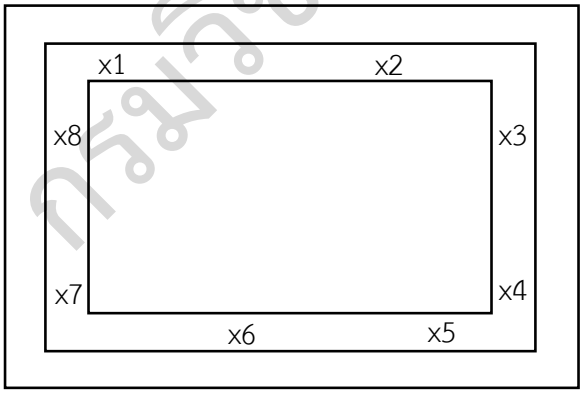
ปกติการวัดลักษณะต่าง ๆ เช่น ความสูง ในการเจริญเติบโตระยะต่าง ๆ จะต้องวัดจากต้นเดิมเพื่อทราบความเปลี่ยนแปลง แต่การวัดจากต้นเดิมหลาย ๆ ครั้ง อาจทำให้การเจริญเติบโตไม่เป็นไปตามปกติ ควรปฏิบัติดังนี้

- สุ่มเลือกตัวอย่างจากต้นหรือกอที่อยู่นอกขอบเขตที่จะเก็บผลผลิตดังภาพข้างล่างนี้



ภาพที่ 14 แสดงพื้นที่เก็บข้อมูล

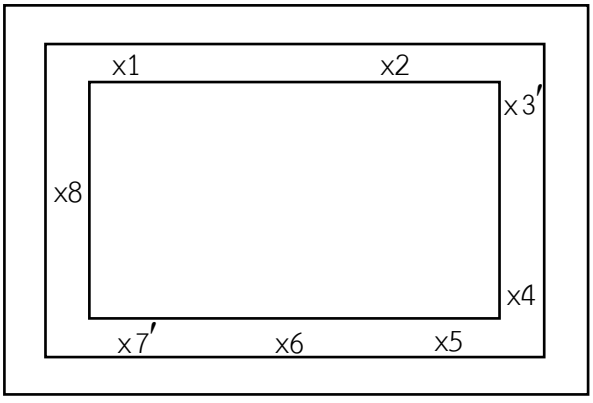
- สุ่มเพื่อเปลี่ยนต้นหรือกอ ที่เป็นตัวอย่างครั้งละ $\frac{1}{4}$ ของจำนวนต้นหรือกอทั้งหมดที่ทำการวัดในแต่ละครั้ง เช่น การวัดความสูง 8 ต้น สุ่มตัวอย่างได้ดังนี้



ภาพที่ 15 แสดงต้นที่เป็นตัวอย่าง เพื่อวัดความสูง

กรมวิชาการเกษตร

ครั้งต่อมา ให้สุ่มเปลี่ยนต้นตัวอย่าง 2 ต้น เช่น สุ่มเปลี่ยนต้นที่ 3 และ 7 เป็น 3′ และ 7′ ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ภาพการเปลี่ยนต้นหรือกอที่เป็นตัวอย่าง เมื่อต้องวัดหลายครั้ง

2. การเก็บข้อมูลผลผลิต

งานทดลองส่วนใหญ่จะเก็บข้อมูลผลผลิตด้วย ซึ่งมีวิธีการเก็บข้อมูลแตกต่างกันตามขนาดของแปลงทดลอง ดังนี้

2.1 แปลงทดลองขนาดเล็ก

2.2 แปลงทดลองขนาดใหญ่

2.1 แปลงทดลองขนาดเล็ก

แบ่งอีกเป็น 2 ประเภท คือ

2.1.1 แปลงทดลองที่ปลูกพืชชนิดเดียว ให้เก็บข้อมูลผลผลิตในพื้นที่ติดต่อกัน โดยมีรูปร่างและขนาดอย่างน้อยตามที่กำหนดไว้ของแต่ละพืช ตามตาราง ขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมของพืชต่าง ๆ ในหัวข้อเทคนิคทางสถิติในการปฏิบัติงานทดลองหน้า 196

2.1.2 แปลงทดลองที่ปลูกพืชหลายชนิด ถ้าเป็นการปลูกคนละฤดูกาล เช่น ปลูกถั่วแล้วตามด้วยข้าวโพด การเก็บเกี่ยวผลผลิตจะใช้ขนาดและรูปร่างตามความเหมาะสมของแต่ละพืช ส่วนการปลูกพืชพร้อมกัน คือ มีพืชหลักและพืชแซม จะมีวิธีการเก็บเกี่ยวและคำนวณพื้นที่ โดยคำนึงว่าพืชหลักนั้นเป็นพืชที่มี ระยะห่างระหว่างแถวไม่กว้างมาก เช่น พวกพืชไร่ หรือระหว่างแถวกว้างมาก เช่น พวกไม้ยืนต้น ดังนี้

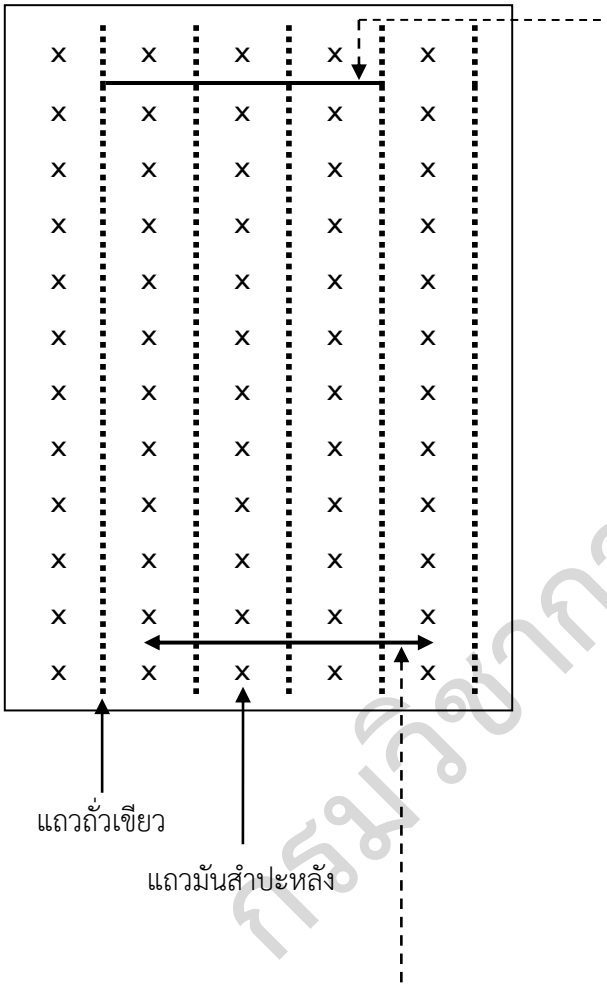
- พืชหลักเป็นพืชไร่ ให้เก็บผลผลิตของพืชหลักและพืชแซมในพื้นที่ที่เหมาะสมของพืชหลัก เช่น แปลงทดลองปลูกถั่วเขียว เป็นพืชแซมมันสำปะหลัง ให้เก็บเกี่ยวกับผลผลิตถั่วเขียวในพื้นที่เท่ากับมันสำปะหลัง ดังภาพที่ 17 และ 18

- พืชหลักเป็นไม้ยืนต้น เช่น ยาง มะพร้าว ซึ่งมีระยะห่างระหว่างแถว 6 – 8 เมตร การเก็บตัวอย่างเพื่อคำนวณผลผลิตของพืชแซม ให้เก็บในพื้นที่อย่างน้อยในขนาดที่เหมาะสมของพืชแซมชนิดนั้น ๆ เช่น ปลูกมันสำปะหลัง เป็นพืชแซมยาง ให้เก็บในพื้นที่อย่างน้อย 18 ตารางเมตร

กรมวิชาการเกษตร

ในตัวอย่างเก็บผลผลิต 30 ตารางเมตร โดยเว้นแถวริมที่อยู่หัวท้ายของแปลงอย่างน้อย 1 แถว แต่แถวหรือต้นที่อยู่ติดกับแถวยางให้เก็บผลผลิตด้วยไม่ต้องเว้นแถวริม ภาพที่ 19 และ 20

การคำนวณผลผลิตของพืชแซมไม้ยืนต้น ถ้าจะปรับตัวเลขจากพื้นที่เก็บตัวอย่างเป็นพื้นที่ต่อ 1 ไร่ เหมือนปกติไม่ได้ ให้คำนวณโดยใช้ระยะห่างระหว่างแถวของพืชหลักเป็นความกว้างของพื้นที่เก็บตัวอย่างพืชแซม ดังตัวอย่างภาพที่ 19 หน้า 242 และภาพที่ 20 หน้า 243 คำนวณพื้นที่เก็บเกี่ยวมันสำปะหลังที่ปลูกระหว่างแถวยาง กว้าง 8 เมตร = 8 x 5 = 40 ตารางเมตร



<u>พื้นที่เก็บผลผลิตมันสำปะหลัง</u>

กว้าง = 3 เมตร

<u>มันสำปะหลัง</u>

ปลูก

พื้นที่ = 5 x 12 เมตร

ระยะระหว่างแถว = 1 เมตร

ระยะระหว่างหลุม = 1 เมตร

ปลูก 5 แถว ๆ ละ 12 ต้น

เก็บเกี่ยว

พื้นที่ = 3 x 10 เมตร

เก็บ 3 แถว

แถวละ 10 ต้น

<u>ถั่วเขียว</u>

ปลูก

ปลูกระหว่างแถวมันสำปะหลัง

ระยะระหว่างแถว = 1 เมตร

ระยะระหว่างหลุม = 20 เซนติเมตร

ปลูก 5 แถว ๆ ละ 56 หลุม

เก็บเกี่ยว

พื้นที่ = 3 x 10 เมตร

เก็บ 3 แถว

แถวละ 50 หลุม

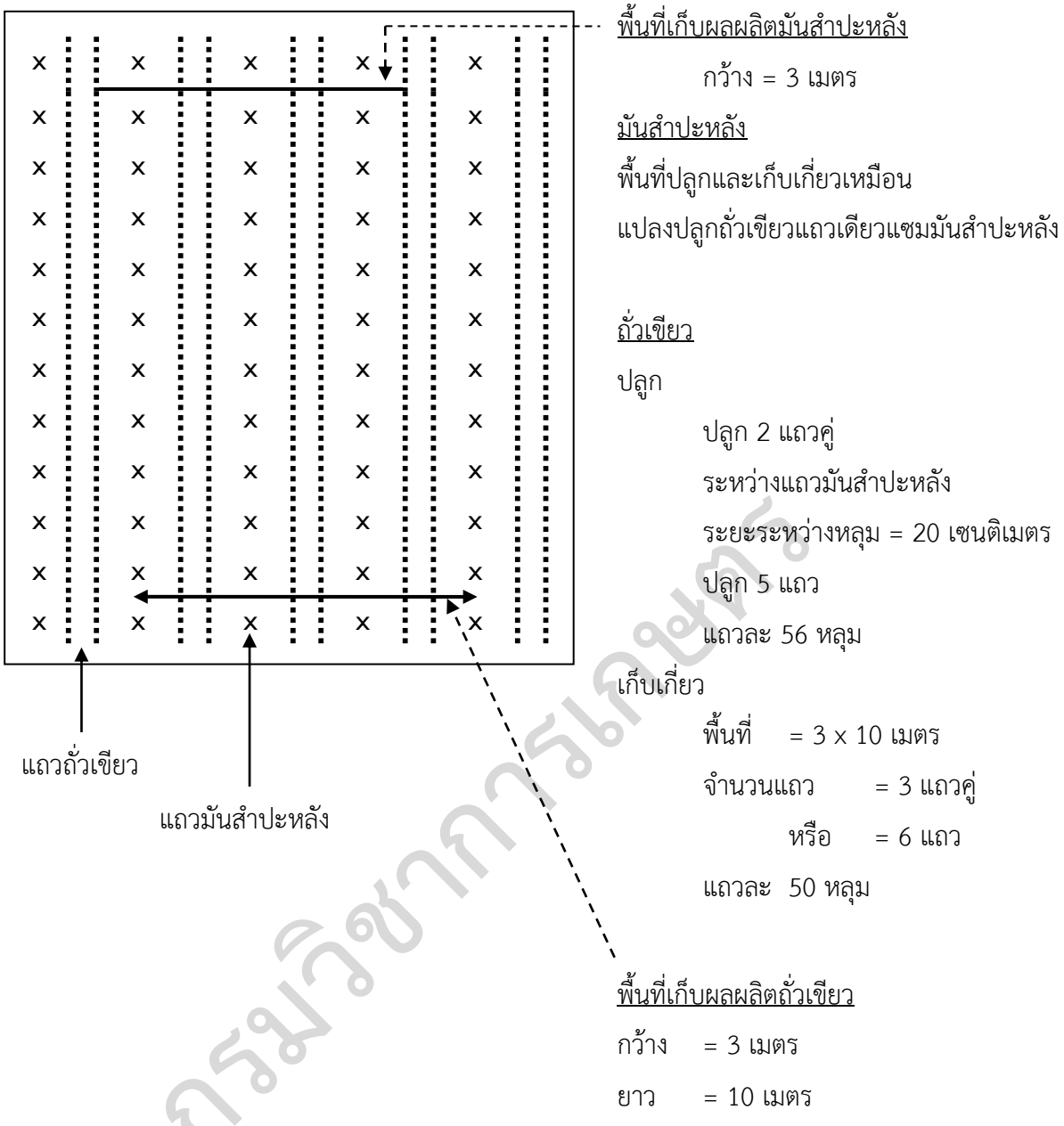
<u>พื้นที่เก็บผลผลิตถั่วเขียว</u>

กว้าง = 3 เมตร

ยาว = 10 เมตร

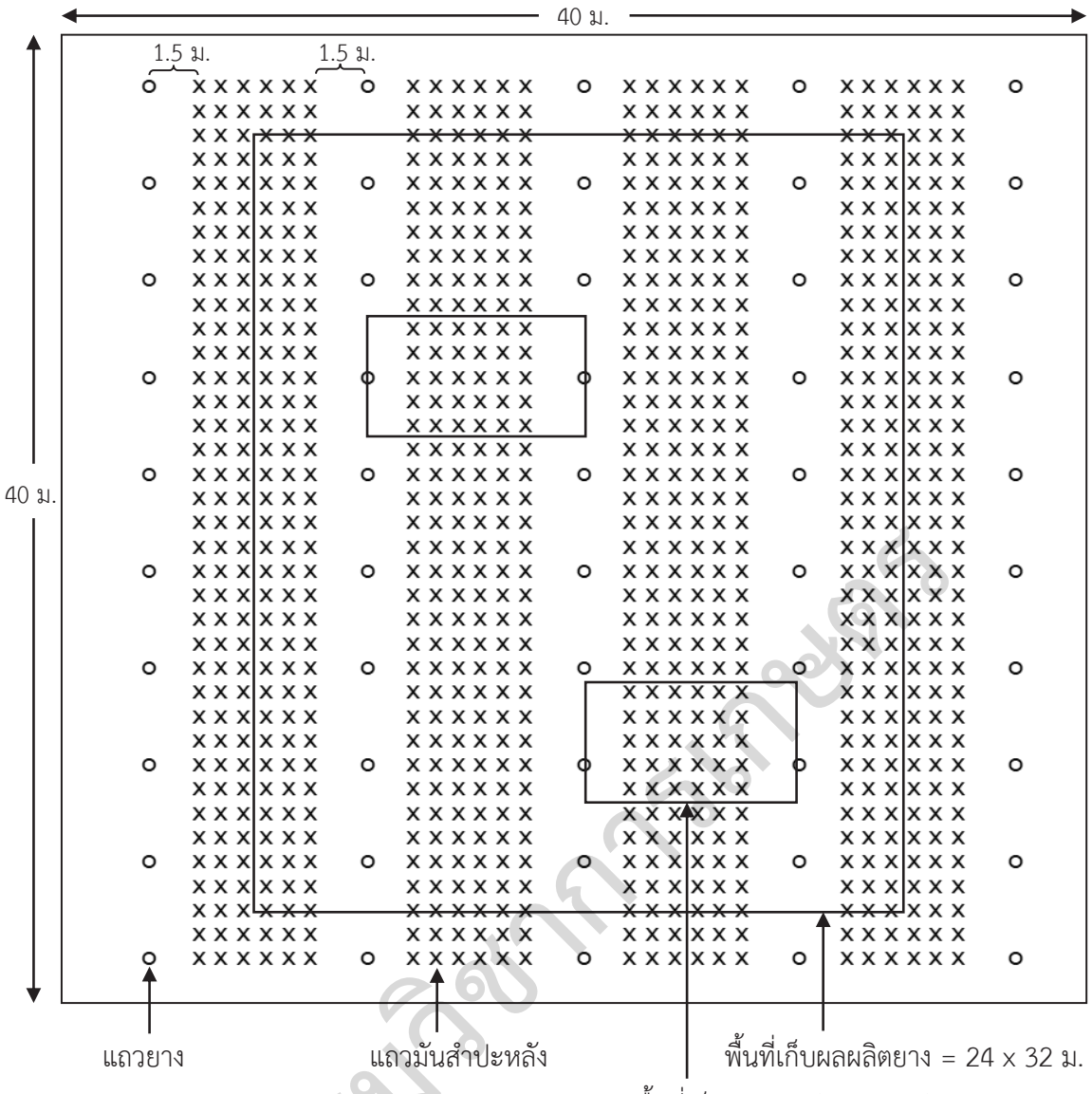
กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 17 การเก็บตัวอย่างเพื่อประเมินผลผลิต แปลงทดลองถั่วเขียวแถวเดียวแซมมันสำปะหลัง



ภาพที่ 18 การเก็บตัวอย่างเพื่อประเมินผลผลิต แปลงทดลองถั่วเขียว 2 แถว แซมมันสำปะหลัง

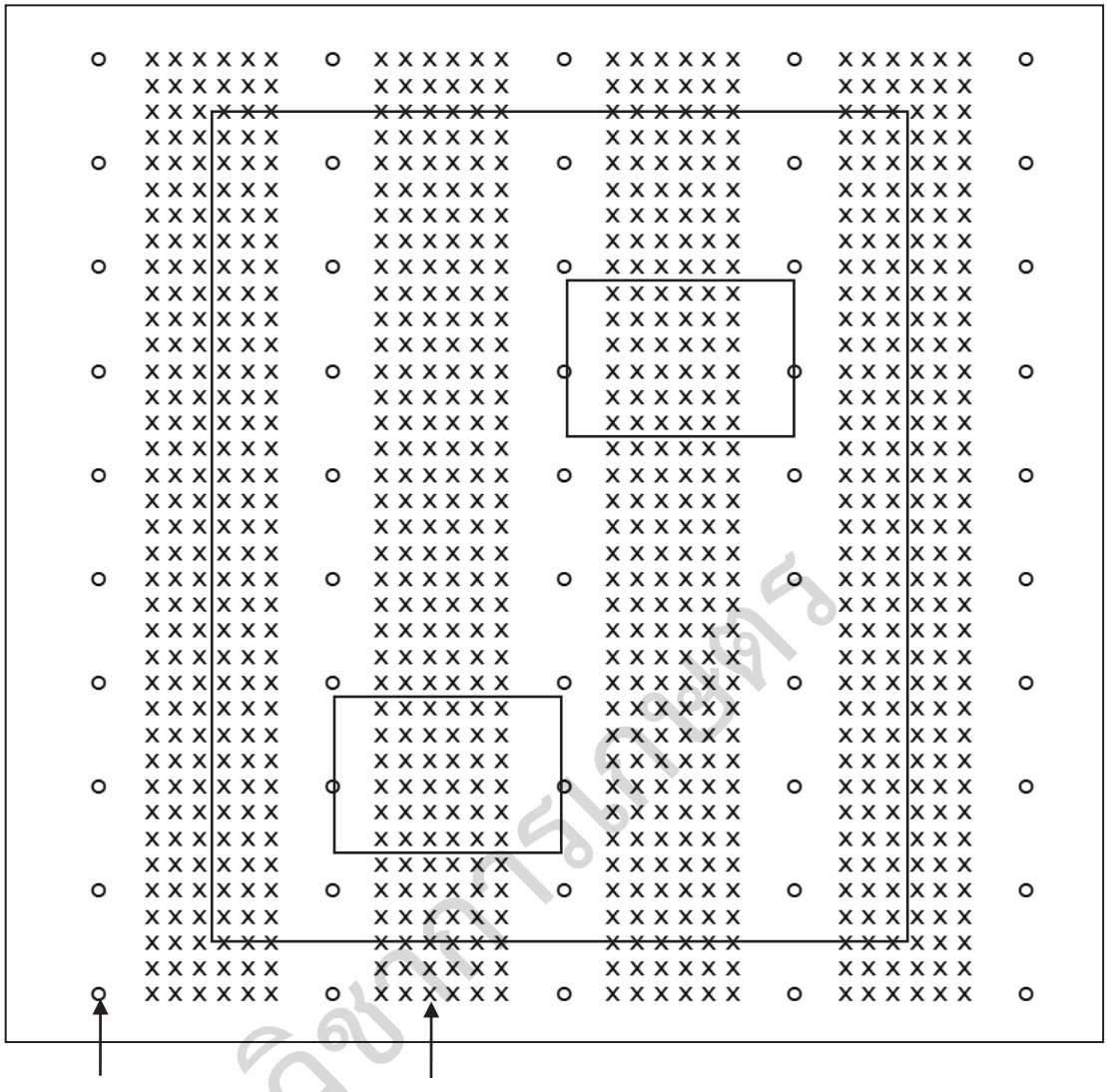
กรมวิชาการเกษตร



		ยาง	มันสำปะหลัง
ปลูก	ระยะ	ระหว่างแถว 8 เมตร	1 เมตร
		ระหว่างต้น 4 เมตร	1 เมตร
	พื้นที่	กว้าง x ยาว = 40 x 40 = 1,600 ตารางเมตร	888 เมตร
		5 แถว ๆ ละ 10 ต้น	6 แถว ๆ ละ 37 ต้น
เก็บเกี่ยว		3 แถวกลาง	6 แถว
		แถวละ 8 ต้น	แถวละ 5 ต้น
	พื้นที่	24 x 32 = 768 ตารางเมตร	8 x 5 = 40 ตารางเมตร

ภาพที่ 19 การเก็บตัวอย่างเพื่อประเมินผลผลิต แปลงทดลองมันสำปะหลังเป็นพืชแซมยาง (แปลงที่ 1)

กรมวิชาการเกษตร



		ยาง	มันสำปะหลัง
ปลูก	ระยะ	ระหว่างแถว 8 เมตร	1 เมตร
		ระหว่างต้น 4 เมตร	1 เมตร
	พื้นที่	กว้าง x ยาว = 40 x 40 = 1,600 ตารางเมตร	740 เมตร
		5 แถว ๆ ละ 10 ต้น	5 แถว ๆ ละ 37 ต้น
เก็บเกี่ยว		3 แถวกลาง	5 แถว
		แถวละ 8 ต้น	แถวละ 6 ต้น
	พื้นที่	24 x 32 = 768 ตารางเมตร	8 x 6 = 48 ตารางเมตร

ภาพที่ 20 การเก็บตัวอย่างเพื่อประเมินผลผลิต แปลงทดลองมันสำปะหลังเป็นพืชแซมยาง (แปลงที่ 2)

กรมวิชาการเกษตร

2.2 แปลงทดลองขนาดใหญ่ ส่วนใหญ่จะทำแปลงในไร่นาเกษตรกร และเพื่อให้เห็นทรีตเมนต์ชัดเจน อาจจะมีพื้นที่ปลูกแปลงละ 400 ตารางเมตร ถึง 1 ไร่ ฉะนั้น การเก็บตัวอย่างจะต้องเพิ่มจำนวนขึ้นให้มากกว่าแปลงทดลองทั่วไป อาจจะเป็น 2 – 3 ตัวอย่างต่อแปลง ส่วนขนาดและรูปร่างที่เก็บเกี่ยว ให้ใช้ตามความเหมาะสมของแต่ละพืช

แต่บางครั้งแปลงทดลองกึ่งสาธิต อาจมีพื้นที่ถึง 10 ไร่ หรือมากกว่า ซึ่งไม่สามารถที่จะสุ่มเก็บตัวอย่างในพื้นที่ทั้งหมดได้ จึงต้องทำการสุ่มพื้นที่ที่จะใช้เป็นพื้นที่ตัวอย่างก่อน แล้วจึงสุ่มเก็บตัวอย่างในพื้นที่นั้นอีกทีหนึ่ง เช่น ตัวอย่างการเก็บเกี่ยวข้าวในแปลงสาธิตผืนใหญ่ ซึ่งมีพื้นที่ปลูก 30 – 50 ไร่ ดังนี้

2.2.1 สุ่มเลือกพื้นที่นา กระทงนาตัวอย่าง (Sampling site of the field)

- ถ้าเป็นนาแปลงใหญ่ มีกระทงนาเดียว ก็ให้แบ่งแปลงเป็นส่วน ๆ ละประมาณ 10 ไร่ แล้วสุ่มว่าตัวอย่างจะตกอยู่ส่วนใดของแปลง
- ถ้าเป็นกระทงนาเล็ก ๆ ก็สุ่ม 2 – 3 กระทงนา ให้มีพื้นที่ที่จะทำการสุ่มรวมกันแล้วได้ขนาดประมาณ 10 ไร่
- ถ้าทั้งแปลงมีขนาดเล็กกว่า 10 ไร่ เช่น 5 – 6 ไร่ ให้สุ่มเก็บตัวอย่างจากพื้นที่เท่าที่มีอยู่

2.2.2 จำนวนตัวอย่างที่เก็บเกี่ยว (number of samples) จะเป็นปฏิภาคกับพื้นที่ คือ ถ้ามีพื้นที่มากขึ้นก็ให้เก็บตัวอย่างมากขึ้น เช่น ตัวอย่างแปลงทดลองข้าว ใช้ขนาดและจำนวนตัวอย่างดังนี้

ตารางที่ 2 ขนาดและจำนวนตัวอย่าง เพื่อประเมินผลผลิตข้าวในแปลงขนาดพื้นที่ปลูกต่าง ๆ

พื้นที่ปลูก (ไร่)	จำนวนตัวอย่าง		
	ข้าวนาดำ	ข้าวนาหว่าน	ข้าวขึ้นน้ำต้นสูง
1 – 5	4	8	8
6 – 10	6	12	12
11 – 15	8	16	16
พื้นที่ตัวอย่าง	**2 x 4**	**2 x 5**	**5 x 5**

หมายเหตุ สำหรับแปลงประกวดผลผลิตข้าวของชาวนาทั่วประเทศ ซึ่งจัดโดยกรมส่งเสริมการเกษตร พบว่าการเก็บข้อมูลผลผลิตข้าวนาดำในพื้นที่ 5 ไร่ ควรเก็บเกี่ยว 10 x 10 เมตร จำนวน 4 ตัวอย่าง

2.2.3 วิธีสุ่มตัวอย่าง (random location of sample) ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างเช่นเดียวกับ ข้อ 1.3.1 – 1.3.2

2.2.4 หลังจาก นวด ฝัด ชั่งน้ำหนักแล้ว วัดความชื้นแยกแต่ละตัวอย่าง (อย่านำตัวอย่างทุกตัวมารวมกันแล้วชั่งน้ำหนัก) การชั่งน้ำหนักแล้ววัดความชื้นให้ทำเสร็จในเวลาเดียวกัน ถ้าไม่มีเครื่องวัดความชื้น ให้ชั่งข้าวตัวอย่างละ 500 กรัม ใส่ถุงพลาสติกมัดปากถุงให้แน่นและไปวัดความชื้นที่สถานีทดลองข้าวที่อยู่ใกล้ที่สุด พยายามวัดความชื้นให้ได้ภายในวันเดียวกัน

ในการปฏิบัติงานเก็บผลผลิตของพืชอื่น ๆ ก็ใช้หลักการปฏิบัติเช่นเดียวกัน โดยใช้ขนาดของตัวอย่างที่เหมาะสมตามชนิดของแต่ละพืช (ดูในภาคเทคนิคการปฏิบัติงานทดลอง หน้า 196)

กรมวิชาการเกษตร

2.2.5 ก่อนลงมือเก็บตัวอย่างในไร่นา ควรทำแบบฟอร์มเพื่อบันทึกจุดที่สุ่มเก็บตัวอย่าง น้ำหนัก เปอร์เซ็นต์ความชื้น และข้อมูลเกี่ยวกับตัวอย่างแต่ละจุด ดังตัวอย่างของแบบฟอร์มการเก็บตัวอย่างข้าวนาดำ ในพื้นที่ 10 ไร่ ดังนี้

ตารางที่ 3 แบบฟอร์มบันทึกข้อมูล การเก็บตัวอย่างผลผลิตข้าว

สถานที่ตั้งแปลง.....

ชื่อเกษตรกร .....

พันธุ์ข้าว .....

วันปักดำ .....วันที่เก็บเกี่ยว.....

พื้นที่ปลูก .....ไร่ พื้นที่เก็บตัวอย่าง 2 x 4 เมตร

ตัวอย่าง	จุดที่เก็บตัวอย่าง	น้ำหนักข้าว (กรัม)	ความชื้น (%)	หมายเหตุ
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
สำรอง.....				
.....				

ความชื้นของผลผลิตที่เก็บตัวอย่างได้ในแต่ละแปลงย่อยจะไม่เท่ากัน เพื่อขจัดการได้เปรียบและเสียเปรียบระหว่างทรีตเมนต์ เพราะตัวอย่างที่มีความชื้นสูงย่อมมีน้ำหนักมากกว่าตัวอย่างที่มีความชื้นต่ำกว่า ทั้งที่มีขนาดและปริมาณเท่ากัน ฉะนั้นจึงควรปรับผลผลิตให้มีความชื้นอยู่ในระดับเดียวกัน คือ ที่ ความชื้นมาตรฐานที่นักวิชาการด้านเมล็ดพันธุ์ได้ศึกษาไว้ ดังนี้

พืช	ความชื้นมาตรฐาน (%)
ข้าวโพด	15
ข้าว	14
ข้าวสาลี	12
ข้าวฟ่าง, ถั่วลิสง	12
ถั่วอื่น ๆ	8

วิธีปรับผลผลิตที่ความชื้นมาตรฐาน

$$\text{ผลผลิตที่ความชื้นมาตรฐาน} = \frac{100 - \text{ความชื้นที่วัดได้}}{100 - \text{ความชื้นมาตรฐาน}} \times \text{น้ำหนักตัวอย่างที่ชั่งได้}$$

กรมวิชาการเกษตร

ตัวอย่าง พื้นที่เก็บเกี่ยวข้าวโพด 9 ตารางเมตร

ชั่งน้ำหนักได้ = 4.2 กิโลกรัม

วัดความชื้น = 22.8%

$$\therefore \text{ ผลผลิตที่ความชื้นมาตรฐาน (15\%)} = \frac{100 - 22.8}{100 - 15} \times 4.2 \text{ กิโลกรัม}$$

$$= 3.8146 \text{ กิโลกรัม}$$

ในการสรุปผลการทดลองที่ศึกษาในด้านผลผลิต นักวิชาการนิยมปรับข้อมูลตัวอย่างจากกรัมหรือกิโลกรัมต่อพื้นที่เก็บเกี่ยวให้เป็นกิโลกรัมต่อไร่ เพื่อที่จะได้เห็นภาพพจน์ดียิ่งขึ้นว่า ถ้าปลูกในพื้นที่ 1 ไร่ และใช้ทรีตเมนต์ที่แนะนำหรือสรุปได้ว่าเป็นทรีตเมนต์ที่ดี ควรจะได้ผลผลิตเท่าใด

คำนวณผลผลิตเป็นกิโลกรัมต่อไร่

พื้นที่เก็บเกี่ยว 9 ตารางเมตร ได้ผลผลิต = 3.8146 กิโลกรัม

$$\text{พื้นที่เก็บเกี่ยว 1,600 ตารางเมตร ได้ผลผลิต} = \frac{3.8146 \times 1,600}{9} \text{ กิโลกรัม}$$

$$= 678 \text{ กิโลกรัม}$$

หรือผลผลิตข้าวโพด แปลงนี้ที่ความชื้น 15% = 678 กิโลกรัม/ไร่

3. การเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาคุณภาพของเมล็ด การเก็บตัวอย่างเมล็ดเพื่อศึกษาคุณภาพ เช่น การวัด ขนาด กว้าง ยาว น้ำหนักเมล็ด เปอร์เซ็นต์โปรตีน เปอร์เซ็นต์น้ำมัน เป็นต้น จำนวนตัวอย่างที่ใช้จะมีจำนวนน้อยกว่าการศึกษาผลผลิต เพราะลักษณะเหล่านี้มีความแปรปรวนน้อยกว่า

วิธีการเก็บตัวอย่าง คือ ให้นำเมล็ดพืชทุกต้น หรือทุกกอ จากพื้นที่ที่เก็บตัวอย่างนั้นมานวดรวมกันแล้วจึงสุ่มตัวอย่าง ตามปริมาณที่ต้องใช้ในแต่ละลักษณะที่จะศึกษา ห้ามใช้ตัวอย่างจากข้าวรวงใดรวงหนึ่งหรือต้นใดต้นหนึ่งเท่านั้น

ในงานทดลองข้าว ใช้ขนาดตัวอย่าง ดังนี้

- วัดขนาดกว้าง ยาว หนา ตัวอย่างละ 15 เมล็ด จำนวน 1 ตัวอย่าง
- ศึกษาท้องไข่ ตัวอย่างละ 100 เมล็ด จำนวน 2 ตัวอย่าง
- ศึกษาคุณภาพการสี (milling quality) ตัวอย่างละ 125 กรัม จำนวน 2 ตัวอย่าง
- % โปรตีน ตัวอย่างละ 3 กรัม จำนวน 2 ตัวอย่าง
- Amylose content ตัวอย่างละ 3 กรัม จำนวน 2 ตัวอย่าง

จากการศึกษาขนาดของตัวอย่างที่เหมาะสมในการวัดเมล็ดข้าวชนิดไม่ไวแสง ของกลุ่มวิจัยและวิเคราะห์ทางสถิติงานวิจัยเกษตร พบว่า ให้ใช้ขนาดตัวอย่าง 15 เมล็ด (พ.ศ. 2516)

กรมวิชาการเกษตร

4. การเก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตของข้าว เป็นการวัดลักษณะต่าง ๆ ของข้าวเพื่อใช้ประกอบในการพิจารณาอย่างหนึ่ง ถึงสาเหตุว่าเหตุใดผลผลิตข้าวจึงมากหรือน้อยหรือเพื่อใช้ประเมินดูคร่าว ๆ ว่าผลผลิตของข้าวแปลงนั้นจะเป็นเช่นไร แต่ไม่สามารถจะใช้ข้อมูลนี้มาคำนวณผลผลิตเป็นกิโลกรัมต่อไร่ ได้ลักษณะที่ศึกษา คือ

1) ความสูง
2) จำนวนต้นต่อกอ
3) จำนวนรวงต่อกอ
4) จำนวนเมล็ดดีต่อรวง
5) เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ
6) น้ำหนัก 100 เมล็ด

การเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาองค์ประกอบผลผลิต มีวิธีการเก็บแตกต่างกันตามประเภทของการทำนาดังนี้

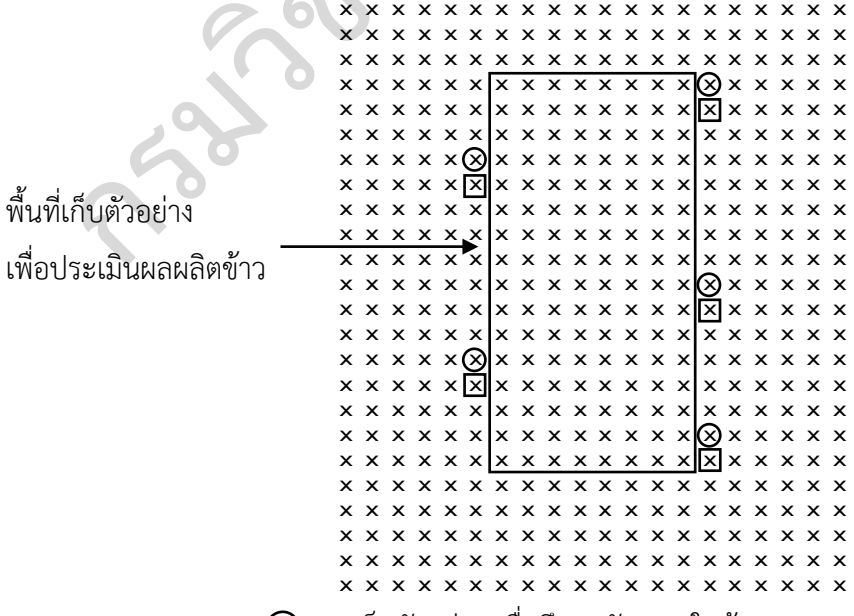
4.1 ข้าวนาดำ มีวิธีการปฏิบัติ ดังนี้

4.1.1 การสุ่มเลือกตัวอย่างแต่ละชุด สุ่มเลือกตัวอย่างจาก 5 จุด

(1) การวัดความสูง สุ่มเลือกวัดจุดละ 1 กอ (1 – hill sampling unit) รวมเป็น 5 กอ

(2) การศึกษาจำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดีต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ น้ำหนัก 100 เมล็ดสุ่มเลือกจากจุดละ 2 กอ ติดต่อกัน (2 – hill & sampling unit) รวมเป็น 10 กอ

(3) ดังภาพข้างล่างนี้ ระยะปักดำระหว่างแถว 25 เซนติเมตร ระหว่างกอ 25 เซนติเมตร



⊗ - เก็บตัวอย่าง เพื่อศึกษาลักษณะในข้อ (1) และ (2)

☒ - เก็บตัวอย่าง เพื่อศึกษาเฉพาะลักษณะในข้อ (2)

ภาพที่ 21 แสดงแผนผังการเก็บข้อมูลองค์ประกอบผลผลิตข้าว

กรมวิชาการเกษตร

ตัวอย่างที่เก็บต้องเว้นแถวริมอย่างน้อย 2 แถว และเป็นกอที่ไม่อยู่ติดกับกอหายหรือกอที่ถูกศัตรูข้าวทำลาย

4.1.2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

1) วัดความสูงทั้ง 5 กอ = H

2) นับจำนวนต้นรวมทั้ง 10 กอ (นับในระยะที่แตกกอสูงสุด) = T

3) นับจำนวนรวง รวมทั้ง 10 กอ = P

4) เกี่ยวรวงยอด (topmost panicle) ทั้ง 10 กอ (ซึ่งจะมีรวมทั้งสิ้น 10 รวง) นวดแล้วรวมเมล็ดเข้าด้วยกัน แยกเมล็ดดีและเมล็ดลีบด้วย เครื่องแยกเมล็ดหรือใช้น้ำเกลือ ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 1.06

- นับจำนวนเมล็ดดี = f
- นับจำนวนเมล็ดลีบ = u
- ชั่งน้ำหนักเมล็ดดี = w

5) เกี่ยวรวงข้าวที่เหลือ (จากกอที่เกี่ยวรวงยอดไปแล้ว) ทั้ง 10 กอ นวดแล้วรวมเมล็ดเข้าด้วยกัน

- นับจำนวนเมล็ดลีบ = U
- ชั่งน้ำหนักเมล็ดดี = W

<u>หมายเหตุ</u> ชั่งน้ำหนัก เมล็ดในข้อ (4) และ (5) (w และ W) ในเวลาเดียวกัน เพื่อให้ความชื้นของตัวอย่างใกล้เคียงกัน

4.1.3 วิธีการคำนวณ

1) ความสูง $= \frac{H}{5}$

2) จำนวนต้นต่อกอ $= \frac{T}{10}$

3) จำนวนรวงต่อกอ $= \frac{P}{10}$

4) จำนวนเมล็ดดีต่อรวง $= \frac{f}{w} \times \frac{W + w}{P}$

5) เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ $= \frac{U + u}{\frac{f(W + w)}{w} + (U + u)} \times 100$

6) น้ำหนัก 100 เมล็ด คำนวณได้ 2 วิธี คือ

- น้ำหนัก 100 เมล็ด $= \frac{w}{f} \times 100$
- รวมเมล็ดข้าวเต็มเมล็ดทุกรวงทั้ง 10 กอ เข้าด้วยกันแล้วสุ่มตัวอย่างละ 200 เมล็ด จำนวน 2 ตัวอย่าง

กรมวิชาการเกษตร

$$\text{น้ำหนัก 100 เมล็ด} = \frac{(\text{น้ำหนัก 200 เมล็ด}) + (\text{น้ำหนัก 20 เมล็ด})}{4}$$

4.2 ข้าวนาหว่าน

การเก็บตัวอย่าง (Sampling unit) ในข้าวนาหว่าน จะแตกต่างจากข้าวนาดำ คือ ข้าวนาดำจะเก็บโดยนับเป็นจำนวนกอ แต่ในข้าวนาหว่านต้องเก็บตัวอย่างโดยใช้วิธีเก็บเป็นพื้นที่ เนื่องจากจำนวนต้นข้าวในแปลงนาหว่านไม่สม่ำเสมอ ทำให้มีความแปรปรวนสูง ขนาดตัวอย่างที่จะเก็บจึงต้องมีขนาดใหญ่กว่าข้าวนาดำ

การสุ่มตัวอย่างเพื่อศึกษาองค์ประกอบผลผลิต ให้สุ่มตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 30 x 50 เซนติเมตร จำนวน 3 – 4 จุดต่อแปลง โดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับการสุ่มตัวอย่างเพื่อวัดผลผลิตแล้วนำมาคำนวณดังต่อไปนี้

1) วัดความสูงของแต่ละกอภายในพื้นที่เก็บเกี่ยว

$$\text{ความสูง} = \frac{\text{ผลรวมของความสูงทั้งหมด}}{\text{จำนวนกอที่วัดความสูง}}$$

2) จำนวนต้นต่อพื้นที่ 30 x 50 เซนติเมตร หรือ 0.15 ตารางเมตร นับจำนวนต้นทั้งหมดในระยะแตกกอสูงสุด

$$\text{จำนวนต้น/0.15 ม.}^2 = \frac{\text{จำนวนต้นทั้งหมด}}{\text{จำนวนจุดที่เก็บตัวอย่าง}}$$

3) $$\text{จำนวนรวง/0.15 ม.}^2 = \frac{\text{จำนวนรวงทั้งหมด}}{\text{จำนวนจุดที่เก็บเกี่ยวตัวอย่าง}}$$

4) คำนวณจำนวนเมล็ดดีและเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ โดยการเกี่ยวข้าวแต่ละจุดในพื้นที่ 30 x 50 เซนติเมตร ทำการนวด แยกเมล็ดดี และเมล็ดลีบ เช่นเดียวกับข้าวนาดำ แล้วนับจำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบ

$$\text{จำนวนเมล็ดดี/0.15 ม.}^2 = \frac{\text{จำนวนเมล็ดดีทั้งหมด}}{\text{จำนวนจุดที่เก็บตัวอย่าง}}$$

5) $$\text{เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบ} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดลีบ}}{\text{จำนวนเมล็ดลีบ + จำนวนเมล็ดดี}} \times 100$$

6) น้ำหนัก 100 เมล็ด คำนวณได้ 2 วิธี

- $$\text{น้ำหนัก 100 เมล็ด} = \frac{(\text{น้ำหนักข้าว 200 เมล็ด}) + (\text{น้ำหนักข้าว 200 เมล็ด})}{4}$$

- $$\text{น้ำหนัก 100 เมล็ด} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดดีทั้งหมด}}{\text{จำนวนเมล็ดดีทั้งหมด}} \times 100$$

กรมวิชาการเกษตร

5. การเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูลแปลงทดลองที่เสียหาย

ในการปฏิบัติงานทดลอง ต้องพยายามป้องกันไม่ให้แปลงทดลองถูกทำลายโดยศัตรูพืชต่าง ๆ ถ้าตัวอย่างที่เก็บนั้นถูกทำลายโดยศัตรูพืช และการถูกทำลายนั้นไม่ใช่สาเหตุจากทรีตเมนต์ที่ศึกษา ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้นั้นจึงไม่ใช่ผลที่เกิดจากทรีตเมนต์เพียงอย่างเดียว ยังเป็นผลมาจากการถูกศัตรูพืชทำลายด้วย ความเสียหายนี้ย่อมไม่สม่ำเสมอทั้งการทดลองหรือแม้แต่ทั้งบล็อค (block) ซึ่งจะทำให้การทดลองนั้นมีความแปรปรวนสูง ผลการทดลองที่สรุปได้อาจคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงได้ ฉะนั้นการเก็บตัวอย่างของแปลงทดลองที่ถูกศัตรูพืชทำลาย จึงต้องหลีกเลี่ยง ต้น กอ หรือหลุมที่ถูกทำลาย หรือถ้าจำเป็นต้องเก็บตัวอย่างบริเวณนั้นควรเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูลดังนี้

5.1 การเก็บตัวอย่าง ต้องพิจารณาว่า การเกิดความเสียหายนี้ เนื่องมาจากผลของทรีตเมนต์นั้นหรือสิ่งแวดล้อมอื่น ซึ่งจะต้องมีการเก็บตัวอย่างแตกต่างกันดังนี้

5.1.1 ต้นพืชถูกโรคแมลงทำลาย

5.1.1.1 งานทดลองคัดพันธุ์หรือเปรียบเทียบพันธุ์ การพิจารณาว่าต้นหรือกอที่ถูกแมลงทำลายเป็นต้น/กอ/หลุมหายหรือไม่ ให้พิจารณาจากจุดประสงค์ของการทดลองนี้

- ต้องการศึกษาลักษณะของพันธุ์ที่ทดสอบว่าสามารถต้านทานต่อโรคแมลงที่เกิดในสภาพธรรมชาตินั้น จุดมุ่งหมายเพื่อคัดพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง ถึงแม้จะมีการระบาดของโรคแมลงชนิดนั้น คือว่าการที่พืชถูกทำลายนี้มีความสัมพันธ์กับทรีตเมนต์ที่ศึกษา กรณีนี้ต้นพืชที่เสียหายเพราะถูกทำลาย จะไม่ถือว่าเป็นต้น/กอ/หลุม ที่หาย ถ้ามีผลผลิตที่เหลือจากการจากการถูกทำลายนี้ให้เก็บเกี่ยวด้วย

- ต้องการทราบความสามารถในการให้ผลผลิตของพืชที่ทดสอบโดยที่ไม่มีการทำลายของโรคแมลง (ถ้าปลูกโดยมีการป้องกันและกำจัดอย่างได้ผล) ให้เก็บผลผลิตจากต้นที่ไม่ถูกทำลาย ส่วนต้น/กอ/หลุมที่ถูกทำลาย ให้ถือว่าเป็น ต้น/กอ/หลุม ที่สูญหาย

5.1.1.2 งานทดลองเขตกรรม เช่น การทดลองปุ๋ย ระยะปลูก จำนวนต้นต่อหลุม ฯลฯ ได้พิจารณาว่า การทำลายของโรคแมลงนั้น เนื่องมาจากทรีตเมนต์หรือเปล่า ถ้าแปลงที่ใส่ปุ๋ยในอัตราสูงถูกโรคแมลงทำลายมากกว่าเพราะการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอาจทำให้ต้นเจริญเติบโตดี จึงเสียหายมากกว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยน้อยหรือไม่ใส่ หรือทรีตเมนต์ที่มีจำนวนต้นหนาแน่นจะถูกทำลายมากกว่า แสดงว่าต้น/กอ/หลุม ที่เสียหายนี้ เนื่องจากทรีตเมนต์ ฉะนั้นจึงไม่ถือว่าเป็น ต้น/กอ/หลุม ที่เสียหาย แต่ถ้าความเสียหายนี้ไม่มีความสัมพันธ์กับทรีตเมนต์ ให้ถือว่าเป็น ต้น/กอ/หลุม ที่เสียหาย

กรมวิชาการเกษตร

5.1.2 ต้นพืชที่ถูกศัตรูพืชอื่น ๆ ทำลาย เช่น นก หนู ถูกขโมย ฯลฯ การเก็บตัวอย่างจะแตกต่างกันตามชนิดของพืช ดังนี้

5.1.2.1 งานทดลองข้าว ถ้าเสียหายเป็นบางกอ การเก็บผลผลิตและบันทึกความเสียหายเป็นไปตามระยะการเจริญเติบโตของพืชดังนี้

- ถ้าถูกทำลายในระยะแรกของการปลูก เพียง 1 หรือ 2 กอ กอที่อยู่ใกล้เคียงอาจเจริญเติบโตมากกว่าต้นทั่วๆ ไป ผลผลิตที่ได้อาจจะสามารถทดแทนกอที่หายได้ อาจไม่ถือว่าเป็นกอหาย แต่ให้บันทึกด้วย เพื่อประกอบการพิจารณาในการวิเคราะห์ผล

- ถ้าเลยระยะการแตกกอไปแล้ว กอใดที่ถูกทำลายไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ให้เก็บเกี่ยวผลผลิตของกอนั้นได้ (โดยไม่ถือว่าเป็นกอหาย) แต่ถ้ากอใดเสียหายเกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ไม่ต้องเก็บผลผลิตกอนั้น ให้บันทึกว่าเป็นกอหาย พร้อมทั้งระบุสาเหตุ

5.1.2.2 งานทดลองพืชไร่ ให้พิจารณา ดังนี้

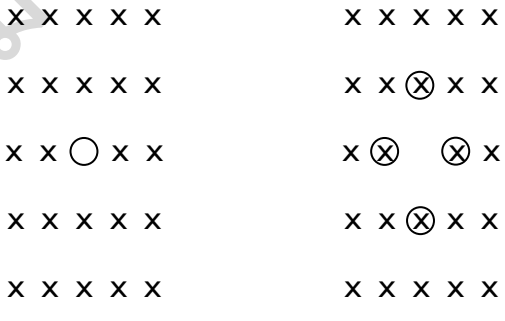
- ในระยะแรกของการปลูก ถ้าปลูกหลุมละ 3 ต้น แล้วเสียหาย 1 ต้น อีก 2 ต้นที่เหลืออาจเจริญได้ดีเป็นพิเศษ จนสามารถทดแทนต้นที่หายได้ จึงไม่ถือว่าเป็นหลุมที่หาย

แต่ถ้ามีต้นหาย 1 ต้น จากการปลูก 2 ต้น

หรือ 2 ต้น จากการปลูก 3 ต้น

ต้องถือว่าเป็นหลุมที่หาย ให้บันทึกจำนวนหลุมที่หายพร้อมทั้งสาเหตุ

แต่ตามความเป็นจริงแล้ว ต้นที่อยู่กับต้นหรือหลุมที่หาย จะไม่สามารถเจริญเติบโตมากกว่าต้นปกติจนทดแทนต้นที่หายได้ ฉะนั้นอีกวิธีการหนึ่ง คือ ไม่เก็บเกี่ยวผลผลิตต้นที่อยู่ล้อมกับต้นหรือหลุมที่หาย



○ ต้นหรือหลุมหาย ⊗ ต้นหรือหลุมหายที่อยู่ล้อมรอบต้นหรือหลุมหาย

ภาพที่ 22 การเก็บข้อมูลผลผลิต กรณีที่มีต้นหรือหลุมหาย

กรมวิชาการเกษตร

- ในระยะหลังของการเจริญเติบโตของพืช ให้เก็บผลผลิตต้นพืชที่เหลือพร้อมทั้งบันทึกจำนวนต้นหรือหลุมที่เก็บเกี่ยวได้

5.1.3 มีต้นพืชพันธุ์อื่นปะปน ไม่ต้องเก็บเกี่ยวต้นหรือกอนั้น และให้บันทึกเป็น กอ ต้น หรือหลุมที่หาย

5.1.4 ใส่ทรีตเมนต์ผิดจากที่กำหนดไว้ เช่น ใส่ปุ๋ยผิดชนิดหรือขนาด หรือใช้พันธุ์ผิดจากที่กำหนดไว้ ฯลฯ ถ้าเป็นเพียงบางซ้ำไม่ต้องเก็บเกี่ยวผลของแปลงย่อยนั้น ถือว่าเป็นข้อมูลสูญหาย แต่ถ้าใส่ทรีตเมนต์ผิดทุกซ้ำ อาจเก็บเกี่ยวมาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของทรีตเมนต์ได้ ถ้าสามารถเปลี่ยนจุดประสงค์ของงานวิจัยให้สอดคล้องกับทรีตเมนต์ที่ใส่ผิดนี้

5.2 การบันทึกข้อมูล มีความสำคัญมาก เพราะจะต้องใช้ประกอบการพิจารณาว่าจะใช้ปรับข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ทางสถิติได้อย่างไรบ้าง หรือควรจะใช้วิเคราะห์ข้อมูลผลผลิตร่วมกับจำนวนต้นหรือกอที่เก็บเกี่ยวได้ ที่เรียกว่า Covariance Analysis ซึ่งวิธีการเหล่านี้จะช่วยลดค่าความแปรปรวนของงานทดลองได้ ฉะนั้นผู้ปฏิบัติงานทดลองจึงควรบันทึกข้อมูลการเสียหายโดยละเอียดก็จะเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูล และใช้เป็นข้อมูลเสริมในการรายงานผลการทดลองด้วย ข้อมูลที่ควรบันทึกมีดังนี้

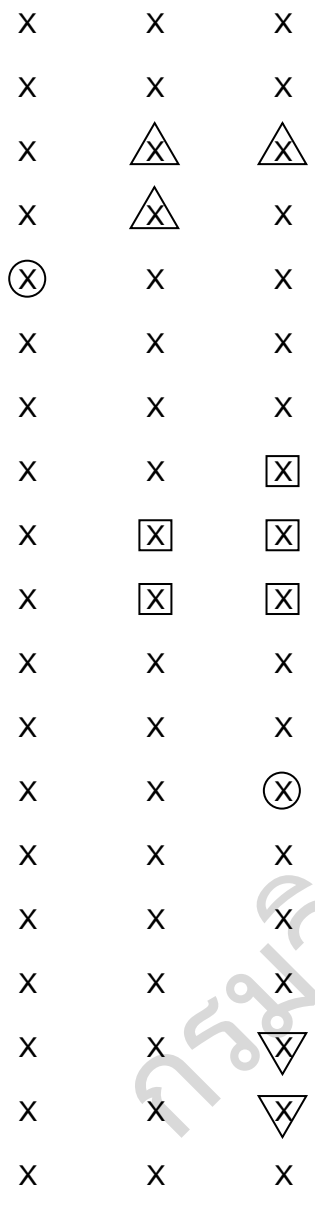
5.2.1 จำนวนต้น กอ หลุม ที่เสียหายเก็บผลไม่ได้

5.2.2 สาเหตุของการเสียหาย เช่น ระบุชนิดของโรค แมลง สัตว์ ศัตรูพืช พืชไม่งอก ฝนแล้ง น้ำท่วม ฯลฯ

5.2.3 เกิดการเสียหายในระยะใดของการเจริญเติบโตของพืช เช่น หลัง ปลูก....วัน ระยะแตกกอ ก่อนการเก็บเกี่ยว เป็นต้น

กรมวิชาการเกษตร

ถ้าเป็นแปลงทดลองขนาดเล็ก ให้ทำแผนผัง ต้น หลุม หรือกอที่เสียหายประกอบไปด้วย ดังตัวอย่างแผนผังกอหายของข้าวดังนี้ (ภาพที่ 23)



ภาพที่ 23 แสดงแผนผังกอหาย กอเสียหาย พร้อมทั้งสาเหตุ

กรมวิชาการเกษตร

6. การบันทึกข้อมูลงานทดลอง

เป็นการบันทึกการเจริญเติบโตของพืชตั้งแต่เริ่มปลูก จนถึงการเก็บเกี่ยว เพื่อใช้เป็นข้อมูลเสริมในการอธิบายผลของแต่ละทรีตเมนต์ ดังนี้

6.1 วันที่เมล็ดงอก ให้ถือวันที่จำนวนต้นอ่อนงอกเหนือพื้นดิน 75 เปอร์เซ็นต์

6.2 เปอร์เซ็นต์ต้นที่อยู่รอด ให้ประมาณหลังจากที่พืชงอกแล้ว 2 – 3 อาทิตย์ ส่วนที่ว่างในแต่ละแปลง ซึ่งอาจจะเกิดจากเมล็ดไม่งอก หรือเพราะเหตุใดให้บันทึกสาเหตุของแต่ละจุดด้วย

6.3 การแตกกอ เฉลี่ยการแตกกอแต่ละต้น หรือกอ

6.4 วันออกดอกหรือฝัก บันทึกวันแรกที่ 2 ใน 3 ของต้นพืช ออกดอกหรือฝัก แต่พืชบางชนิด เช่น ข้าว ใช้วันแรกที่ข้าวออกรวง 75 เปอร์เซ็นต์

6.5 ความสูง ในแต่ละระยะของการเจริญเติบโต และในวันเก็บเกี่ยว งานทดลองปุ๋ยจะวัดความสูงก่อนการใส่ปุ๋ยด้วย

6.6 วันเก็บเกี่ยว

6.7 เส้นรอบวง ในงานทดลองไม้ผลจะวัดเส้นรอบวงของลำต้น ในระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโต

6.8 ผลไม้

- ขนาดผล ใช้ตัวอย่าง 50 – 100 ผล คำนวณค่าเฉลี่ย
- สีของผล
- ระดับการสุก ใช้สี กลิ่น ปริมาณน้ำตาล เป็นเครื่องตัดสิน

6.9 งานทดสอบฝ้าย

- น้ำหนักสมอฝ้าย ใช้ตัวอย่าง 25 – 50 สมอ 4 – 5 ตัวอย่าง เฉลี่ยหาน้ำหนักสมอฝ้ายกรัมต่อสมอ หรือจำนวนสมอฝ้ายต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัม
- เปอร์เซ็นต์เส้นใย (Lint) ใช้ตัวอย่างจากที่หาน้ำหนักสมอฝ้าย หาเปอร์เซ็นต์เส้นใย

6.10 งานทดสอบการใช้สารเคมีป้องกัน กำจัดศัตรูพืช และงานทดสอบปุ๋ย

- งานโรค แมลง ควรมีบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับความรุนแรงของโรค ปริมาณแมลง
- งานวัชพืช ให้บันทึกชนิดและปริมาณของวัชพืช
- งานทดสอบปุ๋ย ควรมีการวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน

นอกจากนี้ ควรบันทึกด้วยว่า แต่ละแปลงย่อยนั้น สารเคมีหรือปุ๋ย แสดงผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างไรบ้าง

กรมวิชาการเกษตร

7. การบันทึกข้อมูลข้างเคียง

นอกจากการบันทึกข้อมูลรายละเอียดของทรีตเมนต์โดยตรงแล้ว ควรมีข้อมูลเกี่ยวกับแปลงทดลองและสภาพดินฟ้าอากาศด้วย ถึงแม้ว่าข้อมูลเหล่านี้ จะไม่ได้นำมาใช้เปรียบเทียบทรีตเมนต์โดยตรง แต่สิ่งเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อผลผลิตและ การเจริญเติบโตของทรีตเมนต์ได้ จึงต้องบันทึกไว้เพื่อใช้ประโยชน์ในวิเคราะห์ข้อมูลและรายงานผลการทดลอง ดังนี้

7.1 ปริมาณน้ำฝน การเกิดสภาพน้ำท่วมหรือฝนแล้ง ในระหว่างการทดลอง

7.2 อุณหภูมิ ถ้าอากาศร้อนหรือหนาว มีผลกระทบต่อทรีตเมนต์ที่ศึกษา

7.3 สภาพพื้นที่แปลงทดลองไม่สม่ำเสมอ เช่น

- ความลาดเอียงของพื้นที่ เป็นไปในทิศทางใด เพราะแปลงที่เป็นที่ลุ่มหรือที่ดอนจะมีผลต่อพืชในแต่ละแปลงแตกต่างกัน
- ชนิดและความอุดมสมบูรณ์ของดิน
- ที่ดินมีปัญหา เช่น มีดินเค็ม ดินจอมปลวก ฯลฯ

เกี่ยวกับสภาพพื้นที่แปลงทดลองนี้ ควรทำแผนผังประกอบด้วย เพื่อจะได้ชัดเจน

กรมวิชาการเกษตร

การวิเคราะห์รวม
(Combined Analysis of Variance)

การวิเคราะห์รวม คือ การนำผลการทดลองที่ต่อเนื่องกันมาวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมกัน เพื่อศึกษาอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมต่อทรีตเมนต์ที่ศึกษา งานทดลองที่ต่อเนื่องกัน คือ การทดลองซ้ำตั้งแต่ 2 การทดลองขึ้นไป เช่น ทดลองหลายฤดูกาล หลายปี หลายสถานที่ หรือซ้ำทั้งปี และสถานที่

ลักษณะของพืชที่แสดงออกหรือสามารถวัดได้ เช่น ผลผลิต ความสูง ฯลฯ เป็นผลเนื่องมาจากพันธุกรรมของพืชและสิ่งแวดล้อมที่พืชนั้นปลูก รวมทั้งปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม (genotype x environment interaction) สิ่งแวดล้อมบางอย่าง เช่น ความชื้น อุณหภูมิ แสงแดด ชนิดของดิน ฯลฯ ซึ่งนักวิจัยไม่สามารถจะควบคุมให้สม่ำเสมอได้ ดังนั้นผลผลิตและคุณภาพของพืชจึงอาจแตกต่างกันในแต่ละครั้งที่ปลูก ผลการทดลองจากการปลูกครั้งเดียวจึงไม่สามารถใช้คาดคะเนผลที่จะเกิดขึ้นในฤดูกาล ปี สถานที่ต่าง ๆ ได้ ฉะนั้นการศึกษาผลของ ทรีตเมนต์อย่างถูกต้อง จึงจำเป็นต้องทำการทดลองซ้ำหลายครั้ง แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ร่วมกัน เพื่อศึกษาปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม เพื่อหาพันธุ์พืชหรือวิธีการที่เหมาะสมในแต่ละสิ่งแวดล้อมต่อไป

ก่อนที่จะนำข้อมูลมาวิเคราะห์รวม ต้องพิจารณาดังนี้

1. แบบแผนการทดลอง (Experimental Design) ของแต่ละการทดลอง จะต้องใช้แบบแผนการทดลองหรือจัดการทดลองแบบเดียวกัน จะเป็น CRD, RCB, Latin Square, Factorial Experiment, Split Plot Design, Strip Plot Design ก็ได้

2. ทรีตเมนต์ ขนาดแปลงย่อย (plot) ตลอดจนการปลูกและดูแลรักษา จะต้องเหมือนกันทุกการทดลอง แปลงทดลองปุ๋ยหรือสารเคมีที่มีผลตกค้างถึงการทดลองในฤดูกาล หรือปีต่อไปจะไม่สามารถวิเคราะห์รวมฤดูกาลหรือปีได้ เพราะทรีตเมนต์ในแต่ละครั้งที่ปลูกจะไม่เหมือนกัน

3. การสุ่มทรีตเมนต์ในแผนผังแปลงปลูก (Lay out) ต้องสุ่มใหม่ทุกการทดลอง

4. ค่าความแปรปรวน (Error Mean Square) ของแต่ละการทดลอง จะต่างกันหรือไม่ต่างกันก็ได้ แต่การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างทรีตเมนต์และสิ่งแวดล้อม จะใช้วิธีการทดสอบที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ดีค่าความแปรปรวนของการทดลองเหล่านี้ไม่ควรจะสูงมากนัก

การวิเคราะห์รวม ที่จะยกตัวอย่างต่อไปนี้ เป็นข้อมูลจากงานทดลองหลายซ้ำ

1. ฤดูกาล (Seasons)
2. ปี (Years)
3. สถานที่ (Locations or Sites)
4. การทดลอง (Experiments)

กรมวิชาการเกษตร

1. การวิเคราะห์รวมหลายฤดูกาล

เป็นการปรับปรุงผลผลิตและคุณภาพของพืช โดยการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ จำนวนมาก มาทดลองหลายฤดูกาลในปีเดียวกัน แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ร่วมกัน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ร่วมระหว่างฤดูกาลและทรีตเมนต์ ซึ่งจะสามารถสรุปได้ว่า ในสถานที่นั้น มีเทคโนโลยีใดที่เหมาะสมในแต่ละฤดูกาล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลหลายฤดูกาลนี้ ถือว่าฤดูกาลเป็นตัวแปรคงที่ (fixed variable) คือ จะสามารถแนะนำได้ว่า การปลูกพืชในแต่ละฤดูกาล ควรจะใช้เทคโนโลยีใด

ตัวอย่าง งานทดลองที่สถานีทดลองข้าวคลองหลวง ข้าวพันธุ์ กข 25 ทดลองปุ๋ยไนโตรเจน 5 อัตรา วางแผนงานทดลองในรูป RCB ทดลอง 4 ซ้ำ ในฤดูแล้งและฤดูฝน

ตารางที่ 1.1 ผลผลิตข้าวพันธุ์ กข 25

ปุ๋ย (กก./ไร่)	ผลผลิต (กก./ไร่)				รวม	เฉลี่ย
$N - P_2O_5 - K_2O$	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4		
			ฤดูแล้ง			
0 – 6 – 6	442	405	343	418	1,608	402
3 – 6 – 6	499	502	355	437	1,811	453
6 – 6 – 6	644	608	411	490	2,153	538
9 – 6 – 6	697	684	431	492	2,304	576
12 – 6 – 6	589	690	620	515	2,414	604
รวม					**10,290**	**514**
			ฤดูฝน			
0 – 6 – 6	450	478	477	521	1,926	482
3 – 6 – 6	506	553	498	684	2,241	560
6 – 6 – 6	450	520	561	574	2,105	526
9 – 6 – 6	498	550	501	550	2,099	525
12 – 6 – 6	346	612	547	526	2,031	508
รวม					**10,402**	**520**

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 1.2 ตารางวิเคราะห์ผลผลิตข้าว เมื่อใส่ปุ๋ย 5 อัตรา วางแผนการทดลอง RCB 4 ซ้ำ, ฤดูแล้งและฤดูฝน

SOV	DF	SS	MS	F
		ฤดูแล้ง		
Replication	3	83,953.8	27,984.600	
Nitrogen	4	114,946.5	28,736.6250	8.09**
Error	12	42,608.7	3,550.7250	
		ฤดูฝน		
Replication	3	40,109.8	13,369.9333	
Nitrogen	4	13,255.8	3,313.9500	1.12^{ns}
Error	12	35,460.2	2,955.0167	

ขั้นตอนการวิเคราะห์รวม

1.1 ทดสอบความแปรปรวนของแต่ละการทดลองว่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยวิธี

- F test
- Chi – Square test
- ความแปรปรวนต่างกันไม่เกิน 3 เท่า ก็อาจพิจารณาว่าไม่ต่างกัน

ตัวอย่างนี้มี 2 การทดลอง จึงทดสอบความแตกต่าง โดย F test ดังนี้

$$F = \frac{\text{Larger error MS}}{\text{Smaller error MS}}$$

$$= \frac{3,550.7250}{2,955.0167} = 1.20$$

ค่า F จากการคำนวณน้อยกว่าค่า F จากตารางที่ df 12, 12 ซึ่งเท่ากับ 2.69 แสดงว่าการทดลองปุ๋ยข้าวในฤดูแล้งและฤดูฝน มีความแปรปรวนไม่ต่างกัน

1.2 แบบตารางวิเคราะห์รวม ในกรณีที่ความแปรปรวนของแต่ละการทดลองไม่ต่างกัน

ตารางที่ 1.3 การวิเคราะห์รวม s ฤดูกาล[1/] ที่วางแผนแบบ RCB ที่มี t ทรีตเมนต์ และ r ซ้ำ

SOV	DF	MS	F
Season (S)	s – 1	S MS	S MS/R MS
Reps Within season	s(r – 1)	R MS	
Treatment (T)	t – 1	T MS	T MS/E MS
S x T	(s – 1)(t – 1)	S x T MS	S x T MS/E MS
Pooled error	s(r – 1)(t – 1)	E MS	
Total	srt – 1		

[1/] ฤดูกาล ถือว่าเป็นตัวแปรคงที่ (fixed variable)

ภาควิชาการเกษตร

1.3 คำนวณค่า SS

$$\text{Reps Within Season SS} = \sum_{i=1}^{s} \text{Rep SS}$$

$$= 83,953.8 + 40,109.8$$

$$= 124,063.6$$

$$\text{Pooled error SS} = \sum_{i=1}^{s} \text{Error SS}$$

$$= 42,608.7 + 35,460.2$$

$$= 78,068.9$$

$$\text{Season SS} = \frac{\sum_{i=1}^{s} G_i^2}{rt} - CF$$

$$CF = \frac{\left(\sum_{i=1}^{s} G_i\right)^2}{srt}$$

$$\text{Season SS} = \frac{(10,290)^2 + (10,402)^2}{4 \times 5} - \frac{(10,290 + 10,420)^2}{2 \times 4 \times 5}$$

$$= 313.6000$$

$$\text{Treatment SS} = \frac{\sum_{j=1}^{t} T_j^2}{sr} - CF$$

$$= \frac{(3,534)^2 + (4,052)^2 + (4,258)^2 + (4,403)^2 + (4,445)^2}{2 \times 4} - 10,703,971.6$$

$$= 68,885.6500$$

$$\text{S x T SS} = \frac{\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{t} (ST)_{ij}^2}{r} - CF - \text{S SS} - \text{T SS}$$

$$= \frac{(1,608)^2 + (1,811)^2 + \ldots + (2,031)^2}{4} - 10,703,971.6 - 313.60 - 68,885.65$$

$$= 59,316.65$$

1.4 คำนวณค่า MS แต่ละแหล่งของความแปรปรวนโดยการใช้ค่า df หารค่า SS

1.5 คำนวณค่า F โดยใช้วิธีที่แสดงไว้ในตารางที่ 1.3 ผลการคำนวณ แสดงไว้ในตารางที่ 1.4

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 1.4 วิเคราะห์รวม 2 ฤดูกาล ของงานทดลองปุ๋ยไนโตรเจน 5 อัตรา

SOV	DF	SS	MS	F
Season (S)	1	313.60	313.6000	<1
Reps Within Season	6	124,063.00	20,677.2661	
Nitrogen (N)	4	68,885.65	17,221.4125	5.29**
S x N	4	59,316.65	14,829.1625	4.56**
Pooled error	24	78,068.90	3,252.8708	

จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิเคราะห์ผลผลิตข้าวรวม 2 ฤดูกาล พบว่า ค่า F จากการคำนวณของ Season น้อยกว่า 1 แสดงว่า ข้าวพันธุ์ กข 25 ปลูกที่สถานีทดลองข้าวคลองหลวงในฤดูแล้งและฤดูฝนได้ผลผลิตเฉลี่ยไม่ต่างกัน

N มีค่า F** แสดงว่าผลผลิตข้าวจะแตกต่างกันเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราต่าง ๆ กัน

S x N interaction มีค่า F** แสดงว่า ผลตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนของข้าวที่ปลูกในฤดูแล้งและฤดูฝน ไม่เหมือนกัน

1.6 ทำตารางค่าเฉลี่ยผลผลิตของข้าวทั้ง 2 ฤดูกาล ที่อัตราปุ๋ยต่าง ๆ ในตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 ตารางผลผลิต (กก./ไร่) เฉลี่ยจาก 4 ซ้ำ

ทรีตเมนต์ $N - P_2O_5 - K_2O$	**ฤดูแล้ง**	**ฤดูฝน**	**แล้ง – ฝน**
0 – 6 – 6	402	482	–80
3 – 6 – 6	453	560	–107
6 – 6 – 6	538	526	12
9 – 6 – 6	576	525	51
12 – 6 – 6	604	508	96

จากตารางผลผลิตจะเห็นได้ว่า การใส่ปุ๋ยอัตรา 0 – 6 – 6 และ 3 – 6 – 6 ผลผลิตของข้าวที่ปลูกในฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง แต่เมื่อเพิ่มอัตราธาตุไนโตรเจนเป็น 6, 9 และ 12 กิโลกรัมต่อไร่ (ในขณะที่ธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมคงที่) กลับทำให้ข้าวที่ปลูกในฤดูแล้งได้ผลผลิตสูงกว่าข้าวที่ปลูกในฤดูฝน เพื่อให้เห็นการตอบสนองต่อปุ๋ยชัดเจนขึ้น จึงแยกค่า SS ของ N โดยใช้ Trend Comparison ดูวิธีการคำนวณ (หน้า 73)

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 1.6 ตารางวิเคราะห์รวม โดยแยกส่วนของไนโตรเจน จากตาราง 1.4 โดยใช้ Trend Comparison

SOV	DF	SS	MS	F
Season (S)	1	313.6000	313.6000	<1
Reps Within Season	6	124,063.6000	20,677.2667	
Nitrogen (N)	4	68,885.6500	17,221.4125	5.29**
N_L	(1)	59,024.1125	59,024.1125	18.15**
N_Q	(1)	9,162.2232	9,162.2232	2.82^{ns}
N_{Res}	(2)	699.3142	349.6571	<1
S x N	4	59,316.6500	14,829.1625	4.56**
S x N_L	(1)	51,867.1125	51,867.1125	15.95**
S x N_Q	(1)	598.9375	598.9375	<1
S x N_{Res}	(2)	6,850.6000	3,425.3000	1.05^{ns}
Pooled error	24	78,068.9000	3,252.8708	

จากตาราง 1.6 N_L มีค่า F** แสดงว่า การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน เป็นรูปเส้นตรง S x N_L มีค่า F** แสดงว่าผลตอบสนองในฤดูแล้งและฤดูฝนแตกต่างกันในช่วงที่เป็นเส้นตรง

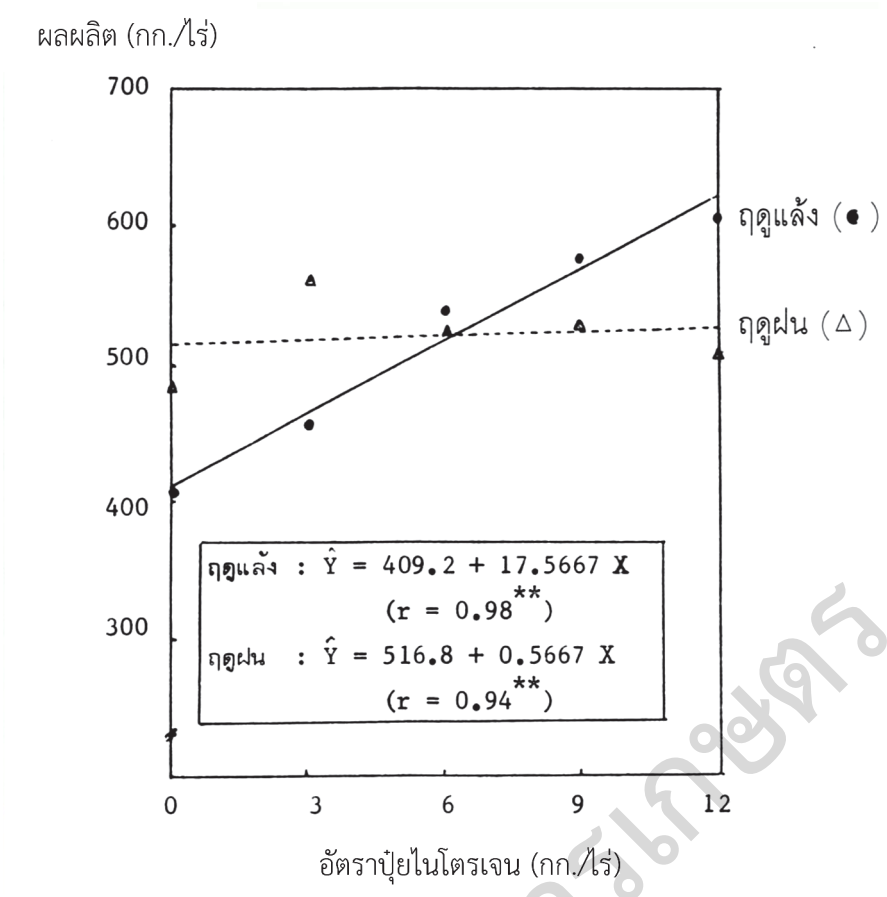
1.7 คำนวณสมการ ผลตอบสนองต่อปุ๋ยในแต่ละฤดูกาล ได้ดังนี้

ฤดูแล้ง $\hat{Y} = 409.2000 + 17.5667X \quad (r = 0.98^{**})$

ฤดูฝน $\hat{Y} = 516.8000 + 0.5667X \quad (r = 0.94^{**})$

จากสมการเส้นตรง ค่า r* แสดงว่า ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าวและอัตราปุ๋ยไนโตรเจน เป็นไปในรูปเส้นตรง ดังภาพที่ 1

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 1 กราฟเส้นตรงแสดงการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนของข้าวพันธุ์ กข 25 ที่ปลูกในฤดูแล้งและฤดูฝน ที่สถานีทดลองข้าวคลองหลวง

จากภาพแสดงว่า ในฤดูแล้งผลผลิตจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยไนโตรเจน แต่ในฤดูฝนอัตราการเพิ่มผลผลิตจะน้อยมาก แสดงว่าการปลูกข้าว กข 25 ที่สถานีทดลองข้าวคลองหลวง ในฤดูแล้งและฤดูฝน ควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่แตกต่างกัน

1.8 ในกรณีที่การทดสอบความแปรปรวนของแต่ละการทดลองตามข้อ 1.1 ถ้าพบว่าการทดลองทั้ง 2 ฤดูกาล มีค่าความแปรปรวนแตกต่างกัน การคำนวณค่า F ของแต่ละส่วนของ S x T interaction ที่แยกค่า SS ไว้ในตารางที่ 1.6 จะไม่ใช้ค่า Pooled error MS ไปหาร แต่จะต้องแยกส่วนของ Pooled error เช่นเดียวกับ S x T interaction เพื่อใช้ค่า error MS ของแต่ละส่วนไปหารค่า MS ของแต่ละส่วนของ S x T interaction

ในที่นี้จะใช้ตารางที่ 1.1 เป็นตัวอย่างโดยสมมติว่า การทดลอง 2 ฤดูกาลนี้มีค่าความแปรปรวนต่างกัน

ขั้นแรก คำนวณค่า N_L SS และ N_O SS แต่ละซ้ำและแต่ละฤดูกาล ดังตารางที่ 1.7

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 1.7 คำนวณค่า N_L SS และ N_Q SS ของ 2 ฤดูกาล

ซ้ำ	ทรีตเมนต์					Sum of Squares	
	N_0	N_1	N_2	N_3	N_4	Linear	Quadratic
				ฤดูแล้ง			
1	442	499	644	697	589	24,206.4000	12,720.2857
2	405	520	608	684	690	53,875.6000	3,778.5714
3	343	355	411	431	620	39,690.0000	7,223.1429
4	418	437	490	492	515	6,200.1000	132.0714
รวม	1,608	1,811	2,153	2,304	2,414	110,775.6250	2,538.0179
				ฤดูฝน			
1	450	506	450	498	346	4,665.6000	6,953.1429
2	478	553	520	550	612	7,022.5000	97.7857
3	477	498	561	501	547	2,044.9000	380.6429
4	521	684	574	550	526	1,537.6000	5,924.5714
รวม	1,926	2,241	2,105	2,099	2,031	115.6000	7,223.1429

คำนวณ แยกส่วนของ pooled error ดังนี้

(Reps Within S) x N_L $= \sum_{i=1}^{s}\left(\sum_{k=1}^{r}(N_L SS)_{ki} - (N_L SS)_i\right)$

$=$ [(24,206.4000 + 53,875.6000 + 39,690.0000 + 6,200.1000) – 110,775.6250] + [(4,665.6000 + 7,022.5000 + 2,044.9000 + 1,537.6000) – 115.6000]

$=$ 28,351.4750

(Reps Within S) x N_Q $= \sum_{i=1}^{s}\left(\sum_{k=1}^{r}(N_Q SS)_{ki} - (N_Q SS)_i\right)$

$=$ [(12,720.2857 + 3,778.5714 + 7,223.1429 + 132.0714) – 2,538.0179] + [(6,953.1429 + 97.7857 + 380.6429 + 5,924.5714] – 7,223.1429

$=$ 27,449.0535

(Reps Within S) x N_{Res} $=$ Pooled error SS – (Reps within S) x N_LSS – (Reps within S) x N_Q SS

$=$ 78,068.900 – 28,351.4750 – 27,449.0535

$=$ 22,268.3715

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 1.8 แสดงการวิเคราะห์ที่แยกค่า SS ของ S x N interaction และ Pooled error

SOV	DF	SS	MS	F
S x N_L	1	51,867.1125	51,867.1125	10.98*
S x N_Q	1	598.9375	598.9375	<1
S x N_{Res}	2	6,850.6000	3,425.3000	1.85^{ns}
Pooled error	(24)	(78,068.9000)	(3,252.8708)	
(Reps within S) x N_L	6	28,351.4750	4,725.2458	
(Reps within S) x N_Q	6	27,449.0535	4,574.8422	
(Reps within S) x N_{Res}	12	22,268.3715	1,855.6976	

คำนวณค่า F ดังนี้

$$F\ (S \times N_L) = \frac{(S \times N_L)MS}{((\text{Reps within S}) \times N_L)MS} = \frac{51,867.1125}{4,725.2458} = 10.98$$

$$F\ (S \times N_Q) = \frac{(S \times N_Q)MS}{((\text{Reps within S}) \times N_Q)MS} = \frac{598.9375}{4,574.8422} = 0.13$$

$$F\ (S \times N_{Res}) = \frac{(S \times N_{Res})MS}{((\text{Reps within S}) \times N_{Res})MS} = \frac{3,425.3000}{1,855.6976} = 1.85$$

2. การวิเคราะห์รวมหลายปี

การวิเคราะห์รวมระหว่างปี เป็นการศึกษาหาเทคโนโลยีที่แสดงผลคงที่ และให้ผลดีทุกปีที่ปลูกในฤดูกาลเดียวกัน ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างปี และทรีตเมนต์ จะมีความสำคัญน้อยกว่าความสัมพันธ์ร่วมระหว่างฤดูกาล และทรีตเมนต์ เนื่องจากสิ่งแวดล้อม เช่น แสงแดด ฝน จะมีความผันแปรในแต่ละปี และไม่สามารถจะคาดการณ์ได้ ฉะนั้นปีจึงเป็นตัวแปรสุ่ม (random variable)

ตัวอย่าง งานทดลองเปรียบเทียบพันธุ์ข้าว 9 พันธุ์ ในฤดูนาปี 2 ปี ที่สถานีทดลองข้าวสุรินทร์ วางแผนการทดลองแบบ RCB ทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ 2.1 แสดงผลผลิต (กก./ไร่) ของข้าว 9 พันธุ์ ที่ปลูกในฤดูนาปี 2 ปี วางแผนแบบ RCB 3 ซ้ำ

พันธุ์	ปีที่ 1			ปีที่ 2		
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3
1	550	576	558	493	571	536
2	571	436	503	504	532	492
3	487	508	563	456	566	664
4	534	546	675	458	526	672
5	421	448	409	557	550	796
6	650	623	743	588	518	680
7	570	733	662	519	704	780
8	542	622	459	472	579	512
9	436	441	429	430	342	511

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 2.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแต่ละปี คำนวณจาก ตารางที่ 2.1

SOV	DF	SS	MS	F
		ปีที่ 1		
Replication	2	3,400.2963	1,700.1482	
Variety	8	176,068.5185	22,008.5648	6.20**
Error	16	56,810.3704	3,550.6482	
		ปีที่ 2		
Replication	2	77,722.2963	38.861.1481	
Variety	8	121.771.4074	15,221.4259	3.03*
Error	16	80,347.7037	5,021.7315	

ขั้นตอนการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม

2.1 ทดสอบความแปรปรวนของแต่ละการทดลอง โดยใช้วิธีการ ดังที่กล่าวไว้ในข้อ 1.1

$$F = \frac{5,021.7315}{3,550.6482} = 1.41$$

ค่า F จากตารางที่ df 16, 16 ที่ .05 = 2.78 แสดงว่าการทดลองทั้งสองนี้ มีค่าความแปรปรวนไม่ต่างกัน

2.2 แบบตารางวิเคราะห์รวม ในกรณีที่ความแปรปรวนของแต่ละการทดลองไม่ต่างกัน ในตาราง 2.3

ตารางที่ 2.3 แบบตารางวิเคราะห์รวมของปี ที่วางแผนแบบ RCB, y ปี [1/], t ทรีตเมนต์ และ r ซ้ำ

SOV	DF	MS	F
Year (Y)	y – 1	Y MS	$\frac{\text{Y MS}}{\text{R MS}}$
Reps within year	y(r – 1)	R MS	
Treatment (T)	t – 1	T MS	$\frac{\text{T MS}}{\text{Y x T MS}}$
Y x T	(y – 1)(t – 1)	Y x T MS	$\frac{\text{Y x T MS}}{\text{E MS}}$
Pooled error	y(r – 1)(t – 1)	E MS	
Total	yrt – 1		

[1/] ปี ถือว่าเป็นตัวแปรสุ่ม (random variable)

กรมวิชาการเกษตร

2.3 คำนวณ ค่า SS และ MS แยกตามแต่ละแหล่งของความแปรปรวน เช่นเดียวกับวิธีในข้อ 1.3 ถึง 1.4

2.4 คำนวณค่า F ตามในตารางที่ 2.3 ดังนี้

$$F(Y) = \frac{Y\ MS}{R\ MS}$$

$$= \frac{1,814.2407}{20,280.6481} = 0.089$$

$$F(T) = \frac{T\ MS}{Y \times T\ MS} = \frac{27,401.2917}{9,828.6991} = 2.79$$

$$F(Y \times T) = \frac{Y \times T\ MS}{E\ MS}$$

$$= \frac{9,828.6991}{4,286.1898} = 2.29$$

ตารางที่ 2.4 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน งานเปรียบเทียบพันธุ์ 9 พันธุ์ 2 ปี วางแผนแบบ RCB ทดลอง 3 ซ้ำ

SOV	DF	SS	MS	F	F (ตาราง)	
					5%	1%
Year	1	1,814.2407	1,814.2407	<1		
Reps within Year	4	81,122.5926	20,280.6481			
Variety	8	219,210.3333	27,401.2917	2.79*	2.25	3.12
Y x V	8	78,629.5926	9,828.6991	2.29*	2.25	3.12
Pooled error	32	137,158.0740	4,286.1898			

จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าค่า F จากการคำนวณของ Year น้อยกว่า 1 แสดงว่าผลผลิตข้าวทั้ง 9 พันธุ์ โดยเฉลี่ยแล้วไม่ต่างกันทั้งสองปี

Variety และ Y x V มีค่า F* แสดงว่าพันธุ์ข้าว 9 พันธุ์ ให้ผลผลิตต่างกัน และผลผลิตของแต่ละพันธุ์ยังต่างกันในแต่ละปี

2.5 คำนวณค่าสถิติ เพื่อทดสอบความแตกต่างของพันธุ์ในแต่ละปี ดังนี้

$$LSD = t_{\alpha} S_{\bar{d}}$$

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{2\left[(b-1)E_b + E_a\right]}{rb}}$$

b = คือจำนวนพันธุ์ = 9

E_a คือ R MS หรือ Reps within year MS = 20,280.6481

E_b คือ E MS หรือ Pooled error MS = 4,256.1898

$$\therefore\ S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{2\left[(9-1)4{,}286.1898 + 20{,}280.6481\right]}{3 \times 9}}$$

$$= 63.5786$$

$$t'_{\alpha} = \frac{(b-1)E_b t_b + E_a t_a}{(b-1)E_b + E_a}$$

จากตารางค่า t, t_a หรือ t ที่ df 4 ที่ .05 = 2.7764

.01 = 4.6041

t_b หรือ t ที่ df 32 ที่ .05 = 2.0369

.01 = 2.7385

$$t'_{.05} = \frac{(9-1)(4{,}286.1898)(2.0369) + (20{,}280.6481)(2.7764)}{(9-1)(4{,}286.1898) + 20{,}280.6481}$$

$$= 2.3117$$

$$t'_{.01} = \frac{(9-1)(4{,}286.1898)(2.7385) + (20{,}280.6481)(4.6041)}{(9-1)(4{,}286.1898) + 20{,}280.6481}$$

$$= 3.4318$$

$LSD_{.05}$ = 63.5786 x 2.3117 = 147

$LSD_{.01}$ = 63.5786 x 3.4318 = 218

ตารางที่ 2.5 ตารางค่าเฉลี่ยผลผลิต (กก./ไร่), เฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ

พันธุ์	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ความแตกต่าง
1	561	533	28
2	503	509	–6
3	519	562	–43
4	585	552	33
5	426	634	–208*
6	672	595	77
7	655	668	–13
8	541	521	20
9	435	428	7
		$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$
เปรียบเทียบผลผลิตของข้าวพันธุ์เดียวกันระหว่าง 2 ปี		147	218 กก./ไร่

จากตารางค่าเฉลี่ยพบว่า พันธุ์ที่ทดสอบนี้ ส่วนใหญ่ให้ผลผลิตค่อนข้างจะสม่ำเสมอทั้ง 2 ปี ยกเว้นพันธุ์ที่ 5 ซึ่งให้ผลผลิตในปีที่ 1 น้อยกว่าในปีที่ 2 มาก ถึง 208 กิโลกรัมต่อไร่ ฉะนั้นจึงควรหา

กรมวิชาการเกษตร

สาเหตุของความแตกต่างนี้ด้วย อย่างไรก็ดี ในปีต่อไปควรจะนำพันธุ์นี้เข้าทดลองต่อไปด้วย ส่วนพันธุ์ที่ให้ผลผลิตค่อนข้างสูง และถือว่าผลผลิตค่อนข้างสม่ำเสมอ คือ พันธุ์ที่ 7, 6, 4 และ 1

2.6 ถ้าการทดสอบความแปรปรวนในข้อ 2.1 พบว่าการทดลองในปีที่ 1 และ 2 มีค่าความแปรปรวนแตกต่างกัน การคำนวณค่า F ของ Y x V interaction ในตารางที่ 2.4 จะไม่ใช้ค่า Pooled Error MS ไปหาร Y x V MS จะต้องแยกส่วนของ Pooled error SS เช่นเดียวกับ Y x V SS และใช้ค่า Pooled error MS ที่แยกส่วนนี้ไปทดสอบแต่ละส่วนของค่า interaction เหมือนกับข้อ 1.8

อนึ่ง การแยกส่วน Y x V interaction SS และ Pooled error SS ถ้าทรีตเมนต์ที่ศึกษาเป็นเชิงปริมาณ เช่น สารเคมี ปุ๋ย อัตราต่าง ๆ หรือระยะปลูกต่าง ๆ ก็จะแยกส่วนเพื่อดูแนวโน้มของการตอบสนอง โดยใช้ Trend Comparison แต่ถ้าทรีตเมนต์เป็นเชิงคุณภาพ เช่น พันธุ์ต่าง ๆ ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ เป็นต้น ให้แยกส่วนเป็นกลุ่ม หรือ Group Comparison

3. การวิเคราะห์รวมหลายสถานที่

เป็นการทดสอบว่าทรีตเมนต์ใดที่ให้ผลดีในแต่ละท้องที่ได้อย่างกว้างขวางเพียงใด การนำเทคโนโลยีที่คัดเลือกแล้วมาทดสอบในหลายท้องที่และหลายปี เช่น งานทดลองเปรียบเทียบพันธุ์ก็จะสามารถทราบพันธุ์พืชที่เหมาะสมในแต่ละท้องถิ่น และขณะเดียวกันก็ทราบถึงความสามารถในการปรับตัวของพันธุ์ต่าง ๆ เหล่านี้ ว่าสามารถเจริญเติบโตได้ดี ให้ผลผลิตและคุณภาพดีในท้องที่ทดสอบได้อย่างกว้างขวางเพียงใด ในการทดลองปุ๋ยก็จะสามารถจัดกลุ่มของท้องที่ที่ให้ผลตอบสนองต่อปุ๋ยคล้ายกัน

3.1 งานที่วางแผนการทดลองแบบ RCB

<u>ตัวอย่าง</u> งานทดลองเปรียบเทียบผลผลิตพันธุ์ข้าว 21 สายพันธุ์ ในศูนย์วิจัยและสถานีทดลองข้าวต่าง ๆ ในภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ รวม 9 แห่ง วางแผนงานทดลองแบบ RCB 4 ซ้ำ

ตารางที่ 3.1.1 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละการทดลอง รวม 9 แห่ง จากข้อมูลงานทดลองเปรียบเทียบพันธุ์ 21 พันธุ์, RCB 4 ซ้ำ

SOV	DF	F (ตาราง)								
		PRE	PAN	SPT	UBN	KKN	CPA	PMI	SKN	SRN
Replication	3	4,171	10,673	6,836	67,363	17,296	16,408	23,483	10,440	19,892
Variety	20	9,313	20,432	59,702	10,622	18,216	12,792	6,287	23,866	55,199
Error	60	1,628	3,067	9,200	8,764	3,143	2,256	3,200	4,373	6,929
C.V.(%)		6.9	6.6	13.5	13.6	9.5	8.2	6.7	8.8	8.8

กรมวิชาการเกษตร

ภาคเหนือ	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
PRE – ศูนย์วิจัยข้าวแพร่	UBN – ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี
PAN – สถานีทดลองข้าวพาน	KKN – สถานีทดลองข้าวขอนแก่น
SPT – สถานีทดลองข้าวสันป่าตอง	CPA – สถานีทดลองข้าวชุมแพ
	PMI – สถานีทดลองข้าวพิมาย
	SKN – สถานีทดลองข้าวสกลนคร
	RN – สถานีทดลองข้าวสุรินทร์

3.1.1 ทดสอบความแปรปรวนของแต่ละการทดลองโดยวิธี Bartlett's test ของค่า MS Error จากตาราง 3.1.1

$$\chi^2 = 86.60^{**}$$

จากตาราง $\chi^2_{.05, df\,60} = 79.1$

แสดงว่าการทดลอง 9 แห่งนี้ มีความแปรปรวนต่างกัน ส่วนค่า C.V.(%) ไม่สูงเกินค่ามาตรฐานของงานทดลองเปรียบเทียบพันธุ์ข้าว จึงสามารถวิเคราะห์รวมการทดลองทั้ง 9 สถานที่ปลูกนี้ได้

3.1.2 คำนวณค่า SS ในแต่ละแหล่งของความแปรปรวน ซึ่งมีวิธีการเช่นเดียวกับ 1.1

ตารางที่ 3.1.2 วิเคราะห์รวมผลผลิตข้าว (กก./ไร่) 21 พันธุ์ ปลูก 9 แห่ง

SOV	DF	SS	MS	F
Location (L)	8	11,493,980	1,436,748	75.63**
Reps w/n Location	27	512,896	18,996	
Variety (V)	20	1,195,104	59,755	13.40**
L x V	160	2,856,763	17,855	4.00**
Pooled Error	540	2,408,096	4,459	

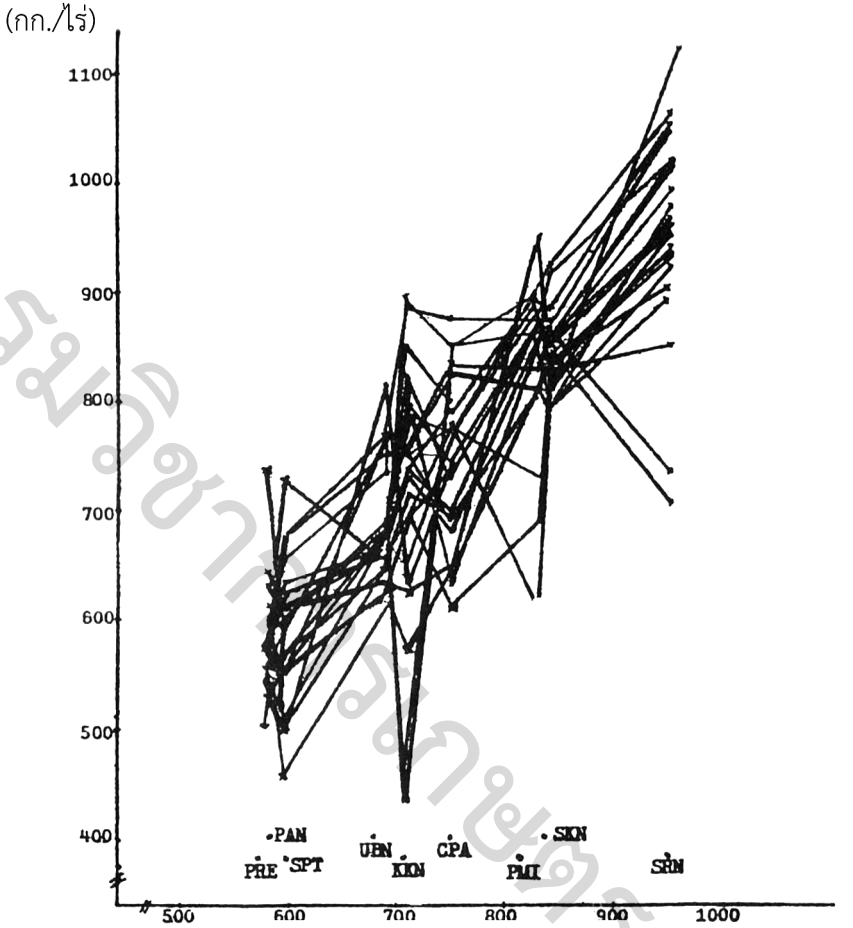
3.1.3 จากตารางวิเคราะห์

L มีค่า F** แสดงว่า ผลผลิตของพันธุ์ข้าวโดยเฉลี่ยแตกต่างกันในแต่สถานที่

V มีค่า F** แสดงว่า ผลผลิตข้าวโดยเฉลี่ยมีความแตกต่างกัน

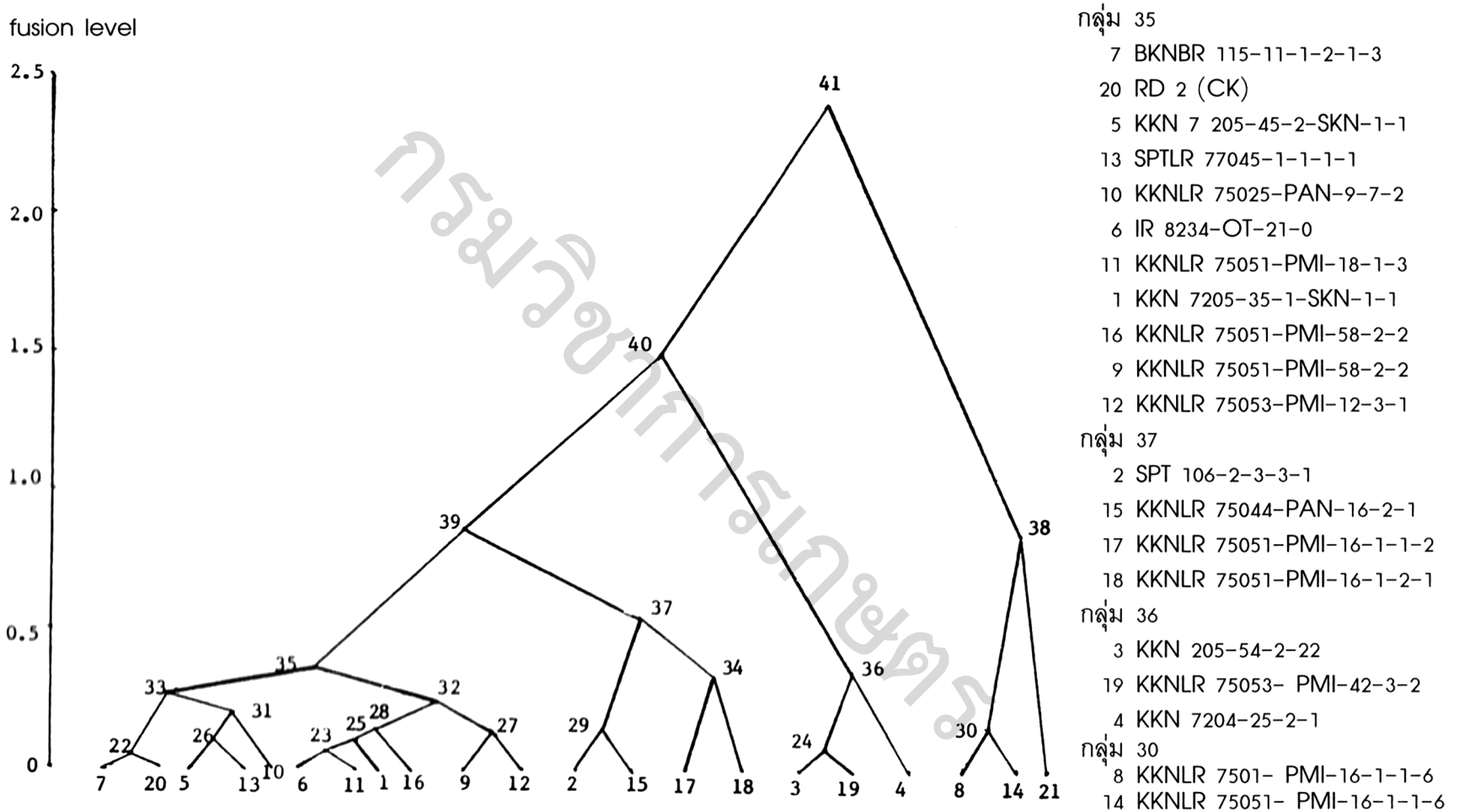
L x V มีค่า F** อธิบายได้ว่า ข้าวแต่ละพันธุ์ให้ผลผลิตในแต่ละสถานที่แตกต่างกัน ฉะนั้นจึงควรวิเคราะห์ความแปรปรวนของ V และ V x L โดยแยกส่วน (partition) ความแปรปรวนของพันธุ์ข้าวออกเป็นกลุ่ม พันธุ์ข้าวที่ให้ผลตอบสนองต่อสถานที่ปลูกคล้ายกันจะถูกจัดเป็นกลุ่มเดียวกัน

กรมวิชาการเกษตร



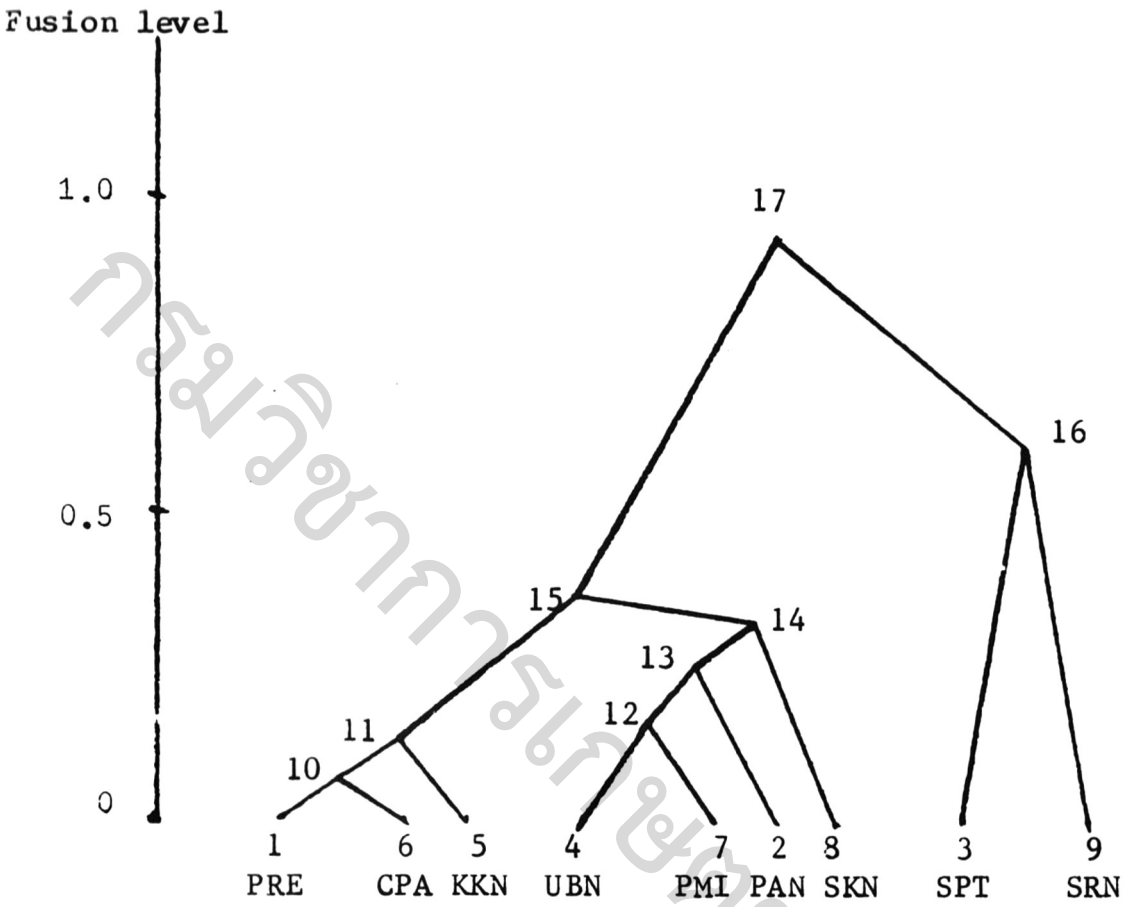
ภาพที่ 1 ผลผลิต (กก./ไร่) ของข้าว 21 พันธุ์ 9 ศูนย์/สถานีทดลอง

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 2 Dendrogram of agglomerative hierarchical clustering ของพันธุ์ข้าว 21 พันธุ์

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 3 Dendrogram of agglomerative hierarchical clustering ของสถานีทดลอง 9 แห่ง (G x E effects)

กรมวิชาการเกษตร

วิธีการจัดกลุ่มอาจทำได้โดยพิจารณาจากเส้นการตอบสนองของผลผลิตข้าวต่อสถานที่ปลูก (ภาพที่ 1) แต่เนื่องจากพันธุ์ในตัวอย่างนี้มีจำนวนมาก ทำให้ยากในการพิจารณาจัดกลุ่ม จึงได้ใช้วิธีการ Agglomerative Hierarchical Clustering Strategies คือการจัดกลุ่มโดยวัดทั้งความคล้ายกันและความไม่คล้ายกัน (similarity and dissimilarity) เทคนิคที่ใช้ unstandardised square Euclidian distance (SED) เพื่อวัดความไม่คล้ายกัน และการรวมกลุ่มโดยการเพิ่มค่าของผลบวกยกกำลังสอง และค่าเฉลี่ยของกลุ่ม (incremental sum of squares and group average fusion strategies) โดยใช้หลักการเพิ่มค่าของผลรวมยกกำลังสองของกลุ่มที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ ทั้งหมดแล้ว กลุ่มนั้นก็จะรวมกันก่อน และจะรวมกลุ่มอื่น ๆ ต่อไป จนกว่าจะครบจำนวนพันธุ์ที่มาเปรียบเทียบ จากภาพที่ 2 สามารถจัดกลุ่มพันธุ์ข้าวออกเป็น 5 กลุ่ม ในทำนองเดียวกันสิ่งแวดล้อมก็จะถูกจัดกลุ่มเช่นเดียวกับพันธุ์ (ภาพที่ 3) ซึ่งอาจจัดได้ 4 กลุ่ม แต่สถานที่ปลูกในที่นี้มีเพียง 9 แห่ง ฉะนั้นจึงไม่จัดกลุ่มสถานที่ปลูก นอกจากนี้จากการทดลองในข้อ 3.1.1 พบว่าสถานที่ปลูกมีค่า error mean squares ต่างกัน ดังนั้นจึงต้องแบ่งส่วนความแปรปรวนของ pooled error ตามการแบ่งส่วนของกลุ่มพันธุ์ (ตารางที่ 3.1.3)

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 3.1.3 การวิเคราะห์รวมสถานที่ปลูก โดยแยกส่วนความแปรปรวนของพันธุ์เป็น 5 กลุ่ม

SOV	DF	SS	MS	F	% of SS
Location (L)	8	11,493,980	1,436,748	75.63**	
Reps w/n L	27	512,896	18,996		
Variety (V)	20	1,195,104	59,755	13.40**	
Among 5 gr[1/]	4	948,962	237,240	42.93**	79
within 5 gr	16	246,142	15,384	3.67**	21
gr 21	(0)	0	0		
gr 30	(1)	5,373	5,373	1.10^{ns}	
gr 35	(10)	148,473	14,847	4.47**	
gr 36	(2)	28,811	14,405	2.56^{ns}	
gr 37	(3)	63,485	21,162	3.59*	
L x V	160	2,856,736	17,855	4.00**	
L x Among 5 gr	32	1,635,748	51,117	9.25**	
L x within 5 gr	128	1,220,988	9,539	2.28**	
L x gr 21	(0)	0	0		
L x gr 30	(8)	65,289	8,161	1.67^{ns}	
L x gr 35	(80)	591,991	7,400	2.23**	
L x gr 36	(16)	175,548	10,972	1.95*	
L x gr 37	(24)	388,160	16,173	2.75**	
Pooled Error	540	2,408,096	4,459		
Among 5 gr	108	596,792	5,526		
Within 5 gr	432	1,811,304	4,193		
(Reps w/n L) x gr 21	(0)	0	0		
(Reps w/n L) x gr 30	(27)	132,272	4,899		
(Reps w/n L) x gr 35	(270)	897,645	3,325		
(Reps w/n L) x gr 36	(54)	304,359	5,636		
(Reps w/n L) x gr 37	(81)	477,028	5,889		

[1/] กลุ่มที่ 1 มี 1 พันธุ์ คือ พันธุ์ที่ 21
" 2 " 2 " " " 14, 8
" 3 " 11 " " " 13, 5, 10, 20, 7, 11, 6, 1, 16, 12, 9
" 4 " 3 " " " 19, 3, 4
" 5 " 4 " " " 18, 17, 15, 2

กรมวิชาการเกษตร

จากตาราง 3.1.3 ความแปรปรวนระหว่างพันธุ์ข้าว 5 กลุ่ม เท่ากับร้อยละ 79 สูงกว่าความแปรปรวนภายในกลุ่มพันธุ์รวมทั้ง 5 กลุ่ม ซึ่งเท่ากับร้อยละ 21 โดยคิดจากค่า SS ของพันธุ์ 21 พันธุ์ จากค่า F ที่คำนวณได้ ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยผลผลิตของพันธุ์ภายในกลุ่ม 2 ไม่แตกต่างกันและพันธุ์ที่ 4 ก็เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ L x gr^2 มีค่า F^{ns} แสดงว่าการตอบสนองของกลุ่มพันธุ์ที่ 2 ต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 9 แห่ง ไม่ต่างกัน

ตารางที่ 3.1.4 ผลผลิตเฉลี่ย (กก./ไร่) จาก 4 ซ้ำของงานทดลองเปรียบเทียบผลผลิตข้าวระหว่างสถานี

พันธุ์/สายพันธุ์	สถานที่ปลูก								
	PRE	PAN	SPT	UBN	KKN	CPA	PMI	SKN	SRN
1	563	854	725	762	591	579	789	691	964
2	558	816	625	635	606	645	795	644	923
3	642	874	884	762	678	572	813	875	948
4	652	860	885	650	726	734	792	848	1,096
5	625	811	743	748	677	630	878	824	1,049
6	604	808	737	670	581	543	872	692	961
7	563	875	645	679	622	527	872	767	1,024
8	544	870	436	683	601	530	837	853	900
9	618	912	796	686	608	556	882	774	1,054
10	502	731	749	683	550	532	858	778	993
11	622	870	709	691	562	642	860	696	966
12	609	840	814	654	565	598	921	637	1,056
13	562	809	738	672	634	606	880	787	958
14	550	826	445	712	554	578	865	832	736
15	603	688	696	628	553	620	825	610	848
16	555	867	821	676	502	554	833	726	940
17	507	926	566	610	459	535	814	644	961
18	627	870	627	810	496	562	834	747	931
19	688	854	844	733	659	633	786	796	891
20	576	870	698	650	623	503	917	741	1,023
21	540	628	686	628	498	505	848	781	672

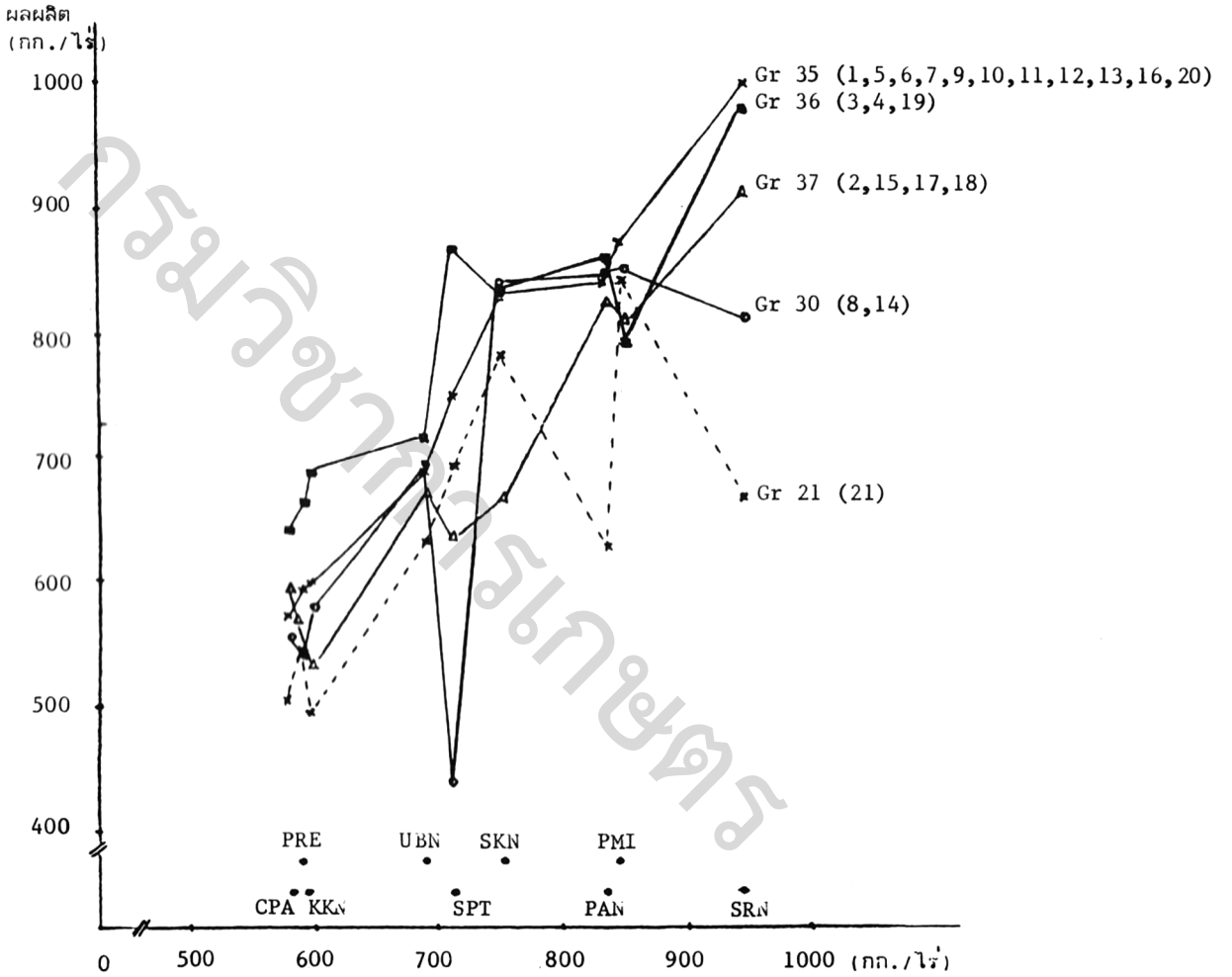
กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 3.1.5 วิเคราะห์รวมผลผลิตข้าว (ตัน/เฮกตาร์) วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ค่าเฉลี่ยจาก 4 ซ้ำ

SOV	DF	SS	MS	% of Total SS	% of V x L
Location	8	112.2435	14.0304	73.9	
Variety	20	11.6675	0.5834	7.7	
Location x Variety	160	27.8968	0.1744	18.4	
Heterogeneity	20	4.8694	0.2435		17.5
Diviate from Regression	140	23.0275	0.1645		82.5
Total	188	151.8079			

3.1.4 จากการวิเคราะห์รวมโดยใช้ข้อมูลตารางที่ 3.1.4 ได้ผลตามตารางที่ 3.1.5 พบว่าความแปรปรวนเนื่องจากสถานที่ปลูกถึงร้อยละ 73.9 ส่วนความแปรปรวนของพันธุ์เพียงร้อยละ 7.7 ซึ่งน้อยกว่าความแปรปรวนของพันธุ์ x สถานที่ปลูก เกือบ 3 เท่า ซึ่งเป็นการยืนยันผลของตารางที่ 3.1.2 และการตอบสนองของพันธุ์ในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ จะกระจายจากเส้น regression ถึงร้อยละ 82.5 แสดงว่าผลผลิตของพันธุ์ต่าง ๆ ในแต่ละสิ่งแวดล้อมจะไม่เป็นไปในรูปเส้นตรง ฉะนั้นจึงได้แสดงกราฟการตอบของกลุ่มพันธุ์ข้าวและสิ่งแวดล้อมตามข้อมูลจริง ในภาพที่ 4

กรมวิชาการเกษตร



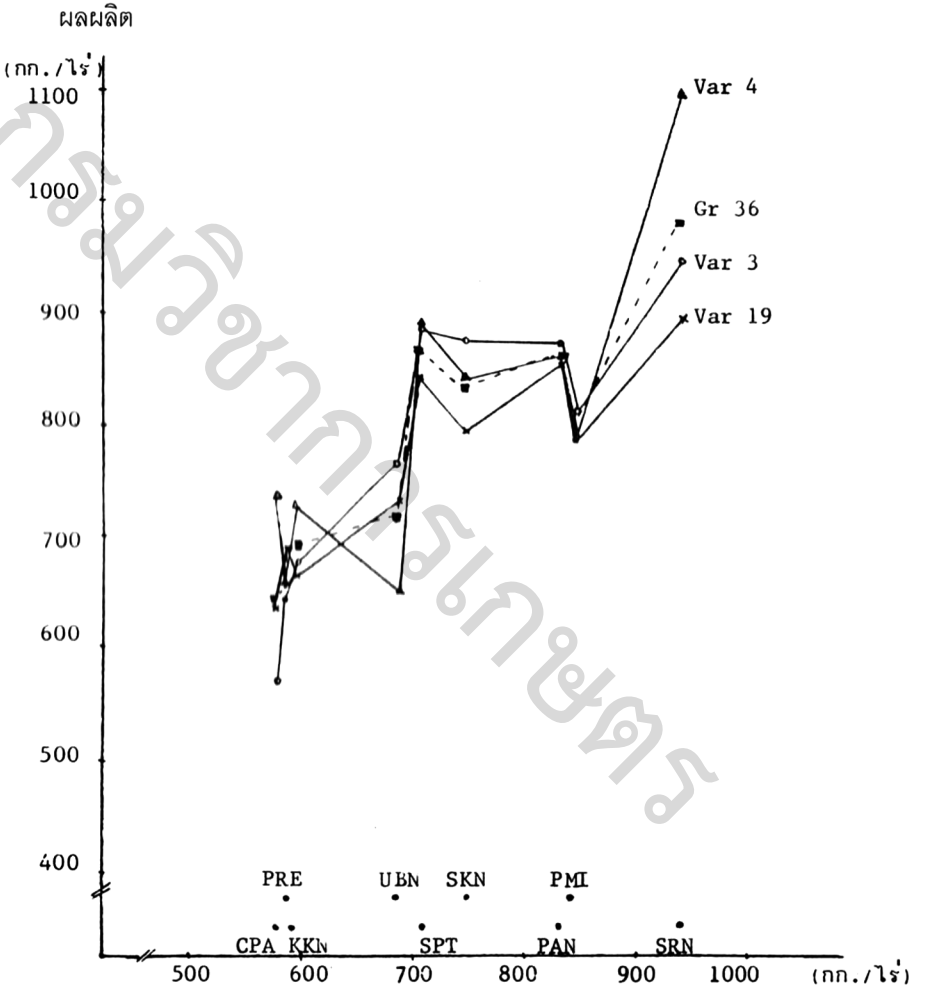
ภาพที่ 4 ผลตอบสนองของพันธุ์ข้าว 5 กลุ่ม 9 สถานที่ปลูก

กรมวิชาการเกษตร

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 3.1.3 พบว่ากลุ่มพันธุ์ 30 ซึ่งมีสมาชิก 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ที่ 8 และ 14 ให้ผลผลิตเฉลี่ยไม่ต่างกัน และให้ผลผลิตเหมือนกันทั้ง 2 พันธุ์ในสถานที่ปลูกทั้ง 9 แห่ง จากภาพที่ 4 ปรากฏว่ากลุ่มพันธุ์นี้ ให้ผลผลิตดีที่สถานีทดลองข้าวสกลนคร พาน และพิมาย แต่ให้ผลผลิตน้อยมากที่สถานีทดลองข้าวสันป่าตอง ซึ่งนักวิจัยจะต้องพิจารณาว่าเหตุใด อาจเป็นเพราะมีการทำลายของโรคแมลงที่ซึ่งกลุ่มพันธุ์ที่ 30 ไม่ต้านทาน (แต่กลุ่มพันธุ์ 36 ต้านทาน จึงให้ผลผลิตสูง) หรืออาจมีสาเหตุอื่น ๆ เช่น อายุของพืช ปริมาณและการกระจายของน้ำฝน ฯลฯ ดังนั้น ผู้ดำเนินการทดลองที่จดบันทึกสภาพการเจริญเติบโตของพืชและสิ่งแวดล้อม โดยละเอียด จะช่วยในการตัดสินใจคัดเลือกพันธุ์ได้ดียิ่งขึ้น

ส่วนกลุ่มพันธุ์ 36 (ตารางที่ 3.1.3) มีสมาชิก 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ที่ 3, 4 และ 19 มีค่าเฉลี่ยไม่ต่างกันแต่ผลผลิตในแต่ละสถานที่ปลูกได้ผลแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ อย่างไรก็ดีการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมของพันธุ์เหล่านี้คล้ายคลึงกันมากกว่าพันธุ์อื่น จากภาพที่ 4 เส้นการตอบสนองของกลุ่มพันธุ์ให้ผลผลิตสูงกว่ากลุ่มพันธุ์อื่นใน 7 สถานที่ปลูก แต่ให้ผลผลิตน้อยกว่ากลุ่มพันธุ์อื่นที่สถานีทดลองข้าวพิมาย แต่เนื่องจากกลุ่มพันธุ์มีปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุ์และสถานที่ปลูก จึงควรดูรายละเอียดของแต่ละพันธุ์ต่อไปในภาพที่ 5

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 5 ผลตอบสนองของกลุ่มพันธุ์ 36 ใน 9 สถานีปลูก

กลุ่มวิชาการเกษตร

3.2 งานทดลองที่จัดการทดลองแบบ Factorial Experiment ในรูป RCB

ตัวอย่าง การใช้ปุ๋ยเทศบาลร่วมกับปุ๋ยวิทยาศาสตร์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดิน และอิทธิพลต่อผลผลิตข้าว ขาวดอกมะลิ 105

จัดการทดลอง 4 x 3 Factorial in RCB ทดลอง 3 ซ้ำ

ปุ๋ยหมัก (C) = 4 อัตรา

ปุ๋ยไนโตรเจน (N) = 3 อัตรา

สถานีทดลอง สถานีทดลองข้าว (P) = 3 แห่ง

ตารางที่ 3.2.1 วิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละการทดลองจัดการทดลอง Factorial RCB 3 ซ้ำ

SOV	DF	โคกสำโรง		สุรินทร์		สกลนคร	
		MS	F	MS	F	MS	F
Replication	2	4,470		3,201		28,835	
C	3	17,529	7.73**	9,747	6.44**	27,988	14.73**
N	2	9,421	4.15*	8,257	5.46*	33,915	17.85**
C x N	6	2,940	1.29^{ns}	1,462	<1	3,578	1.88^{ns}
Error	22	2,266		1,512		1,899	
C.V.(%)		8.5		8.9		11.6	

เนื่องจากค่า Error ของแต่ละการทดลองไม่ถึง 3 เท่า จึงวิเคราะห์รวม ดังในตารางที่ 3.2.2

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 3.2.2 วิเคราะห์ความแปรปรวนรวม 3 สถานที่ จัดการทดลอง 3 x 3 Factorial in RCB ทดลอง 3 ซ้ำ

SOV	DF		SS	MS	F
Location	p – 1	= 2	611,626	305,963	25.14**
Reps Within Location	p(r – 1)	= 6	73,011	12,168	
C	c – 1	= 3	150,403	50,134	26.49**
C_{Linear}		= 1	132.070	132,070	69.79**
$C_{Quadratic}$		= 1	1.387	1,387	<1
C_{Cubic}		= 1	16,946	16,946	8.96**
N	n – 1	= 2	85,047	42,523	22.47**
N_{Linear}		= 1	75,790	75,790	40.05**
$N_{Quadratic}$		= 1	9,256	9,256	4.89*
L x C	(p – 1)(c – 1)	= 6	15,390	2,565	1.36^{ns}
L x N	(p – 1)(n – 1)	= 4	18,138	4,534	2.40^{ns}
C x N	(c – 1)(n – 1)	= 6	16,958	2,826	1.49^{ns}
L x C x N	(p – 1)(c – 1)(n–1)	= 12	30,924	2,577	1.36^{ns}
Pooled error	p(nc – 1)(r – 1)	= 66	124,896	1,892	

ตารางที่ 3.2.3 ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 (กก./ไร่) เฉลี่ย

สถานีทดลองข้าว	**กก./ไร่**
โคกสำโรง	555
สุรินทร์	432
สกลนคร	374

	$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$	
เปรียบเทียบผลผลิตระหว่าง 2 สถานีฯ	64	96	กก./ไร่

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 3.2.4 ผลผลิต (กก./ไร่) เฉลี่ย

ปุ๋ยหมัก (กก./ไร่)	กก./ไร่	ดีกว่า Check
0	398	–
300	459	61**
600	456	58**
900	503	105**

	$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$	
เปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยหมัก 2 อัตรา	24	32	กก./ไร่

ตารางที่ 3.2.5 ผลผลิต (กก./ไร่) เฉลี่ย

ปุ๋ยไนโตรเจน (กก./ไร่)	กก./ไร่	ดีกว่า Check
0	415	–
3	467	52**
6	480	65**

	$LSD_{.05}$	$LSD_{.01}$	
เปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยไนโตรเจน 2 อัตรา	21	27	กก./ไร่

สรุปผลการทดลอง

เนื่องจากไม่มี interaction ระหว่าง L x C x N แสดงว่าปุ๋ยเทศบาลและปุ๋ยไนโตรเจนมีผลต่อผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 เช่นเดียวกันในสถานีทดลองข้าวโคกสำโรง สุรินทร์ และสกลนคร

C x N interaction ปรากฏว่าไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่าอิทธิพลของปุ๋ยเทศบาลต่อผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในระดับปุ๋ยไนโตรเจนต่าง ๆ ไม่แตกต่างกัน หรืออิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไม่แตกต่างกันในปุ๋ยเทศบาลระดับต่าง ๆ

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่สถานีทดลองข้าวโคกสำโรงให้ผลผลิตเฉลี่ย 555 กิโลกรัมต่อไร่สูงกว่าผลผลิตข้าวที่สถานีทดลองข้าวสุรินทร์ และสกลนคร 123 และ 181 กิโลกรัมตามลำดับ ส่วนผลผลิตข้าวที่สถานีทดลองข้าวสุรินทร์สูงกว่า สกลนคร 58 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ไม่แตกต่างกัน

อิทธิพลของปุ๋ยเทศบาลต่อผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นไปในรูป Cubic แสดงว่าเมื่อใส่ปุ๋ยเทศบาลจะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น แต่ในอัตราต่ำคือ 300 และ 600 กิโลกรัม จะให้ผลไม่แตกต่างกัน เมื่อเพิ่มปุ๋ยเทศบาลเป็นอัตรา 900 กิโลกรัมต่อไร่ จึงจะทำให้เพิ่มผลผลิตขึ้นมาก ส่วนปุ๋ยไนโตรเจนนั้นทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นในรูป Quadratic คือเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 3 กิโลกรัมต่อไร่ จะทำให้

กรมวิชาการเกษตร

ผลผลิตเพิ่มขึ้น 52 กิโลกรัมต่อไร่ แต่ถ้าใส่ในอัตรา 6 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพียง 13 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งถ้าใส่ไนโตรเจนในอัตราสูง อาจจะทำให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลดลงก็ได้

3.3 งานทดลองที่วางแผนแบบ Split Plot Design

ตารางที่ 3.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม m Location, a Main plot, b Sub plot, r Block

SOV	DF	MS	F
Location (L)	m – 1	L MS	L MS/R MS
Reps Within L	m(r – 1)	R MS	
A	a – 1	A MS	A MS/E_a MS
L x A	(m – 1)(a – 1)	L x A MS	L x A MS/E_a MS
Pooled error (a)	m(r – 1)(a – 1)	E_a MS	
B	b – 1	B MS	B MS/E_b MS
L x B	(m – 1)(b – 1)	L x B MS	L x B MS/E_b MS
A x B	(a – 1)(b – 1)	A x B MS	A x B MS/E_b MS
L x A x B	(m – 1)(a – 1)(b – 1)	L x A x B MS	L x A x B MS/E_b MS
Pooled error (b)	ma(r – 1)(b – 1)	E_b MS	

3.4 การทดลองหลายปีและหลายสถานที่

ตารางที่ 3.4 แบบวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม s ปี, p สถานที่, RCB

SOV	DF
Season	(s – 1)
Location	(p – 1)
Season x Location	(s – 1)(p – 1)
Reps w/n Season and Location	sp(r – 1)
Treatment	t – 1
Treatment x Season	(t – 1)(s – 1)
Treatment x Location	(t – 1)(p – 1)
Treatment x Season x Location	(t – 1)(s – 1)(p – 1)
Pooled error	sp(t – 1)(r – 1)

กรมวิชาการเกษตร

4. การวิเคราะห์รวมหลายการทดลอง

บางครั้งการปฏิบัติงานทดลองไม่สามารถจะนำแฟคเตอร์ที่สนใจจะศึกษาทุกแฟคเตอร์มารวมศึกษาไว้ในการทดลองเดียวกัน เช่น การทดลองเกี่ยวกับแมลง ที่จำเป็นต้องทดลองในกรงหรือกระบะปลูกซึ่งมีตาข่ายคลุม เพื่อไม่ให้แมลงแต่ละกลุ่มมาปะปนกัน จึงต้องแยกแปลงแต่ละกลุ่มเป็นแต่ละการทดลอง แต่ทั้งนี้ต้องแน่ใจว่าการทดลองทั้ง 2 นั้น มีสิ่งแวดล้อมเหมือนกันทั้งชนิดและความอุดมสมบูรณ์ของดิน แสงแดด ความชื้น และอุณหภูมิ เพื่อให้ความแตกต่างที่วัดได้นั้นเป็นความแตกต่างของทรีตเมนต์จริง ๆ ไม่ใช่ความแตกต่างของทรีตเมนต์และสิ่งแวดล้อมร่วมกัน

4.1 การทดลองที่วางแผนแบบ CRD

ตัวอย่าง คือ การทดสอบ biotype ของแมลงเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ที่จับมาจากอำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม และอำเภอเทพราช จังหวัดฉะเชิงเทรา นำมาเลี้ยงและทดลองที่สถานีทดลองข้าวบางเขน หลังจากปล่อยบนต้นข้าว 6 พันธุ์ ได้ 3 วัน นับหาเปอร์เซ็นต์แมลงตัวอ่อนที่มีชีวิตอยู่รอด แมลงที่จับมาจากแต่ละอำเภอ แยกเป็นแต่ละการทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ทรีตเมนต์คือ พันธุ์ข้าว 6 พันธุ์ ทดลอง 5 ซ้ำ วิเคราะห์ผลการทดลองได้ ดังตารางที่ 4.1.1

ตารางที่ 4.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละการทดลอง

SOV	DF	แมลงจาก อ.บางเลน		แมลงจาก อ.เทพราช	
		SS	MS	SS	MS
Variety	5	4,366.4470	873.2894	8,313.6830	1,662.7366
Error	24	5,572.4688	232.1862	4,894.2672	203.9278

ตารางที่ 4.1.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม 2 การทดลอง, พันธุ์ข้าว 5 พันธุ์ CRD, 4 ซ้ำ

SOV	DF	SS	MS	F
Location (L)	1	260.6667	260.6667	1.20^{ns}
Variety (V)	5	11,497.7825	2,299.5565	10.55**
L x V	5	1,495.3638	299.07828	1.37^{ns}
Pooled Error	48	10,662.1233	218.0570	

จากตารางวิเคราะห์ ค่า F ของ L แสดงว่า แมลงเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจากอำเภอบางเลนและอำเภอเทพราช ไม่ต่างกัน

V มีค่า F** แสดงว่า แมลงตัวอ่อนของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสามารถมีชีวิตรอดบนต้นข้าว 6 พันธุ์นี้ได้แตกต่างกัน

L x V มีค่า F ไม่ต่างกัน แสดงว่าตัวอ่อนของแมลงจาก 2 แหล่งนี้ มีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดบนต้นข้าวทั้ง 6 พันธุ์ เหมือน ๆ กัน

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 4.1.3 เปอร์เซ็นต์แมลงตัวอ่อนที่มีชีวิตอยู่รอด เฉลี่ยจาก 5 ซ้ำ

พันธุ์ข้าว	แมลงจากอำเภอ		เฉลี่ย	DMRT[1/]
	บางเลน	เทพราช		
1. Ptb 33	62	52	57	a
2. Rather Heenati	62	54	58	a
3. Mudgo	90	64	77	ab
4. ASD 7	74	64	69	a
5. RD 9	86	96	91	bc
6. T(N) 1	98	100	99	c
เฉลี่ย	**79**	**72**		

[1/] ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ตัวอ่อน ที่มีอักษรเหมือนกันอย่างน้อย 1 ตัว ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การทดลองนี้สรุปผลได้ว่า เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่จับมาจากอำเภอบางเลนและอำเภอเทพราชมี biotype ไม่ต่างกัน พันธุ์ข้าวเบอร์ 2, 4 และ 3 มีแมลงตัวอ่อน 58, 69 และ 77 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและไม่ต่างจากพันธุ์ Ptb 33 ซึ่งเป็นพันธุ์ต้านทาน ส่วนพันธุ์ กข 9 มีแมลงตัวอ่อน 91 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่ต่างจากพันธุ์ที่ต้านทาน คือ T(N) 1

4.2 งานทดลองที่ใช้แบบแผนการทดลอง Latin Square Design

งานทดลองที่วางแผนแบบ LT มีข้อจำกัดว่า จำนวน row และ column จะต้องเท่ากับจำนวน ทรีตเมนต์ บางการทดลองมีเพียง 4 ทรีตเมนต์เท่านั้น เป็น 4 x 4 Latin Square ค่า df ของ Error จะน้อยมาก คือ เท่ากับ 6 ซึ่งอาจทำให้การทดสอบความแตกต่างของทรีตเมนต์ไม่ถูกต้อง ฉะนั้นนักวิจัยอาจจะทำแปลงการทดลองติดกัน 2 การทดลอง แล้ววิเคราะห์รวม 2 การทดลอง ดังตัวอย่างงานทดลองหาฤดูปลูกฝ้าย 4 ระยะ คือ 10, 20, 30 มิถุนายน และ 10 กรกฎาคม 2519 ที่สถานีทดลองพืชไร่เลยใช้ฝ้ายพันธุ์ L – 142 – 9M 358 – 11 ดังตารางที่ 4.2.1

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 4.2.1 ผลผลิตของฝ้าย (กก./34 ม^2)

การทดลองที่	Row	Column				Row – Total
		1	2	3	4	
1	1	6.68	4.99	6.69	5.23	23.59
	2	5.63	7.19	6.12	3.92	22.86
	3	9.38	4.71	5.79	4.13	24.00
	4	6.84	5.92	6.36	7.10	26.22
Column – Total		**28.53**	**22.81**	**24.96**	**20.37**	**96.67**
2	1	6.39	6.75	2.17	2.97	18.28
	2	5.57	5.29	2.95	2.78	16.59
	3	6.66	5.14	7.03	5.37	24.20
	4	7.28	7.61	6.45	5.51	26.85
Column – Total		**25.90**	**24.79**	**18.60**	**16.63**	**85.92**

ตารางที่ 4.2.2 ผลผลิตรวมจาก 4 ซ้ำ

ทรีตเมนต์	การทดลอง		ทรีตเมนต์ – รวม
	1	2	
1	22.84	23.84	46.68
2	30.36	23.50	53.86
3	21.54	18.39	39.93
4	21.93	20.19	42.12
Total	**96.67**	**85.92**	**182.59**

การทดลอง = s = 2

Row, Column = r = 4

Treatment = t = 4

ตารางที่ 4.2.3 แบบการวิเคราะห์ความแปรปรวน s การทดลอง, r x r Latin Square

SOV	DF	MS	F
Set	s – 1	S MS	S MS/E MS
Row/within set	s(r – 1)	R MS	R MS/E MS
Column/within set	s(r – 1)	C MS	C MS/E MS
Treatment	t – 1	T MS	T MS/E MS
Treatment x Set	(t – 1)(s – 1)	T x S MS	T x S MS/E MS
Pooled error	s(t – 1)(r – 2)	E MS	
Total	$sr^2 – 1$		

กรมวิชาการเกษตร

4.2.1 คำนวณค่า Sum of Square

$$\text{CF} = \frac{(\text{Grand Total})^2}{\text{Number of observation}} = \frac{(182.59)^2}{32} = 1{,}041.8471$$

$$\text{Total} = X^2 - \text{CF}$$
$$= (6.68^2 + 5.63^2 + \ldots + 5.51^2) - 1{,}041.8471$$
$$= 76.6272$$

$$\text{Set SS} = \frac{\sum S^2}{r \times r} - \text{CF}$$
$$= \frac{96.67^2 + 85.92^2}{4 \times 4} - 1{,}041.8471$$
$$= 3.6113$$

$$\text{Row/Set SS} = \frac{\sum R^2}{r} - \text{CF} - \text{Set SS}$$
$$= \frac{23.59^2 + 22.86^2 + \ldots + 26.85^2}{4} - 1{,}041.8471 - 3.6113$$
$$= 19.1678$$

$$\text{Column/Set SS} = \frac{\sum C^2}{r} - \text{CF} - \text{Set SS}$$
$$= \frac{28.53^2 + 22.81^2 + \ldots + 16.63^2}{4} - 1{,}041.8471 - 3.6113$$
$$= 24.5582$$

$$\text{Treatment SS} = \frac{\sum T^2}{r + r} - \text{CF}$$
$$= \frac{46.68^2 + 53.86^2 + 39.93^2 + 42.12^2}{4 + 4} - 1{,}041.8471$$
$$= 14.2055$$

$$\text{Treatment x Set SS} = \frac{22.84^2 + 30.36^2 + \ldots + 20.19^2}{4} - \text{CF} - \text{Set SS} - \text{T SS}$$
$$= 1{,}063.6789 - 1{,}041.8471 - 3.6113 - 14.2055$$
$$= 4.0150$$

กรมวิชาการเกษตร

Pooled error SS = Total SS – Set SS – Row/Set SS
– Column/Set SS – Treatment SS
– (Treatment x Set) SS
= 76.6272 – 3.6113 – 19.1678 – 24.5582 – 14.2055 – 4.0150
= 11.0694

ตารางที่ 4.2.4 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม 2 การทดลอง 4 x 4 LT

SOV	DF	SS	MS	F
Set	1	3.6113	3.6113	
Row w/n set	6	19.1678	3.1946	
Column w/n set	6	24.5582	4.0930	
Treatment	3	14.2055	4.7352	
Treatment x Set	3	4.0150	1.3383	1.45^{ns}
Pooled x Set	12	11.0694	0.9224	
Total	31	76.6272		

Treatment x Set interaction มีค่า F – test ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ฉะนั้น จึงรวมกับ Pooled error เป็น

Pooled error df = 3 + 12 = 15
SS = 4.0150 + 11.0694 = 15.0844
MS = $\frac{15.0844}{15}$ = 1.0056

ตารางที่ 4.2.5 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม ผลผลิตฝ้าย (กก./34 ม.^{2})

SOV	DF	MS	F
Set	1	3.6113	3.59^{ns}
Row w/n set	6	3.1946	3.18*
Column w/n set	6	4.0930	4.07*
Treatment	3	4.7352	4.71*
Pooled Error	15	1.0056	

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 4.2.6 ตารางค่าเฉลี่ย ผลผลิตฝ้ายเป็นกิโลกรัม/34 ตารางเมตร ของการศึกษาหาฤดูปลูกที่เหมาะสมของต้นฝ้าย ปี 2519

วันที่ปลูก	กก./34 ม.^{2}	DMRT[1/]
10 มิถุนายน	5.84	ab
20 มิถุนายน	6.73	a
30 มิถุนายน	4.99	b
10 กรกฎาคม	5.26	b

[1/] ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สรุปผลการทดลอง พบว่า การปลูกฝ้ายวันที่ 20 มิถุนายน 2519 ให้ผลผลิตสูงสุดคือ 6.73 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 34 ตารางเมตร รองลงมา คือวันที่ 10 มิถุนายน 2519 แต่ผลผลิตทั้ง 2 ครั้งนี้ไม่แตกต่างกัน ฉะนั้นเวลาที่เหมาะในการปลูกฝ้าย ปี 2519 คือ ประมาณกลางเดือนมิถุนายน

กรมวิชาการเกษตร

การนำเสนอผลการทดลอง

ภารกิจที่สำคัญที่สุดที่นักวิจัยพึงกระทำแต่มักจะละเลยคือการรายงานผลการวิจัยของตนให้นักวิจัยอื่น ๆ ได้ใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตีพิมพ์ในวารสารฉบับใดฉบับหนึ่งเพื่อเผยแพร่ต่อไป

การเตรียมต้นฉบับสำหรับพิมพ์ในวารสารต่าง ๆ มีหลักการคล้ายคลึงกัน แต่รายละเอียดปลีกย่อยแตกต่างกันตามข้อกำหนดของวารสารนั้น ๆ สำหรับวารสารวิชาการเกษตรของกรมวิชาการเกษตร มีคำแนะนำซึ่งได้คัดลอกมาไว้ ณ ที่นี้ ดังต่อไปนี้

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

วารสารวิชาการเกษตร มีวัตถุประสงค์เพื่อพิมพ์เผยแพร่ความรู้และผลงานวิจัยทางด้านการเกษตรเรื่องที่จะลงพิมพ์ในวารสารฉบับนี้มี 4 ประเภท ได้แก่ ผลงานวิจัย (research papers) บทความรู้ทางวิชาการ (articles) จดหมายเหตุ (letters) และปัญหา (question box) ที่เกี่ยวกับวิชาการทางการเกษตร นักวิชาการทุกท่านสามารถส่งเรื่องลงพิมพ์ได้โดยไม่จำเป็นต้องเป็นสมาชิกหรือสังกัดกรมวิชาการเกษตร เรื่องที่จะลงพิมพ์ต้องเป็นเรื่องที่น่าสนใจ มีคุณค่า และเป็นประโยชน์แก่นักวิชาการ กสิกรและผู้สนใจทั่วไป เป็นเรื่องที่ไม่เคยตีพิมพ์หรือรอการตีพิมพ์ในวารสารฉบับอื่น

การเตรียมต้นฉบับ ต้นฉบับควรตีพิมพ์ดีด เว้นบรรทัดห่าง พิมพ์หน้าเดียว ความยาวของเรื่องประมาณ 5 – 15 หน้าพิมพ์ กระดาษสั้น และลำดับเรื่อง ดังนี้

1. ชื่อเรื่อง ไม่ยาวเกินไป แต่ครอบคลุมสาระทั้งเรื่อง ทั้งภาษาไทยและอังกฤษ
2. ชื่อผู้แต่ง ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน ทั้งภาษาไทยและอังกฤษ
3. บทคัดย่อ เป็นการสรุปสาระสำคัญของเรื่อง ความยาวไม่ควรเกิน 250 คำ ทั้งภาษาไทยและอังกฤษ
4. เนื้อหา สำหรับผลงานวิจัยควรประกอบด้วย

ก. คำนำ อธิบายถึงความสำคัญและเหตุผลที่ทำการวิจัย รวมทั้งการตรวจเอกสาร (literature review) และวัตถุประสงค์ การอ้างชื่อคนไทยในการตรวจเอกสารนี้ ให้ระบุชื่อต้นตามด้วยปี พ.ศ. (วิเชียร, 2507) ถ้าเป็นชาวต่างประเทศขึ้นต้นด้วยชื่อสกุล ตามด้วย ปี ค.ศ. (Kamprath, 1974) กรณีที่มีผู้เขียนตั้งแต่สามคนขึ้นไป ชื่อคนไทยให้ใช้คำว่า “และคณะ” ต่อท้ายชื่อต้นผู้แต่งคนแรก (วรพงษ์ และคณะ, 2509) ถ้าเป็นชาวต่างประเทศ ให้ใช้คำว่า “et al.” ต่อท้ายชื่อสกุลผู้แต่งคนแรก (Yuan et al., 1980)

ข. อุปกรณ์และวิธีการ อธิบายเป็นร้อยแก้วถึงอุปกรณ์และวิธีการที่ใช้ในการทดลอง

ค. ผลการทดลองและวิจารณ์ เขียนรวมหรือแยกกันก็ได้ ควรเรียงลำดับเนื้อหาสั้นกะทัดรัดควรเสนอในรูปตาราง กราฟ หรือภาพ การวิจารณ์ผลการทดลองเพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วย

กรมวิชาการเกษตร

ตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิมเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นตลอดจนข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาการวิจัยในอนาคต

ง. สรุปผลการทดลอง สรุปสาระสำคัญซึ่งไม่คลุมเครือ เน้นข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

จ. คำนิยม อาจจะมีหรือไม่ก็ได้ ถ้ามีควรขอบคุณเฉพาะผู้ที่ช่วยเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ฉ. เอกสารอ้างอิง ใช้ระบบชื่อและปี ชื่อคนไทยให้ขึ้นต้นด้วยชื่อต้น ตามด้วยชื่อสกุล และปี พ.ศ. (วิเชียร รัตนพฤกษ์. 2507.....) ชื่อชาวต่างประเทศขึ้นต้นด้วยชื่อสกุล ตามด้วยปี ค.ศ. (Blue W.G.1980.....) วิธีพิมพ์เอกสารอ้างอิง ให้เรียงเอกสารตามลำดับอักษรของชื่อผู้แต่ง นำด้วยเอกสารภาษาไทยตามด้วยเอกสารภาษาต่างประเทศ

รายละเอียดดูจากหนังสือ คู่มือการทำงานวิจัยของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2525[1/]

5. ภาพประกอบ ควรเป็นภาพขาวดำ ภาพสีใช้ในกรณีที่ต้องการให้สีของวัตถุที่ถ่ายเป็นสำคัญเขียนคำอธิบาย ภาพแยกจากรูปภาพ ส่วนภาพเขียน หรือกราฟ ควรเขียนด้วยหมึกดำบนกระดาษอาร์ต ตัวหนังสือควรเขียนด้วยเล็ตเตอร์เพรส ขนาดของภาพกะทัดรัด สะอาดตา และมีเครื่องหมายแสดงอย่างชัดเจน เนื้อหาในภาพจะไม่ซ้ำกับเนื้อหาที่ปรากฏในตาราง

การตรวจแก้ไข กองบรรณาธิการขอสงวนลิขสิทธิ์ในการตรวจแก้ไขเรื่องที่ส่งมาลงพิมพ์และอาจจะส่งเรื่องคืน มายังผู้เขียนให้เพิ่มเติมหรือพิมพ์ต้นฉบับใหม่แล้วแต่กรณี

ถ้าพิจารณาตามคำแนะนำสำหรับผู้เขียน ข้อ 4 ค. จะเห็นว่าเรื่องการนำเสนอผลการทดลองเป็นเรื่องสำคัญเรื่องหนึ่งที่นักวิจัยควรจะทราบเพื่อจะได้เลือกใช้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการนำเสนอผลที่เหมาะสมนั้น จะต้องให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจได้อย่างถูกต้องในเวลาน้อยที่สุดการนำเสนอผลมีรูปแบบต่าง ๆ หลายรูปแบบ เช่น เป็นตาราง เป็นรูปภาพ ดังละเอียดต่อไปนี้

1. การนำเสนอผลการทดลองเป็นตาราง

ปกติจะไม่มีการเสนอตารางวิเคราะห์วาเหรียนซ์ นอกจากจะมีการวิเคราะห์ที่มีลักษณะพิเศษเพิ่มเติมจากการวิเคราะห์แบบธรรมดา เช่น การศึกษา Trend Comparison หรือ group Comparison ตามโครงสร้างของทรีตเมนต์ ตารางที่มักเสนอได้แก่ตารางค่าเฉลี่ยพร้อมทั้งค่าสถิติสำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ และค่าความแปรปรวนของการทดลอง

ตารางที่เสนอจะต้องมีหัวตารางอธิบายจุดประสงค์ของตารางและแหล่งที่มาของข้อมูล นอกจากนี้ต้องมีหัวเรื่องกำกับทุกคอลัมน์ เพื่อแสดงประเภทและหน่วยของข้อมูล ส่วนสัญลักษณ์คำย่อหรือเครื่องหมายที่ปรากฏในตารางไม่เป็นที่รู้จักทั่วไป จะต้องอธิบายไว้ในตารางด้วย

[1/] เล่มล่าสุดพิมพ์เมื่อ พ.ศ. 2529

1.1 การทดลองปัจจัยเดียว

ตัวอย่าง

ตารางที่ 1 ผลผลิตของถั่วเหลืองสายพันธุ์ต่าง ๆ ปลูกที่สถานีทดลองพืชไร่ สกลนคร ธันวาคม 2523

สายพันธุ์	ผลผลิตเฉลี่ย[1/]	(กก./ไร่)
สายพันธุ์ 16 – 3	261	ab
16 – 4	248	ab
7206 – 2 – 4	278	a
11 – 4	268	ab
สจ 2	230	bc
สจ 4	190	c

C.V. (%) = 11.7

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่ต่างกันทางสถิติ ใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอย่างนี้มาจากแผนการทดลองแบบ RCB 4 ซ้ำ การเสนอผลอาจจะใช้อีกวิธีหนึ่งได้ ถ้ากำหนดว่า สจ 2 เป็นพันธุ์มาตรฐาน (Check) ที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับสายพันธุ์อื่น ๆ

ตารางที่ 2 ผลผลิตของถั่วเหลืองสายพันธุ์ต่าง ๆ ปลูกที่สถานีทดลองพืชไร่สกลนคร ธันวาคม 2523

สายพันธุ์	ผลผลิตเฉลี่ย[1/]	(กก./ไร่)
สายพันธุ์ 16 – 3	261	
16 – 4	248	
7206 – 2 – 4	278	
11 – 4	268	
สจ 4	190	
สจ 2 (Check)	230	

C.V. (%) = 11.7

$LSD_{.05}$ = 44 กก./ไร่

กรมวิชาการเกษตร

1.2 การทดลองหลายปัจจัย

ตัวอย่าง

ตารางที่ 1 ผลผลิตของข้าวสองพันธุ์ที่ปลูกในระยะเวลาต่าง ๆ กันในฤดูแล้ง 2524 จังหวัดแพร่

เวลาปักดำ	ผลผลิต กก.ไร่		ค่าแตกต่าง[2/]
	กข[1/]	BKN 6625[1/]	
25 พ.ย. 23	313 c	402 b	89*
10 ธ.ค. 23	353 c	461 b	108**
25 ธ.ค. 23	306 c	457 b	151**
9 ม.ค. 24	487 b	577 a	90*
26 ม.ค. 24	581 a	540 a	41[ns]
10 ก.พ. 24	514 ab	547 a	33[ns]

C.V. (%) = 9.8

1/ ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแต่ละพันธุ์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2/ ** แตกต่างกันโดยเทียบกับ $LSD_{.01}$ * แตกต่างกันโดยเทียบกับ $LSD_{.05}$ ns ไม่ต่างกันทางสถิติ

ตารางนี้มาจากการศึกษาช่วงระยะเวลาปลูกข้าวสำหรับนาปรัง ในท้องที่ ๆ มีสภาพหนาวเย็นภาคเหนือ โดยใช้แผนการทดลองแบบ RCB 3 ซ้ำ และ Interaction ระหว่างเวลาปลูกและพันธุ์มีนัยสำคัญทางสถิติ การทำตารางที่เสนอพร้อมค่าแตกต่างนี้ทำได้เมื่อปัจจัยหนึ่งมีเพียง 2 ระดับ ถ้ามีมากกว่า 2 ระดับ จะไม่นิยมทำ

ตารางที่ 2 ผลผลิตของข้าวสามสายพันธุ์ที่มีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนรองพื้นและระยะกำเนิดช่อดอกด้วยอัตราต่างกัน สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี ฤดูนาปี 2516

ไนโตรเจน (กก./ไร่)		ผลผลิต (กก./ไร่)		
รองพื้น	กำเนิดช่อดอก	ดอกมะลิ 105	กข 5	เหลืองประทิว 123
6	0	570	564	557
4	2	637	633	625
3	3	551	589	589
2	4	570	580	625
0	6	648	673	702

การเปรียบเทียบผลผลิตของพันธุ์เดียวกันแต่ใช้วิธีใส่ปุ๋ยต่างกัน $LSD_{.05}$ = 89 กก./ไร่

ตารางที่ 2 นี้ตัดตอนมาจากบางส่วนของการทดลองการแบ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสองระดับกับข้าวสามสายพันธุ์ ที่สถานีทดลองข้าวสุพรรณบุรี นาปี 2516

กรมวิชาการเกษตร

2. การนำเสนอผลเป็นรูปกราฟ

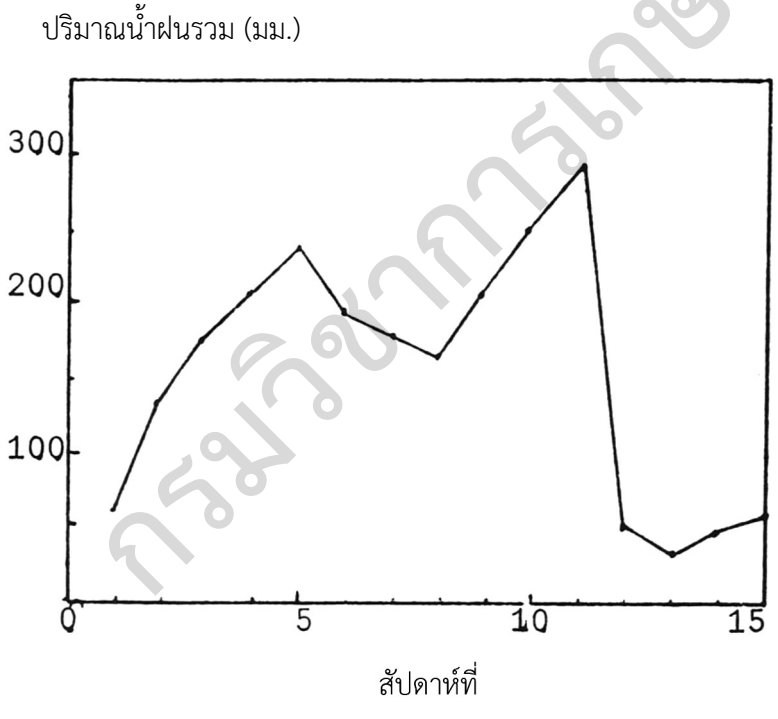
นิยมใช้เมื่อตัวแปรเป็นลักษณะปริมาณ เช่น การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนของพืชชนิดใดชนิดหนึ่ง การนำเสนอนี้อาจจะเป็นเพียงการโยงเส้นจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งหรือเป็นเส้นของสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในแกนนอน (X) การตอบสนองในแกนตั้ง (Y) ก็ได้ ข้อควรระวังในการนำเสนอผลด้วยกราฟ คือ

1) มาตราส่วนบนแกนทั้งสองอาจจะไม่เท่ากันก็ได้ แต่ต้องไม่ต่างกันจนกลายเป็นเจตนาให้ผู้ดูเข้าใจผิดหรือแปลผลผลิต

2) แกนตั้งและแกนนอนไม่จำเป็นต้องเริ่มจากจุดศูนย์

3) ในกราฟรูปหนึ่ง ๆ ไม่ควรมีเส้นกราฟเกิน 4 เส้น และควรมีเครื่องหมายกำกับให้เห็นชัดเจน

2.1 ข้อมูลสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนตามเวลา

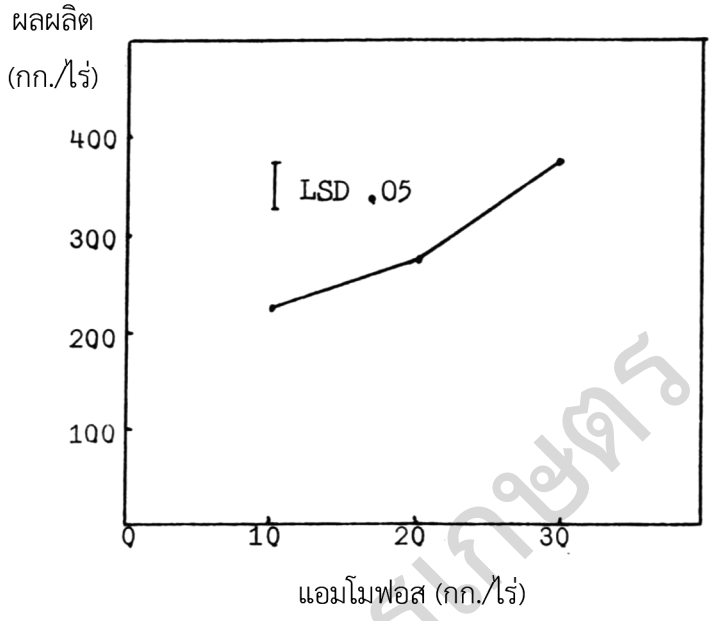


ภาพที่ 1 ปริมาณน้ำฝนรวมเป็นรายสัปดาห์นับจากเริ่มต้นการทดลอง สถานีทดลองข้าวพิมาย 2523

กรมวิชาการเกษตร

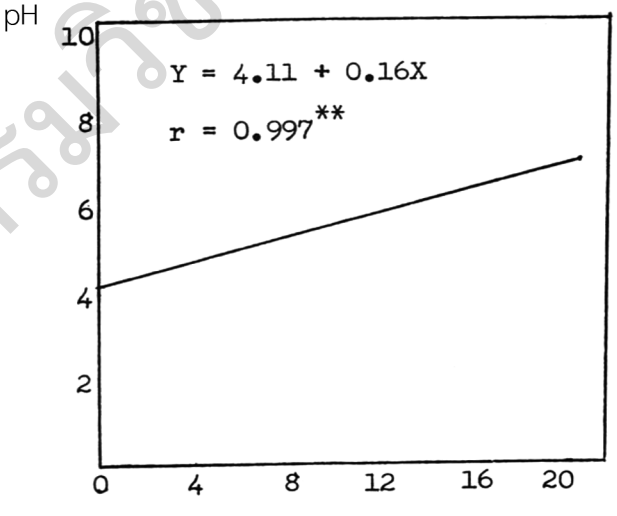
2.2 การทดลองปัจจัยเดียว

ในกรณีที่ไม่สามารถทำเป็นสมการได้เนื่องจากมีจำนวนทรีตเมนต์น้อย อาจจะเสนอในรูปกราฟโดยใช้การลากเส้นต่อจุดและมีค่าทางสถิติ สำหรับเปรียบเทียบทรีตเมนต์ด้วยเช่น



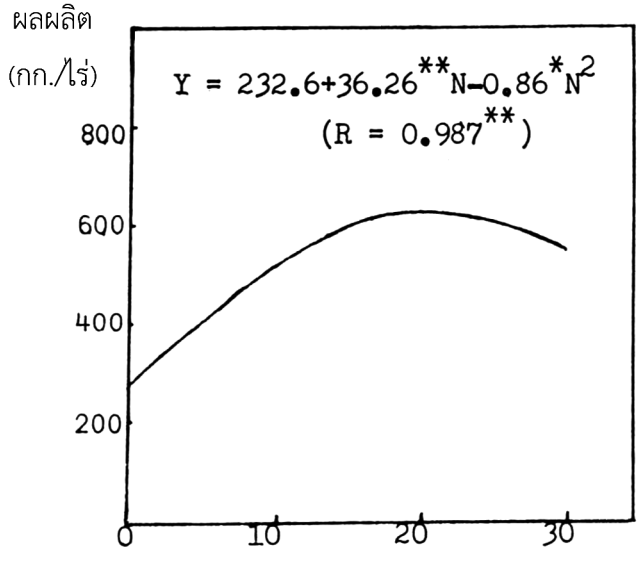
ภาพที่ 1 การตอบสนองต่อปุ๋ยแอมโมฟอสของข้าวพันธุ์ กข 7 สถานีทดลองข้าวรังสิต ฤดูนาปี 2517

ถ้าจำนวนทรีตเมนต์มีมากพอและสามารถคำนวณสมการได้ (ดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3)



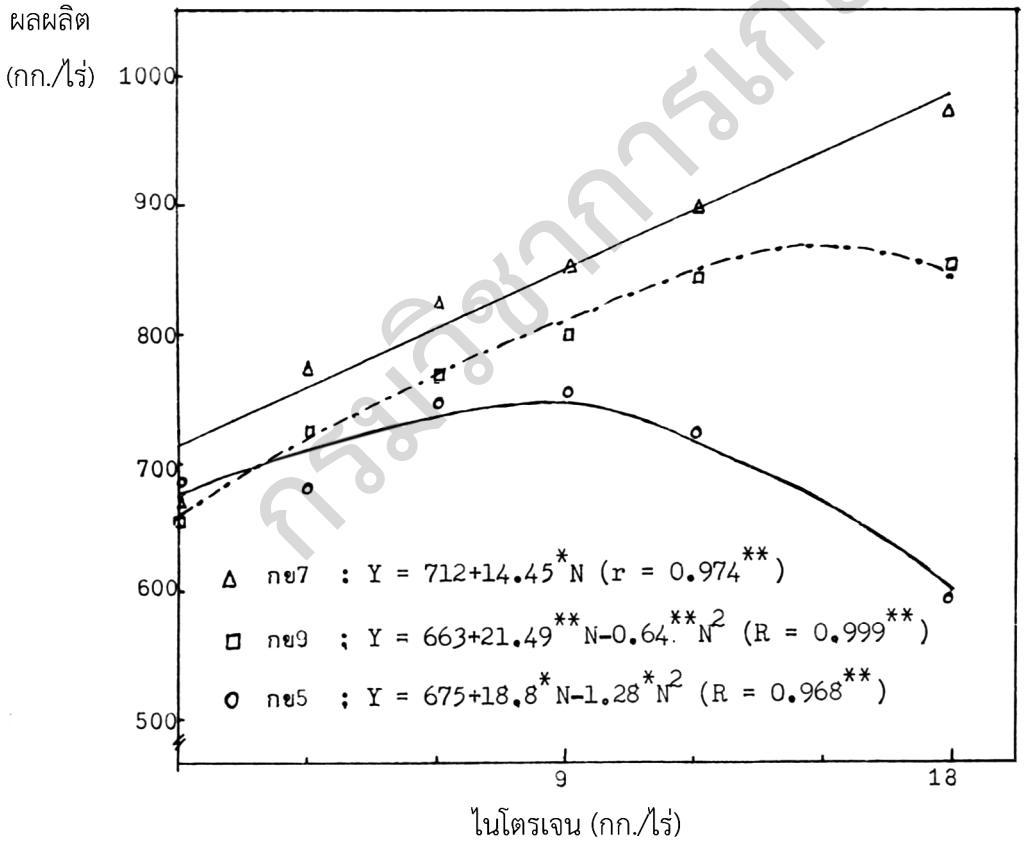
ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปูนขาวที่ใส่ และ pH ของดินชุดองครักษ์นาปี 2522

กรมวิชาการเกษตร



ภาพที่ 3 การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนของข้าวพันธุ์ กข 2 ปลูกในดินชุดลำปางฤดูนาปี 2522

2.3 การทดลองหลายปัจจัย



ภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและปุ๋ยในโตรเจนของข้าว กข 5 กข 7 และ กข 9 สถานีทดลองข้าวชัยนาท 2519

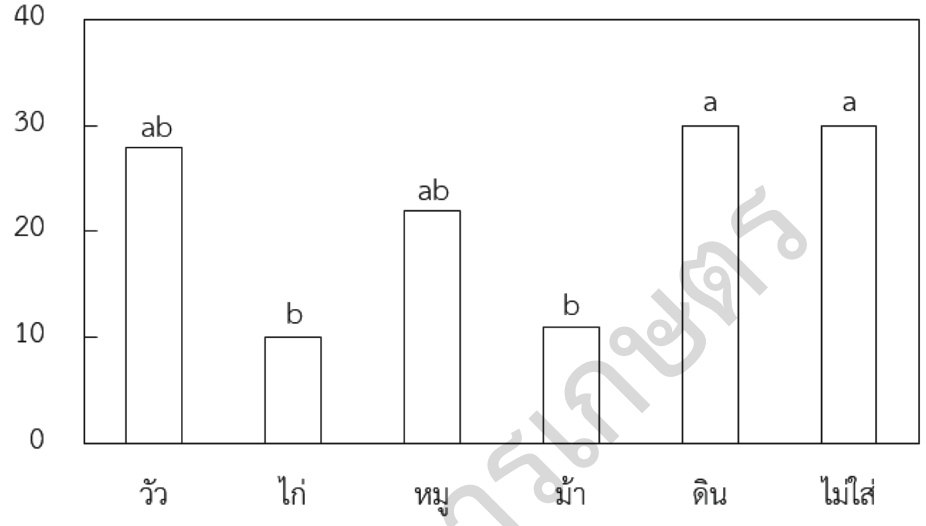
ภาพนี้ได้จากการทดลองที่วางแผนแบบ Split plot และ Interaction ระหว่างพันธุ์กับปุ๋ยมีนัยสำคัญทางสถิติ

กรมวิชาการเกษตร

3. การนำเสนอในแบบรูปภาพ

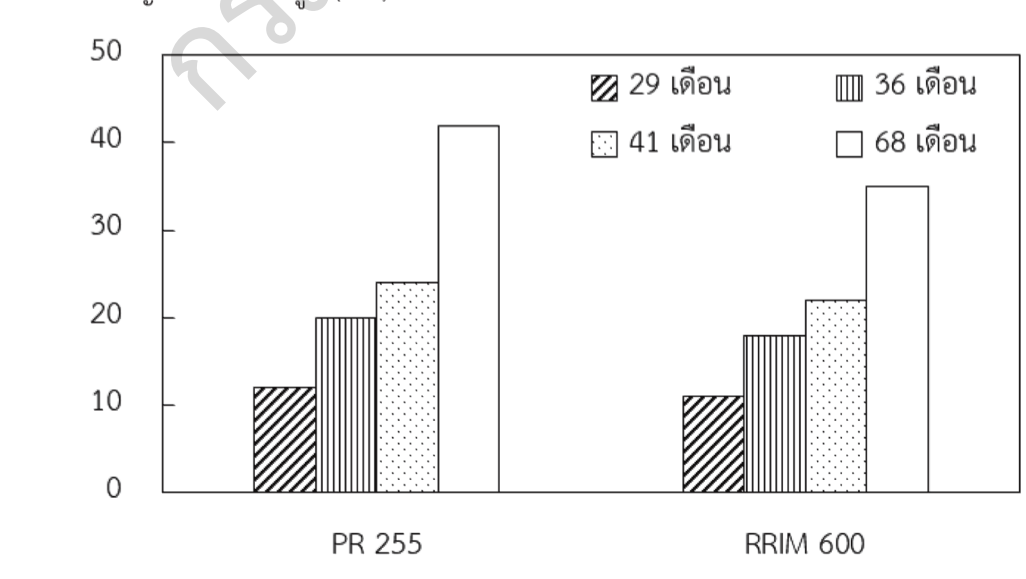
อาจจะเสนอเป็นแผนภูมิแท่ง แผนภูมิวงกลมหรือภาพลายเส้นภาพถ่ายแล้วแต่ความต้องการของผู้เสนอผลงาน

3.1 แผนภูมิแท่ง (Bar Chart) เหมาะสำหรับใช้กับข้อมูลที่ตัวแปรเป็นเชิงคุณภาพ (Qualitative) อาจจะมีค่าทดสอบทางสถิติกำกับในแผนภูมิแท่งก็ได้ เช่น



ภาพที่ 1 เปรียบเทียบการใช้มูลสัตว์เป็นอาหารเสริมที่เหมาะสมต่อการเพาะเห็ดฝาง ศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย 2527

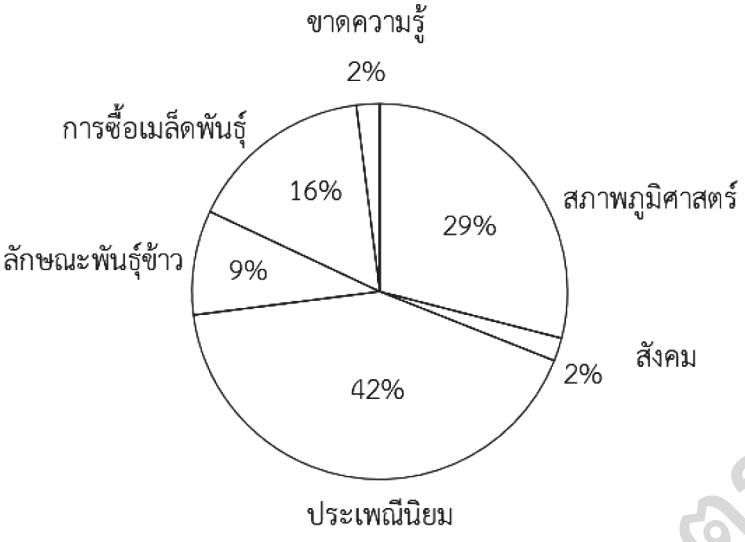
ถ้าต้องการแสดงให้เห็นความแตกต่างของทรีตเมนท์ที่มีความเกี่ยวข้องกับเวลาด้วย ก็อาจจะทำได้โดยใช้สัญลักษณ์ต่างกัน ดังนี้



ภาพที่ 2 แสดงค่าความเจริญเติบโตของพันธุ์ยางพาราสองพันธุ์เมื่ออายุต่าง ๆ กัน

กรมวิชาการเกษตร

3.2 แผนภูมิวงกลม เป็นการเสนอผลงานโดยใช้พื้นที่วงกลม แบ่งออกเป็นส่วนย่อย ๆ ตามจำนวนของข้อมูล และต้องแปลงข้อมูลให้เป็นร้อยละเสียก่อน ดังรูป



ภาพที่ 1 แสดงความคิดเห็นของชาวนาภาคกลางที่ไม่ปลูกข้าว กข ปี 2519/2520

จะเห็นได้ว่าการนำเสนอผลงานทดลองมีได้หลายรูปแบบ แต่ละรูปแบบมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ซึ่งผู้วิจัยจะต้องพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการ การเสนอผลการทดลองที่ดีต้องทำให้ผู้อ่านเข้าใจได้ถูกต้องและไม่อาศัยเทคนิคต่าง ๆ บิดเบือนข้อเท็จจริงตามที่ผู้วิจัยต้องการ

กรมวิชาการเกษตร

เอกสารอ้างอิง

จรัญ จันทลักขณา. (2519). สถิติวิธีวิเคราะห์และวางแผนงานวิจัย. ไทยวัฒนาพานิช.

จรัญ จันทลักขณา และกฤษณา เพชรรัตน์. (ม.ป.ป.). เอกสารประกอบคำบรรยายหลักการวางแผนงานทดลอง.

ฝ่ายวิเคราะห์ทางสถิติ, กองแผนงานและวิชาการ. (2529). บทคัดย่อผลงานค้นคว้าวิจัย. บางกอกสาส์น, กรุงเทพมหานคร.

สง่า ดวงรัตน์. (2509). ผลเสียของการแก่งแย่งที่เกิดขึ้นระหว่างกอข้าวท้ายและแถวริมในแปลงทดลองข้าว. รายงานการประชุมทางวิชาการเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 5: สาขาพืชและชีววิทยา สาขาสัตว์ และสาขาเศรษฐศาสตร์เกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สง่า ดวงรัตน์. (2524). เอกสารประกอบในการฝึกอบรม หลักสูตร การใช้เทคนิคทางสถิติในการดำเนินงานทดลอง. ดำเนินงานโดยฝ่ายวิเคราะห์ทางสถิติ กองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตร.

สง่า ดวงรัตน์, จันทนา สรสิริ และเสาวนีย์ พิสิฏฐพันธ์. (2518). การศึกษาเกี่ยวกับการประเมินผลผลิตในข้าวนาหว่าน. ทะเบียนวิจัย ปี 2516 – 2518. กองแผนงาน.

สง่า ดวงรัตน์, สุชาวดี นาคะทัต, เสาวนีย์ พิสิฏฐพันธ์ และจันทนา สรสิริ. (2517). การศึกษาเกี่ยวกับการสุ่มเลือกเพื่อวัดผลเสียหายเนื่องจากบั่ว. ทะเบียนวิจัยปี 2517. กองแผนงาน.

สง่า ดวงรัตน์, เสาวนีย์ พิสิฏฐพันธ์ และสุชาวดี นาคะทัต. (2519). การประเมินผลผลิตข้าวนาดำในนาราษฎร์. ทะเบียนวิจัยปี 2519. กองแผนงาน.

สง่า ดวงรัตน์ และสุทธีราภรณ์ สิริสิงห์. (2518). การศึกษาหาขนาดและรูปร่างแปลงทดลองที่เหมาะสมของข้าวโพด. ทะเบียนวิจัยปี 2518. กองแผนงาน.

สง่า ดวงรัตน์ และสุทธีราภรณ์ สิริสิงห์. (2520). การศึกษาหาขนาดและรูปร่างแปลงทดลองที่เหมาะสมของมันสำปะหลัง. ทะเบียนวิจัยปี 2520. กองแผนงาน.

สง่า ดวงรัตน์ และสุนันทา เวสอุรัย. (2517). การศึกษาหาขนาดและรูปร่างแปลงทดลองที่เหมาะสมของฝ้าย. ทะเบียนวิจัยปี 2517. กองแผนงาน.

เสาวนีย์ พิสิฏฐพันธ์. (2526). เอกสารประกอบคำบรรยายหลักสูตร การฝึกอบรมเรื่องดินและปุ๋ย. ดำเนินงานโดยฝ่ายวิเคราะห์ทางสถิติ กองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตร.

เอกสารประกอบในการฝึกอบรม หลักสูตร การวางแผนงานทดลองไม้ยืนต้น. (2530). ดำเนินงานโดยฝ่ายวิเคราะห์ทางสถิติ กองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตร.

Analysis of Data From Agricultural Adaptation Experiments. (1989). Field Croup Research Centers, Suphanburi and Chieng – mai. ACNARP, Kasetsart University.

Arnon, I. (1966). Guide to Field Experimentation. Tel Aviv; Foreign Training Department, Agricultural Extension and Production Services, 113pp.

Cochran, W.G. and G.M. Cox. (1957). Experimental Designs. (2nd E.d.) John Wiley and Sons, Inc. New York. 611pp.

Duangratana, S. and Gomez, K.A. (1971). Plot size and shape for rice field Experiments in Thailand. Thai J. Agr. Sci.

สถิติการเกษตร

Duangratana, S. and Gomez, K.A. (1973). Sampling technique for determining yield components of rice in Thailand. Thai J. Agr. Sci.

Duangratana, S. and Gomez, K.A. (1974). Sampling for plant height and panicle number in replicated rice trial in Thailand. Thai J. Agr. Sci.

Gomez, K.A. (1972). Techniques for Field Experiments With Rice. Los Banos: The International Rice Research Institute, Philippines.

Gomez, K.A. (1974). Experimental techniques in Entomology, Paper Presented at IRRI.

Gomez, K.A. and Duangratana, S. (1973). Residual Effects of unplanted alleys in rice experimental field.

Gomez, K.A. and Gomez, A.A. (1984). Statistical Procedures For Agricultural Research Institute Book. A Wiley Interscience Publication, John Wiley and Sons, New york.

Leclerg, L.E. Leonard, W.H. and Clark, A.G. (1966). Field Plot Technique. (2nd E.d.) Burgess. Minnesota.

Sutjihno and Gomez, K.A. (1968). Analysis of Experimental Data from Several Locations and Season. (Reprinted form the Philippines Agriculturist, Journal of the College of Agriculture and Central Experiment Stations. University of the Philippines. Vol. 4, 1986)

กรมวิชาการเกษตร

ผู้จัดทำ

ข้อมูลที่มีปัญหา	สุชาวดี นาคะทัต
	วิจิตรา พลเยี่ยม
การใช้เทคนิคทางสถิติในการดำเนินงานทดลอง	สง่า ดวงรัตน์
เทคนิคการเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูล	สุชาวดี นาคะทัต
การวิเคราะห์รวม	สุชาวดี นาคะทัต
การนำเสนอผลการทดลอง	เสาวนีย์ พิสิฏฐพันธ์

กรมวิชาการเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
เลขที่ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
www.doa.go.th