



หลักและเทคนิคการวางแผนการทดลอง ทางพืชศาสตร์

Principles and Techniques for Planning Experiments
in Plant Science



นิตยา ผกามาศ
ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



หลักและเทคนิคการวางแผนการทดลองทางพืชศาสตร์
Principles and Techniques for Planning Experiments
in Plant Science

นิตยา ผกามาศ

ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หลักและเทคนิคการวางแผนการทดลองทางพืชศาสตร์

Principles and Techniques for Planning

Experiments in Plant Science

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

นิตยา ผกามาศ.

หลักและเทคนิคการวางแผนการทดลองทางพืชศาสตร์.—กรุงเทพฯ : 2568.

364 หน้า.

ISBN (e-book) 978-616-629-640-2

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

All right reserved and do not copy, excerpt, print and distribute.

พิมพ์ครั้งที่ 1

ราคา 300 บาท

จัดพิมพ์โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิตยา ผกามาศ

ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำนำ

ตำรา “หลักและเทคนิคการวางแผนการทดลองทางพืชศาสตร์ (Principles and Techniques for Planning Experiments in Plant Science)” เล่มนี้เขียนขึ้นมาเพื่อใช้ประกอบการเรียนในรายวิชา 04026112 การวางแผนการทดลองทางพืชศาสตร์ (ระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 3 หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเกษตรศาสตร์) รายวิชา 04006006 การวางแผนทดลองทางการเกษตร (ระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 3 หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช) ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเนื้อหาของตำราเล่มนี้เน้นเนื้อหาภาคทฤษฎีเพื่อใช้สอนบรรยาย ประกอบด้วยหลักการวางแผนการทดลองและการนำเสนอเทคนิคด้านต่าง ๆ ตั้งแต่ขั้นตอนการวางแผนการทดลอง การดำเนินการทดลอง การวิเคราะห์และการนำเสนอข้อมูลงานทดลอง สำหรับแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการเขียนตำราเล่มนี้เกิดจากการตรวจอ่านเนื้อหาทฤษฎีจากบทความวิจัย ตำรา และหนังสือทางด้านสถิติทั้งในและต่างประเทศ ตัวอย่างภาพทั้งหมดในเล่มมาจากภาพถ่ายงานวิจัยของผู้เขียนและลูกศิษย์ ข้อมูลตัวเลขในแต่ละแผนการทดลองเป็นข้อมูลจากงานวิจัยของผู้เขียน งานวิจัยของลูกศิษย์ทั้งในระดับปริญญาตรีและปริญญาโท ซึ่งการรวบรวมเอาข้อมูลหรือเทคนิคต่าง ๆ ที่สังเกตได้จากประสบการณ์สอนมากกว่า 10 ปี มาถ่ายทอดผ่านตำราเล่มนี้ เพื่อหวังให้ผู้อ่านนำไปปรับใช้ให้เกิดประโยชน์ในการวางแผนงานทดลองและออกแบบงานวิจัย

ผู้เขียนขอขอบคุณ ผศ.ดร.ช่อแก้ว อนิลบล ที่อนุเคราะห์รูปภาพจากงานทดลอง ขอขอบคุณลูกศิษย์ทั้งบัณฑิตและมหาบัณฑิตทุกท่านสำหรับข้อมูลตัวเลขและรูปภาพ ที่ส่วนใหญ่นำมาใช้ประกอบในการเขียนตำราเล่มนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณอย่างยิ่งสำหรับ ดร.พรเพ็ญ สมจิตร นักวิชาการส่งเสริมการเกษตรปฏิบัติการ สำนักงานเกษตรจังหวัดฉะเชิงเทรา กรมส่งเสริมการเกษตร ที่ช่วยเหลือเรื่องการจัดรูปเล่มและตรวจอ่านต้นฉบับ ซึ่งผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าตำราเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจไม่มากนักน้อย อนึ่งหากเนื้อหาในตำราเล่มนี้มีข้อบกพร่องประการใดผู้เขียนขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว และยินดีรับฟังคำติชม เพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไขในโอกาสต่อไป

นิตยา ผกามาศ

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 การวิจัยและหลักพื้นฐานในการวางแผนการทดลอง.....	1
1. ทรีตเมนต์ (treatment) และหน่วยทดลอง (experimental unit).....	2
2. ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (experimental error).....	3
3. การทำซ้ำ (replication).....	5
4. การสุ่ม (randomization).....	6
5. การควบคุมความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (error control).....	6
6. บรรณานุกรม.....	9
บทที่ 2 ขั้นตอนในการวางแผนการทดลอง.....	11
1. การศึกษาปัญหาและวิเคราะห์ปัญหา.....	11
2. การตั้งวัตถุประสงค์.....	11
3. การเลือกทรีตเมนต์.....	12
4. การเลือกวัตถุทดลอง.....	12
5. การเลือกขนาดของการทดลอง.....	12
6. การเลือกเทคนิคและวิธีการทดลอง.....	13
7. การเลือกแผนการทดลอง.....	13
8. การกำหนดลักษณะที่ทำการศึกษาในแผนการทดลอง.....	14
9. การทำการทดลอง.....	14
9.1 การเลือกพื้นที่ปลูกทดลอง.....	15
9.2 การเลือกแผนการทดลองและการสุ่มเพื่อวางทรีตเมนต์ลงในแปลงย่อย (plot).....	16
9.3 การวางผังแปลง.....	18
9.4 การวัดขนาดแปลงทดลอง.....	21
9.5 การทำสมุดบันทึกผลการทดลองหรือสมุดแปลง (Field book).....	23
10. การเก็บข้อมูล.....	24
11. การวิเคราะห์ข้อมูล.....	25
12. การสรุปผลการทดลอง.....	25
13. บรรณานุกรม.....	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD).....	27
1. การสุ่ม (randomization).....	27
2. แผนผังการทดลอง (layout).....	33
3. สัญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อมูล.....	34
4. ตารางแจกแจงข้อมูล.....	34
5. การเตรียมข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	36
6. การวิเคราะห์ข้อมูล.....	37
7. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย.....	41
7.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least significant difference (LSD).....	41
7.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT).....	45
7.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's W-Procedure.....	49
7.4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์กับทรีตเมนต์ควบคุม (control).....	52
8. การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับแผนการทดลองแบบ CRD กรณีที่มีจำนวนซ้ำไม่เท่ากัน.....	54
9. Model สำหรับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาโดยใช้แผนการทดลองแบบ CRD.....	63
10. Expected Mean Squares (EMS).....	64
11. ข้อดีและข้อจำกัดของแผนการทดลองแบบ CRD.....	65
12. บรรณานุกรม.....	66
บทที่ 4 แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD).....	67
1. การสุ่ม (randomization).....	67
2. สัญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อมูล.....	69
3. ตารางแจกแจงข้อมูล.....	70
4. การวิเคราะห์ข้อมูล.....	71
5. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย.....	76
6. การเปรียบเทียบแบบออร์โธโกนอล (orthogonal comparison).....	80
7. Model สำหรับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาโดยใช้แผนการทดลองแบบ RCBD.....	87
8. Expected Mean Squares (EMS).....	88
9. ข้อดีและข้อจำกัดของแผนการทดลองแบบ RCBD.....	88
10. บรรณานุกรม.....	89

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 แผนการทดลองแบบ Latin Square Design (LS).....	91
1. การสุ่มและแผนผังการทดลอง.....	91
2. สัญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อมูล.....	95
3. ตารางแจกแจงข้อมูล.....	95
4. การวิเคราะห์ข้อมูล.....	96
5. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย.....	100
6. Model สำหรับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาโดยใช้แผนการทดลองแบบ LS.....	102
7. Expected Mean Squares (EMS)	102
8. ข้อดีและข้อจำกัดของแผนการทดลองแบบ LS.....	103
9. บรรณานุกรม.....	103
บทที่ 6 การศึกษาแบบ Factorial.....	105
1. สัญลักษณ์และคำจำกัดความ.....	105
2. ปฏิกริยาสัมพันธ์ (interaction).....	106
3. การเรียกชื่อ Factorial experiment แบบต่าง ๆ	109
4. การสุ่มและการวางแผนงานทดลอง.....	110
5. รูปแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	111
6. ตารางแจกแจงข้อมูล.....	114
7. การวิเคราะห์ข้อมูล.....	115
8. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสำหรับ Factorial experiment.....	122
9. Model ของการศึกษาแบบ Factorial.....	123
10. Expected Mean Squares (EMS).....	124
11. ข้อดีและข้อจำกัดของการศึกษาแบบ Factorial.....	128
12. บรรณานุกรม.....	128
บทที่ 7 แผนการทดลองแบบ Split-plot Design.....	131
1. การสุ่มและแผนผังการทดลอง.....	132
2. รูปแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	135
3. ตารางแจกแจงข้อมูล.....	138
4. การวิเคราะห์ข้อมูล.....	139

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสำหรับ Split-plot Design	145
6. Model สำหรับแผนการทดลองแบบ Split-plot Design.....	147
7. Expected Mean Squares (EMS)	148
8. ข้อดีและข้อจำกัดของแผนการทดลองแบบ Split-plot Design.....	149
9. บรรณานุกรม.....	149
บทที่ 8 ข้อมูลที่มีปัญหา.....	151
1. ข้อมูลสูญหาย (missing data).....	151
1.1 สาเหตุที่ทำให้ข้อมูลสูญหาย.....	151
1.2 การประมาณค่าข้อมูลสูญหาย.....	153
2. ข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (assumption) ของ Analysis of variance.....	193
3. การแปลงข้อมูล (data transformation)	197
3.1 การแปลงข้อมูลแบบลอการิทึม (logarithmic transformation).....	197
3.2 การแปลงข้อมูลแบบรากที่สอง (square root transformation).....	202
3.3 การแปลงข้อมูลแบบอาร์คซายน์ (arcsine transformation).....	205
4. การแบ่งแยก Error (error partitioning).....	208
5. บรรณานุกรม.....	213
บทที่ 9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์.....	215
1. ความหมายของสมการถดถอย (regression) และสหสัมพันธ์ (correlation)....	215
2. ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีลักษณะเป็นสมการเส้นตรง (linear relationship).	216
3. การวิเคราะห์สมการถดถอยเส้นตรงอย่างง่าย (simple linear regression).....	217
4. การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุ (multiple regression analysis).....	225
5. การตรวจสอบหาสหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation).....	232
6. บรรณานุกรม.....	239
บทที่ 10 การวิเคราะห์โควาเรียนซ์ (Analysis of covariance).....	241
1. การวิเคราะห์โควาเรียนซ์ของแผนการทดลองแบบ CRD	241
2. ประโยชน์ของการวิเคราะห์โควาเรียนซ์	251
3. การวิเคราะห์โควาเรียนซ์ของแผนการทดลองแบบ RCBD.....	251

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. การวิเคราะห์ความเรียงของแผนการทดลองแบบ Latin Square.....	261
5. การวิเคราะห์ความเรียงของการศึกษาแบบ Factorial.....	273
6. การวิเคราะห์ความเรียงของแผนการทดลองแบบ Split-plot.....	288
7. บรรณานุกรม.....	309
บทที่ 11 การเสนอผลการทดลอง.....	311
1. ข้อมูลที่อธิบายเกี่ยวกับสถานที่และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	311
2. ข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล.....	313
3. การเผยแพร่ผลงานวิจัย.....	326
4. บรรณานุกรม.....	327
ภาคผนวก.....	329
ตารางภาคผนวกที่ 1 ตารางเลขสุ่ม.....	330
ตารางภาคผนวกที่ 2 ตารางแจกแจง F ระดับนัยสำคัญ .05.....	333
ตารางภาคผนวกที่ 3 ตารางแจกแจง F ระดับนัยสำคัญ .01.....	337
ตารางภาคผนวกที่ 4 ตารางแจกแจง T	341
ตารางภาคผนวกที่ 5 Significant Studentized Ranges (SSR) สำหรับ 5 % และ 1 %	345
ตารางภาคผนวกที่ 6 Percentage Point of The Studentized Ranges Statistic ระดับนัยสำคัญ .05	348
ตารางภาคผนวกที่ 7 Percentage Point of The Studentized Ranges Statistic ระดับนัยสำคัญ .01	350
ตารางภาคผนวกที่ 8 ค่าวิกฤตของดัชนีสหสัมพันธ์แบบสองหาง ที่ระดับนัยสำคัญ .05 และ .01	352
ตารางภาคผนวกที่ 9 การแปลงข้อมูลแบบอาร์คซายน์.....	354
ตารางภาคผนวกที่ 10 ตารางทดสอบค่าสหสัมพันธ์ (Simple linear correlation coefficients).....	358
ดัชนี.....	359

บทที่ 1

การวิจัยและหลักพื้นฐานในการวางแผนการทดลอง

การวิจัย หมายถึง กระบวนการแสวงหาความรู้จากปัญหาที่ชัดเจนอย่างมีระบบ และมีจุดมุ่งหมายที่แน่นอน โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้ความจริงในสิ่งที่วิจัยนั้น ๆ เพื่อที่จะนำมาแก้ปัญหา หรือตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพ (สนั่น, 2535)

การทดลอง หมายถึง การแสวงหาคำตอบที่มีการวางแผนไว้ (planned inquiry) เพื่อค้นหาความจริงใหม่ ๆ หรือทดสอบผลที่ได้ทำมาแล้วว่าเป็นจริงหรือไม่ (อารันต์, 2528)

สำหรับงานวิจัยทางด้านการเกษตรมีการนำเอาหลักการทางสถิติมาช่วยในการวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งขั้นตอนการวางแผนการทดลองทางการเกษตรนับว่ามีความสำคัญมาก เพราะหากมีการวางแผนการทดลองที่ดีและเลือกใช้แผนการทดลองที่ถูกต้องเหมาะสม ตรงตามปัจจัยที่ต้องการศึกษา จะสามารถช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดความคลาดเคลื่อนของงานทดลอง ทำให้สามารถดำเนินการวิจัยให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้ สำหรับการวางแผนการทดลองทางการเกษตรนั้นมีหลักการและขั้นตอนการดำเนินงานหลายขั้นตอน ซึ่งบ่อยครั้งที่ผู้ดำเนินการวิจัยทำงานวิจัยโดยขาดการวางแผนอย่างรอบคอบ ทำให้ในระหว่างดำเนินการวิจัยอาจพบกับปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ได้ หรือเมื่อดำเนินการวิจัยเสร็จสิ้นแล้ว ข้อมูลตัวเลขที่ได้มาก็ไม่รู้จะวิเคราะห์ผลอย่างไร ซึ่งหากทำงานวิจัยมาจนถึงขั้นตอนนี้ก็ไม่สามารถแก้ไขอะไรได้แล้ว ดังนั้น การวางแผนการทดลองจึงมีความสำคัญมาก ซึ่งรายละเอียดของการวางแผนการทดลองจะเริ่มตั้งแต่การกำหนดแนวทางในการศึกษาวิจัย การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ แผนการทดลองที่จะนำมาใช้ วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลผล ตลอดจนการคาดการณ์ถึงปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการทำงานไว้ล่วงหน้า เป็นต้น

แผนการทดลองเป็นแผนการทั่วไปของการทดลองซึ่งเกี่ยวข้องกับจำนวนและการจัดการตัวแปรอิสระ รวมทั้งการสุ่มหรือเลือกตัวอย่างและการกำหนดเงื่อนไขในการทดลองเพื่อควบคุมหรือป้องกันความคลาดเคลื่อนที่จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการทดลอง แผนการทดลองมีหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมต่อปัญหาที่จะศึกษาทดลองแตกต่างกัน แผนการทดลองที่ดีจะต้องดำเนินการทดลองได้ง่ายและให้คำตอบที่ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการศึกษา (พิศมัย, 2550) พื้นฐานสำคัญสิ่งแรกที่ผู้วิจัยควรทำความเข้าใจคือ คำศัพท์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการทดลองทางการเกษตร เพราะความเข้าใจดังกล่าวยังจะช่วยให้นักวิจัยมองภาพแผนการทำงานไปข้างหน้า เพื่อช่วยในการตัดสินใจหรือพิจารณาเลือกกำหนดสิ่งต่าง ๆ เหล่านั้นให้เหมาะสมกับการทำงานทดลองภายใต้ทรัพยากร เวลา และงบประมาณที่มีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งคำศัพท์ต่าง ๆ ที่ควรทำความเข้าใจมีดังนี้

1. ทรีตเมนต์ (treatment) และ หน่วยทดลอง (experimental unit)

1.1 ทรีตเมนต์ หมายถึง สิ่งหรือวิธีการที่ผู้ทดลองนำมาวัดอิทธิพลและเปรียบเทียบกัน เช่น นักวิจัยต้องการเปรียบเทียบผลของการไม่ใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยมูลไก่ การใส่ปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยมูลไก่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวญี่ปุ่น (Phopaijit et al., 2022) จากตัวอย่างงานวิจัยนี้แสดงว่าชนิดของปุ๋ยจำนวน 3 ชนิด คือสิ่งที่นักวิจัยต้องการนำมาเปรียบเทียบ ผลที่จะเกิดขึ้นว่าเมื่อใส่ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ เหล่านี้ลงไปแล้วปุ๋ยชนิดใดจะทำให้ข้าวญี่ปุ่นมีการเจริญเติบโต ดีและให้ผลผลิตสูงที่สุด และตามหลักการทำงานทดลองควรจะต้องมีทรีตเมนต์ควบคุม (control) อีกหนึ่งชนิดก็คือการไม่ใส่ปุ๋ยมาเป็นตัวเปรียบเทียบ เพื่อให้สามารถอธิบายผลได้เชิงประจักษ์มากขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้แทนที่จะเรียกว่ามี 3 ทรีตเมนต์ ก็จะกลายเป็น 4 ทรีตเมนต์

สำหรับตัวอย่างการเปรียบเทียบวิธีการ เช่น Phakamas and Yampracha (2018) ศึกษา อิทธิพลของการใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยคอกมูลวัวต่อการให้ผลผลิตของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 โดยใส่ตามคำแนะนำของกรมปศุสัตว์ เปรียบเทียบกับการใส่ตามค่าวิเคราะห์ดิน ซึ่งทรีตเมนต์ของการศึกษานี้ก็คือการใส่ปุ๋ย 3 ชนิดตามคำแนะนำ การใส่ปุ๋ย 3 ชนิดตามค่าวิเคราะห์ดิน และมีการ กำหนดให้การไม่ใส่ปุ๋ยเป็นกรรมวิธีควบคุม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีทรีตเมนต์ทั้งหมด 7 ทรีตเมนต์

1.2 หน่วยทดลอง หมายถึง กลุ่มของวัตถุทดลอง (experimental material) ที่ได้รับ ทรีตเมนต์ใดทรีตเมนต์หนึ่ง เช่น จากตัวอย่างงานวิจัยของ Phopaijit et al. (2022) เปรียบเทียบผล ของการใส่ปุ๋ย 4 ชนิดต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวญี่ปุ่น โดยทำงานทดลองในกระถาง พลาสติก ดังนั้นผู้วิจัยต้องเตรียมกระถางสำหรับปลูกข้าวทั้งหมด 4 กระถาง และแต่ละกระถางจะใส่ ปุ๋ยได้เพียง 1 ชนิดเท่านั้น ดังภาพที่ 1.1 ผู้วิจัยกำลังใส่ปุ๋ยเคมีให้กับข้าวญี่ปุ่น ส่วนภาพที่ 1.2 เป็นตัวอย่างภาพแปลงย่อย (หน่วยทดลอง) จากงานวิจัยของ Phakamas and Yampracha (2018) ซึ่งแต่ละแปลงย่อยจะได้รับการใส่ปุ๋ยเพียง 1 วิธีการเท่านั้น



ภาพที่ 1.1 การใส่ปุ๋ยเคมี (ทรีตเมนต์) ลงในกระถางพลาสติก (หน่วยทดลอง)



ภาพที่ 1.2 การเตรียมแปลงย่อย (หน่วยทดลอง) สำหรับการปลูกหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1

2. ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (experimental error)

ความคลาดเคลื่อนของงานทดลอง หมายถึง ความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองที่ได้รับอิทธิพลของทรีตเมนต์เดียวกัน โดยทั่วไปแล้วลักษณะประจำของกลุ่มของวัตถุทดลอง ไม่ว่าจะเป็นแปลงปลูกพืช กระถางที่บรรจุดิน ล้วนแล้วแต่มีความแปรปรวน (variation) และความแปรปรวนดังกล่าวทำให้เกิดความแตกต่างของข้อมูลหรือค่าสังเกตที่ได้จากวัตถุทดลองที่ได้รับอิทธิพลจากทรีตเมนต์เดียวกัน เรียกความแตกต่างดังกล่าวนี้ว่า ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการทดลองมี 2 ประการ คือ

2.1 ความแตกต่างที่มีอยู่ในวัตถุทดลองนั้นแล้วก่อนการทดลอง (inherent variability) ตัวอย่างเช่น นักวิจัยเตรียมแปลงปลูกเพื่อเปรียบเทียบผลของการใส่ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ต่อการให้ผลผลิตของถั่วลิสง แต่ภายหลังการปลูกพบว่าประชากรต้นถั่วลิสงภายในแปลงย่อยหรือในแต่ละแปลงอาจจะงอกไม่พร้อมกัน ซึ่งเป็นสิ่งที่นักวิจัยควบคุมได้ยาก นักวิจัยมักแก้ปัญหาโดยการปลูกซ่อมภายใน 7 วัน ส่งผลทำให้เกิดความแปรปรวนในเรื่องอายุและขนาดของต้นถั่วลิสง โดยเฉพาะความแตกต่างระหว่างแปลงย่อยที่ได้รับอิทธิพลของทรีตเมนต์เดียวกัน ดังตัวอย่างในภาพที่ 1.3 ความแปรปรวนดังกล่าวเกิดขึ้นก่อนที่จะมีการใส่ปุ๋ยลงในแปลงปลูก เพราะปกติแล้วจะใส่ในช่วงที่ถั่วลิสงกำลังออกดอกหรืออายุประมาณ 25-30 วัน



ภาพที่ 1.3 ความแตกต่างของขนาดต้นถั่วลิสงภายในแต่ละแปลงย่อย (หน่วยทดลอง)

2.2 ความแตกต่างที่เนื่องมาจากสิ่งภายนอก (extraneous variability) เป็นความแตกต่างของวัตถุทดลอง ที่มีสาเหตุมาจากสภาพแวดล้อมภายนอก และความไม่สม่ำเสมอในการกระทำต่าง ๆ ในขณะทำการทดลอง ตัวอย่างเช่น การทดลองปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ถั่วลิสง โดยปลูกถั่วลิสงในแปลงปลูก ซึ่งอาจมีความชื้น อุณหภูมิ แสงสว่าง หรือปัจจัยอื่น ๆ ที่แตกต่างกันบ้าง เนื่องจากบางส่วนของแปลงปลูกอยู่ใกล้ร่มไม้ (ภาพที่ 1.4) ในขณะที่ส่วนที่เหลือได้รับแสงแดดตลอดทั้งวัน หรือการดูแลให้น้ำ การกำจัดวัชพืช การใส่ปุ๋ย และการปฏิบัติอย่างอื่นที่ผู้ทดลองอาจจะไม่ได้ทำให้แปลงถั่วลิสงอย่างสม่ำเสมอเท่าเทียมกันอย่างแท้จริงในทุก ๆ แปลง หรือแม้กระทั่งการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการชั่งตวง วัด อาจมีความผิดพลาดจากตัวผู้ทำการทดลองเอง ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการทดลองทั้งสิ้น



ภาพที่ 1.4 ความไม่สม่ำเสมอของแต่ละแปลงย่อยเนื่องจากบางแปลงได้รับอิทธิพลของร่มไม้

การทำการทดลองให้มีประสิทธิภาพสูง ผู้ทำการทดลองจะต้องหาทางลดความคลาดเคลื่อนของการทดลองให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ การลดความคลาดเคลื่อนของการทดลองที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของวัตถุทดลอง สามารถทำได้โดยการเลือกวัตถุทดลองที่มีความสม่ำเสมอ หรือเลือกใช้แผนการทดลอง (experimental design) ที่เหมาะสมกับลักษณะความแปรปรวนของวัตถุทดลอง สำหรับความคลาดเคลื่อนของการทดลองที่มีสาเหตุมาจากสิ่งภายนอก สามารถลดได้โดยทำการทดลองด้วยความระมัดระวัง มีความพิถีพิถันในการปฏิบัติดูแลงานทดลอง เลือกใช้เทคนิคในการทำการทดลองที่เหมาะสม มีความรอบคอบในการเก็บและบันทึกข้อมูล (สนั่น, 2535) หากดำเนินการได้เช่นนี้ จะช่วยลดโอกาสในการเกิดความคลาดเคลื่อนของงานทดลองลงได้

3. การทำซ้ำ (replication)

การทำซ้ำ คือ การให้ทรีตเมนต์หนึ่ง ๆ กับหน่วยทดลอง (experimental unit) อย่างน้อย 2 หน่วยทดลองขึ้นไป การทำซ้ำในการทดลองนั้นเป็นสิ่งจำเป็น เพราะซ้ำจะมีบทบาทสำคัญในการทดลองหลายประการดังนี้

3.1 ทำให้สามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้ ดังที่กล่าวมาแล้วว่า ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง คือ ความแตกต่างของหน่วยทดลอง ดังนั้นจะประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของงานทดลองได้ต้องมีอย่างน้อย 2 หน่วยทดลองที่ได้รับอิทธิพลของทรีตเมนต์เดียวกัน

3.2 ทำให้การทดลองมีความเที่ยงตรงมากขึ้น โดยทำให้ standard error ของ treatment mean ลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นได้จากสูตร

$$S = \sqrt{\frac{S^2}{r}}$$

เมื่อ S = standard error ของ treatment mean
 S^2 = experimental error
 r = จำนวนซ้ำของการทดลอง

3.3 เป็นการควบคุมความคลาดเคลื่อนของงานทดลองได้ ในกรณีที่ซ้ำในแผนการทดลองที่มีการสุ่มเฉพาะภายในบล็อก (block) ความคลาดเคลื่อนของงานทดลองจะถูกแบ่งไปเป็นความแปรปรวนของบล็อก ทำให้ความคลาดเคลื่อนของการทดลองลดลง การทดลองหนึ่ง ๆ จะมีซ้ำจำนวนเท่าใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่

1) ความแปรปรวนของลักษณะที่ต้องการศึกษา ถ้ามีความแปรปรวนมาก การทำการทดลองก็ควรจะมีจำนวนซ้ำมากขึ้น

2) จำนวนทรีตเมนต์ โดยทั่วไปแล้วจำนวนทรีตเมนต์ จะเป็นตัวกำหนดจำนวนซ้ำของการทดลองด้วย ถ้าหากทรีตเมนต์มีน้อยก็ควรทำการทดลองโดยเพิ่มจำนวนซ้ำให้มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากต้องให้มีจำนวนของ degree of freedom (df) ของความคลาดเคลื่อน (error) ไม่น้อยกว่า 9 และช่วงของ df ที่เหมาะสมควรอยู่ประมาณ 10-12 ซึ่งค่าของ df จะมีที่มาแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแผนการทดลองแต่ละแบบ

3) ขนาดของความแตกต่าง หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ ถ้าขนาดความแตกต่างของทรีตเมนต์มีมาก ก็ไม่จำเป็นต้องมีซ้ำมาก แต่ถ้าขนาดของความแตกต่างมีน้อย ก็จำเป็นต้องมีซ้ำจำนวนมาก เพื่อให้สามารถวัดผลความแตกต่างนั้นได้

4. การสุ่ม (randomization)

การสุ่ม คือ วิธีการจัดทรีตเมนต์ให้กับหน่วยทดลอง โดยที่หน่วยทดลองแต่ละหน่วยมีโอกาสที่จะได้รับทรีตเมนต์ใดทรีตเมนต์หนึ่งเท่า ๆ กัน เพื่อที่จะทำให้ทรีตเมนต์อยู่ในหน่วยทดลองใดโดยไม่เกิดการลำเอียง (bias) และการสุ่มนี้จะทำให้สามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของงานทดลองได้อย่างถูกต้อง ทำให้การหาค่าเฉลี่ยอิทธิพลของทรีตเมนต์มีความถูกต้อง และทำให้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์อยู่บนพื้นฐานของความยุติธรรม **ภาพที่ 1.5** แสดงการวางแผนการทดลองตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยนักศึกษากำหนดให้ป้ายสีเหลืองแทนข้าวพันธุ์ กข43 และป้ายสีขาวแทนข้าวไรซ์เบอร์รี่ จากภาพจะเห็นว่าตำแหน่งของป้ายจะวางสลับกันไปมาอันเนื่องมาจากการสุ่ม



ภาพที่ 1.5 แสดงการติดป้ายกำกับตามทรีตเมนต์ที่สุ่มได้ในแต่ละหน่วยทดลอง

5. การควบคุมความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (error control)

การควบคุมความคลาดเคลื่อนของการทดลอง หมายถึง ความพยายามควบคุมให้เกิดความคลาดเคลื่อน หรือ error น้อยที่สุด เพราะเมื่อใดก็ตามที่ความคลาดเคลื่อนของงานทดลองลดน้อยลง โอกาสที่จะตรวจสอบความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์จะมีมากขึ้น ซึ่งวิธีการควบคุมความคลาดเคลื่อนของการทดลองทำได้หลายวิธี เช่น

5.1 การทำบล็อก (blocking) เป็นการจัดหน่วยทดลองที่เหมือนกันเป็นกลุ่ม ๆ แต่ละกลุ่มของหน่วยทดลองเรียกว่าบล็อก (block) สรุปคือ หน่วยทดลองภายในบล็อกเดียวกันจะเหมือนกัน แต่จะแตกต่างจากหน่วยทดลองในบล็อกอื่น ๆ ดังนั้นการจัดบล็อกก็จะเป็นการแบ่งความคลาดเคลื่อนของการทดลองออกมาส่วนหนึ่ง ซึ่งจะเป็นความแตกต่างระหว่างบล็อก จึงทำให้ความคลาดเคลื่อนของงานทดลองลดลง ซึ่งการจัดบล็อกจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับแผนงานทดลอง (experimental design) เพราะแผนการทดลองบางแผน เช่น Randomized Complete Block Design (RCBD) จำเป็นต้องมีการจัดบล็อกเพื่อลด error ของงานทดลอง

อย่างไรก็ตาม การจัดบล็อกนักวิจัยอาจจะเข้าใจว่าอาจจะพิจารณาตามรูปร่างของหน่วยทดลอง หรือความไม่สม่ำเสมอของพื้นที่เท่านั้น แต่บางครั้งในการทำงานทดลองหากนักวิจัยมีทรัพยากรที่จำกัด เช่น นักศึกษาระดับปริญญาโทต้องการปลูกทดสอบปุ๋ยไนโตรเจนในหญ้าอาหารสัตว์ และวางแผนการทำงานทดลองในบ่อซีเมนต์ขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ $1 \times 1 \times 0.40$ เมตร ตามหลักการแล้วหากสามารถเตรียมบ่อซีเมนต์ขนาดเท่ากันและใส่ดินในปริมาณเท่า ๆ กัน ก็สามารถเลือกใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ได้ แต่ในกรณีนี้ต้องใส่ดินปริมาณสูงถึง 150 กิโลกรัมต่อบ่อ ดังนั้นหากต้องเตรียมจำนวน 40 บ่อต้องใช้ดินมากถึง 6,000 กิโลกรัม หรือ 6 ตัน จึงจำเป็นต้องนำดินจากแปลงทดลองมาใส่ แต่อย่างไรก็ตามดินในแปลงทดลองอาจมีความแปรปรวนอยู่แล้ว และการขุดดินจากแปลงอาจจะไม่ใช่ตำแหน่งเดิมทุกครั้ง ผู้วิจัยจึงได้ทำการจัดบล็อกตามลักษณะความไม่สม่ำเสมอของดิน (ภาพที่ 1.6)



ภาพที่ 1.6 การจัดบล็อกของบ่อซีเมนต์ตามลักษณะความไม่สม่ำเสมอของดิน

5.2 ขนาดและรูปร่างของหน่วยทดลอง (size and shape of experimental unit) โดยปกติ การศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าหน่วยทดลองที่มีขนาดใหญ่จะมีความแปรปรวนน้อยกว่าหน่วยทดลองที่มีขนาดเล็ก (ภาพที่ 1.7) อย่างไรก็ตาม ในกรณีของการทำงานทดลองในแปลงหากหน่วยทดลองมีขนาดใหญ่เกินไปก็อาจจะเพิ่มความคลาดเคลื่อนของงานทดลองได้เช่นกัน เนื่องจากการดูแลปฏิบัติต่องานทดลองอาจไม่ทั่วถึงสม่ำเสมอทั้งหมด ซึ่งหากงานทดลองมีหลายทรีตเมนต์และต้องใช้หน่วยทดลองที่มีขนาดใหญ่ ก็จะทำให้งานทดลองต้องใช้พื้นที่มากขึ้น งานทดลองก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจะต้องมีการวางแผนการจัดการที่ดี เพื่อให้เกิดความแปรปรวนน้อยที่สุด



ภาพที่ 1.7 การปลูกถั่วลิสงในแปลงขนาด 1 x 1 เมตร (ซ้าย) และ 3 x 5 เมตร (ขวา)

5.3 การใช้เทคนิคการทดลองที่เหมาะสม (proper plot technique) การใช้เทคนิคที่จะช่วยควบคุมอิทธิพลของปัจจัยตัวอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ทรีตเมนต์ เช่น การควบคุมปริมาณแสง อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณธาตุอาหาร และศัตรูพืช เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น นักศึกษาระดับปริญญาโทปลูกถั่วลิสงเพื่อเปรียบเทียบผลของการใส่ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ต่อการให้ผลผลิต ซึ่งตำแหน่งที่ตั้งแปลงทดลองอยู่ติดกับที่อยู่อาศัยเพื่อสะดวกในการดูแล แต่แปลงทดลองก็อาจได้รับความเสียหายจากสัตว์เลื้อย เช่น ไก่ หรือสุนัข ดังนั้นผู้วิจัยจึงควรวางแผนป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นไว้ก่อน โดยการล้อมตาข่ายรอบบริเวณแปลงทดลอง (ภาพที่ 1.8)



ภาพที่ 1.8 การล้อมรั้วตาข่ายรอบแปลงปลูกถั่วลิสงเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดจากสัตว์เลื้อย

5.4 การวิเคราะห์ข้อมูล (data analysis) การเลือกวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่เหมาะสมจะสามารถลดความคลาดเคลื่อนของงานทดลองลงได้ เช่น การทดลองเปรียบเทียบผลผลิตถั่วลิสง 2 พันธุ์ คือ ขอนแก่น 6 และ ขอนแก่น 9 ในแปลงทดลองจำนวน 4 ซ้ำ ดังนั้นจึงมีทั้งหมด 8 แปลง ปรากฏว่าแปลงทดลองทั้ง 8 แปลง มีความอุดมสมบูรณ์ของดินไม่เท่ากัน ซึ่งก็แก้ไขโดยการจัดบล็อกตั้งแต่ขั้นตอนการวางแผนการทดลอง เพื่อให้การสุ่มทรีตเมนต์ลงในหน่วยทดลองมีความยุติธรรม ไม่เกิดความลำเอียง แต่เมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยวพบว่าแต่ละแปลงมีจำนวนต้นถั่วลิสงไม่เท่ากัน

เนื่องจากบางแปลงเกิดการเข้าทำลายของโรคและแมลง ทำให้ต้นถั่วลิสงบางต้นตายจนไม่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ ซึ่งจำนวนต้นที่เก็บเกี่ยวนี้มีผลต่อปริมาณผลผลิตของถั่วลิสง ดังนั้นจึงควรทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบบโควาเรียนซ์ (analysis of covariance) เพราะสามารถช่วยปรับค่าและขจัดอิทธิพลความแตกต่างของจำนวนต้นออกไปได้ แทนที่จะวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ RCBD ธรรมดา ซึ่งเทคนิคการวิเคราะห์ดังกล่าวจะสามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนของการทดลองลงได้ และทำให้การเปรียบเทียบอิทธิพลของ treatments มีความยุติธรรมมากขึ้นด้วย

6. บรรณานุกรม

- พิศมัย หาญมงคลพิพัฒน์. 2550. สถิติและการวางแผนการทดลองทางเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 314 หน้า.
- สนั่น จอกลอย. 2535. สถิติเพื่อการวิจัยทางการเกษตร. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 187 หน้า.
- อาร์นต์ พัฒโนทัย. 2528. สถิติเพื่อการวิจัย 2. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 180 หน้า.
- Phakamas, N and S. Yampracha. 2018. Application of soil test kit for evaluating nitrogen fertilizer requirement of Napier Pakchong I grass in Thailand. *International Journal of Agricultural Technology*. 14(7): 1599-1610.
- Phopaijit, S., Suraphonphinit, A. and N. Phakamas. 2022. Effects of chicken manure and chemical fertilizer on growth and yield of Japonica rice. *International Journal of Agricultural Technology*. 18(1): 293-310.

บทที่ 2

ขั้นตอนในการวางแผนการทดลอง

การวางแผนงานทดลองเป็นขั้นตอนสำคัญที่ผู้ทดลองควรให้ความสนใจเป็นพิเศษ เพราะเป็นขั้นตอนของการกำหนดแนวทางในการดำเนินงานวิจัย การเลือกอุปกรณ์และวิธีการที่จะใช้ในการดำเนินงาน ตลอดจนคาดการณ์ถึงปัญหาและอุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทำงาน ดังนั้นนักวิจัยจึงควรมีการวางแผนอย่างรอบคอบก่อนที่จะเริ่มดำเนินงานตามขั้นตอนต่าง ๆ อันจะช่วยให้การวางแผนการทดลองมีความสมบูรณ์ และลดโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดความผิดพลาดของการดำเนินงานวิจัย อีกทั้งจะช่วยทำให้ได้ข้อมูลงานวิจัยที่มีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น

1. การศึกษาปัญหาและวิเคราะห์ปัญหา

โดยทั่วไปผู้ทำการทดลองหรือนักวิจัยมักจะศึกษาปัญหาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อช่วยในการกำหนดประเด็นคำถาม หรือประเด็นวิจัย หรือบางครั้งประเด็นงานวิจัยอาจเกิดจากไอเดียที่อยากจะนำของเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ตัวอย่างเช่น Phakamas et al. (2023) มีความสนใจนำเอาเปลือกไข่มาใช้ในการเกษตร เนื่องจากมีความเห็นว่าคนส่วนใหญ่นิยมบริโภคไข่เป็ดไข่ไก่ ไข่นกกระทา โดยมีการบริโภคทั้งในระดับครัวเรือนและใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอาหารหรือขนมต่าง ๆ ดังนั้นในแต่ละปีจะมีเปลือกไข่เป็นของเหลือทิ้งในปริมาณมาก หากสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ก็จะเป็นการเพิ่มมูลค่าได้ จึงมีการศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่ได้รายงานเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมี และธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในเปลือกไข่เหล่านั้น เพื่อดูความเป็นไปได้ในการทำงานทดลองและออกแบบทรีตเมนต์

2. การตั้งวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ที่ดีต้องมีความชัดเจนและเฉพาะเจาะจง และที่สำคัญต้องสอดคล้องกับประเด็นคำถามที่ได้ตั้งไว้ วัตถุประสงค์อาจจะอยู่ในรูปที่ว่าต้องการจะถามอะไร ต้องการจะทดสอบสมมติฐานอะไร หรือจะประเมินอิทธิพลของอะไร วัตถุประสงค์ไม่ควรกว้างเกินไป และที่สำคัญจะต้องระบุให้ชัดเจนว่าผลที่ได้จากการทดลองนั้นนำไปใช้กับประชากรเป้าหมายใด เช่น เมื่อนักวิจัยสนใจที่จะนำเอาเปลือกไข่ชนิดต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร และจากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าในเปลือกไข่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ ซึ่งแคลเซียมเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการผลิตตัวลิสในกระบวนการสร้างฝักและเมล็ด ปกติเกษตรกรจะต้องมีการใส่ปุ๋ย

ดังนั้นจึงตั้งวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาว่าเปลือกไข่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งของแคลเซียมแทนยิปซัมที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดได้หรือไม่

3. การเลือกทรีตเมนต์

เมื่อได้ตั้งวัตถุประสงค์แล้ว จากนั้นจึงเป็นขั้นตอนของการกำหนดทรีตเมนต์ที่ต้องการเปรียบเทียบ โดยพิจารณาว่าทรีตเมนต์นั้นจะช่วยให้บรรลุวัตถุประสงค์ หรือจะช่วยตอบคำถามของผู้ทดลองหรือไม่ ตัวอย่างเช่น เมื่อผู้วิจัยสนใจนำเปลือกไข่ชนิดต่าง ๆ มาใช้แทนยิปซัม ดังนั้นในการกำหนดทรีตเมนต์จำเป็นจะต้องมีการกำหนดให้ยิปซัมที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดที่เกษตรกรนิยมใช้ในการผลิตถั่วลิสงอยู่แล้ว (positive control) มาใช้ในการเปรียบเทียบกับการใช้เปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด และไข่นกกระทา นักวิจัยอาจเพิ่มกรรมวิธีการที่ไม่ใส่อะไรเลยเข้าไปอีกหนึ่งทรีตเมนต์ (negative control) เพื่อให้ให้นักวิจัยสามารถตอบคำถามได้ชัดเจนมากขึ้น

4. การเลือกวัตถุทดลอง

วัตถุทดลองที่นำมาใช้ในการทดลองควรมีความสม่ำเสมอ หรือมีความแปรปรวนน้อย ถ้าวัตถุทดลองมีความแปรปรวนมากจนเกินไปอาจทำให้งานทดลองเกิดความคลาดเคลื่อนสูง เพราะจะทำให้ไม่สามารถวัดความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ได้ ในที่สุดจะทำให้เสียเวลา งบประมาณ และแรงงานโดยเปล่าประโยชน์ อย่างไรก็ตาม หากเลือกวัตถุทดลองที่สม่ำเสมอมากเกินไป จนไม่เหมือนกับสภาพความเป็นจริงที่มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ อาจทำให้ผลการทดลองที่ได้ แม้ว่าจะถูกต้องแต่ก็ไม่สามารถนำไปใช้กับสภาพความเป็นจริงนั้นได้ จากตัวอย่างงานวิจัยการใช้เปลือกไข่เพื่อเป็นแหล่งแคลเซียมในถั่วลิสง ผู้วิจัยต้องการศึกษาผลเบื้องต้นจึงเลือกการทำงานทดลองในบ่อซีเมนต์ ก่อนที่ขยายผลลงไปสู่การทำงานทดลองในแปลง เนื่องจากจะทำให้สามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่ไม่ใช่อิทธิพลของทรีตเมนต์ได้ดีกว่า

5. การเลือกขนาดของการทดลอง

การทดลองจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนทรีตเมนต์ และจำนวนซ้ำที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งการกำหนดจำนวนทรีตเมนต์จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ส่วนการกำหนดจำนวนซ้ำจะขึ้นอยู่กับความแปรปรวนของหน่วยทดลองหรือวัตถุทดลอง ความละเอียดของลักษณะที่ต้องการการตรวจวัด เงินงบประมาณ อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยอาจศึกษาจากงานการทดลองก่อน ๆ ว่าวัตถุทดลองที่จะใช้ในการทดลองมีความแปรปรวนมากน้อยแค่ไหน โดยศึกษาจากผู้อื่นที่ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันจากหลาย ๆ งานมาช่วยให้ตัดสินใจได้ว่าควรทำการทดลองกี่ซ้ำ โดยปรเมศ (2556) กล่าวไว้ว่าการเพิ่มจำนวนซ้ำของการทดลองจะมีผลทำให้ variance ของ mean ลดลง ช่วยให้การเปรียบเทียบ

ความแตกต่างของทรีตเมนต์ละเอียดมากยิ่งขึ้น ส่วนการเพิ่มขนาดของหน่วยทดลองนั้นจะมีผลทำให้ error variance ลดลง

6. การเลือกเทคนิคและวิธีการทดลอง

ความคลาดเคลื่อนของการทดลองส่วนหนึ่งเกิดจากสิ่งภายนอก เช่น การปฏิบัติต่าง ๆ ในขณะที่ทำการทดลอง ซึ่งอาจรวมถึงความไม่รอบคอบของผู้ทดลอง หรือการเลือกใช้เทคนิคไม่ดี สำหรับเทคนิคและวิธีการทดลองที่ดีควรจะมีการควบคุมอิทธิพลภายนอกให้ดีเพียงพอที่จะทำให้ทรีตเมนต์ต่าง ๆ แสดงอิทธิพลได้สม่ำเสมอเหมือนกัน การให้ทรีตเมนต์ควรเป็นไปอย่างสม่ำเสมอสำหรับทุก ๆ หน่วยทดลอง และต้องไม่มีอคติในการวัดอิทธิพลของทรีตเมนต์ จากภาพที่ 2.1 นักศึกษาทำการล้อมตะแกรงลวดรอบบ่อปูนซีเมนต์เพื่อป้องกันการเข้าทำลายของหนู โดยเฉพาะช่วงที่เริ่มมีการสร้างฝัก เนื่องจากบริเวณแปลงทดลองเป็นอาคารเก็บของ ซึ่งอาจเป็นที่อยู่อาศัยของหนู จึงควรป้องกันไว้ก่อน



ภาพที่ 2.1 การล้อมกระถางปลูกด้วยลวดตาข่ายเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของหนู

7. การเลือกแผนการทดลอง

โดยปกติแล้วการเลือกแผนการทดลองจะถูกกำหนดด้วยสภาพของหน่วยทดลองที่มี เช่น หากนักวิจัยต้องการเปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยต่าง ๆ โดยทำงานทดลองในกระถางทดลองที่มีความสม่ำเสมอ ก็อาจจะเลือกใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แต่หากนักวิจัยเปลี่ยนไปทำการทดลองในแปลงอาจมีความไม่สม่ำเสมอในเรื่องความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความลาดเทของพื้นที่ หรือการได้รับร่มเงาของต้นไม้ใหญ่ที่อยู่ด้านข้างแปลงทดลอง เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุทำให้หน่วยทดลองเกิดความแปรปรวน จึงจำเป็นต้องจัดแปลงทดลองออกเป็นกลุ่ม (จัดบล็อก) และเลือกใช้แผนการทดลองอื่น ๆ ที่เหมาะสม เช่น แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก

ก็จะเป็นวิธีการช่วยลดความคลาดเคลื่อนของการทดลองที่อาจจะเกิดจากความแปรปรวนของหน่วยทดลองได้

8. การกำหนดลักษณะที่ทำการศึกษาในแผนการทดลอง

การจะตอบวัตถุประสงค์ของการทดลองได้ดี ผู้ทดลองต้องมีการวางแผนการเก็บบันทึกข้อมูลว่าควรบันทึกลักษณะอะไรบ้าง โดยเฉพาะลักษณะที่ต้องนำไปใช้เพื่ออธิบายและเปรียบเทียบอิทธิพลของทรีตเมนต์ เช่น จากการศึกษาของ Phakamas et al. (2023) ที่ต้องการเปรียบเทียบผลของการใช้เปลือกไข่ต่อการให้ผลผลิตถั่วลิสง นักวิจัยมีการเก็บบันทึกข้อมูลด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วลิสงแล้ว ยังมีการวางแผนการเก็บบันทึกข้อมูลดินก่อนปลูกไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติของดินเบื้องต้น และมีการนำเอาเปลือกไข่แต่ละชนิดไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการอธิบายและขยายผลการทดลองได้ นอกจากนี้ผู้ทดลองอาจมีการบันทึกลักษณะอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น ข้อมูลการเข้าทำลายของโรค แมลง และศัตรูพืชอื่น ๆ หรือแม้กระทั่งการสังเกตสภาพอากาศที่บางครั้งอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงกระทันหันหรือมีความผิดปกติ โดยเฉพาะในช่วงวิกฤติต่าง ๆ ของพืช เช่น ถั่วลิสงหากเจอสภาพอากาศเย็นหลังปลูกอาจจะส่งผลทำให้ถั่วลิสงออกดอกช้าลง เป็นต้น

9. การทำการทดลอง

เมื่อวางแผนการทดลองตามขั้นตอนต่าง ๆ แล้ว ต่อไปเป็นขั้นตอนของการทำงานทดลอง ซึ่งต้องมีการจัดเตรียมหน่วยทดลองหรือกลุ่มของวัตถุทดลองที่จะได้รับทรีตเมนต์ต่าง ๆ สำหรับการเตรียมหน่วยทดลองที่มีขนาดเล็ก เช่น ขวดที่ใช้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อทดสอบสูตรอาหารหรือ จานเพาะเชื้อจุลินทรีย์เพื่อทดสอบสารยับยั้งเชื้อรา ก็จะไม่ค่อยซับซ้อนเท่าไร เพราะปกติงานทดลองลักษณะนี้จะมีขนาดเล็กสามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้ง่าย แต่หากผู้วิจัยมีแผนที่จะดำเนินงานทดลองในแปลงปลูกพืช ต้องมีข้อควรระวังมากขึ้น เริ่มตั้งแต่การคัดเลือกพื้นที่ที่จะใช้ในการทดลอง การเลือกใช้อุปกรณ์และเครื่องมือ ตลอดจนการใช้เทคนิคต่าง ๆ ที่เหมาะสม อันจะทำให้การดำเนินงานทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และข้อมูลที่ได้มีความเที่ยงตรง โดยปกติเมื่อวางแผนการทดลองเสร็จเรียบร้อยแล้วก่อนที่จะมีการสุ่มวางทรีตเมนต์ลงในแปลงปลูก (plot) ผู้ทดลองควรวาดผังแปลงขึ้นในกระดาษ เพื่อแสดงให้เห็นว่าแปลงทดลองอยู่ตรงไหน มีขนาดเท่าไร วางแปลงปลูกในแนวหรือทิศทางใด มีเนื้อที่กว้างยาวเท่าไร ตลอดจนการแบ่งให้เห็นว่ามีกี่ซ้ำ (replication) ในแต่ละซ้ำมีพันธุ์อะไรและตั้งอยู่ในตำแหน่งไหนของแปลง เป็นต้น (ไพศาล, 2520)

9.1 การเลือกพื้นที่ปลูกทดลอง

การเลือกพื้นที่สำหรับการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องเที่ยงตรง ควรเลือกแปลงที่มีความแปรปรวนต่ำ นั่นหมายถึงแปลงทดลองควรมีความสม่ำเสมอ โดยปกตินักวิจัยมักจะพิจารณาความสม่ำเสมอด้านความอุดมสมบูรณ์และความสูงต่ำของพื้นที่เป็นสำคัญ ถึงแม้ว่าการใช้แผนการทดลองที่เหมาะสมกับพื้นที่จะทำให้สามารถควบคุมความแปรปรวนอันเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของแปลงทดลองได้ แต่ก็ไม่ใช่จะสามารถควบคุมได้ทั้งหมด ซึ่งหากแปลงทดลองไม่สม่ำเสมอ เมื่อทำการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์มักจะให้สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (coefficient of variation; C.V.) สูง ดังนั้นวิธีการเลือกพื้นที่ทดลองที่เหมาะสมสามารถสรุปได้ ดังนี้

9.1.1 หลีกเลี่ยงพื้นที่ลาดเท พื้นที่ลาดเทมักมีความแตกต่างในแง่ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทั้งนี้ด้านต่ำดินมักมีความอุดมสมบูรณ์สูงกว่าด้านบน เพราะธาตุอาหารและผิวน้ำดินมักจะถูกชะล้างลงไปยังส่วนที่ต่ำกว่า ถ้าด้านล่างเป็นที่ลุ่มพืชอาจจะเสียหายจากน้ำท่วม หรืออาจอุดมสมบูรณ์เพราะได้น้ำมากกว่าส่วนอื่นของแปลงก็ได้ ผู้ทดลองต้องพยายามหลีกเลี่ยงพื้นที่ลักษณะนี้อย่างสุดความสามารถ แต่หากหลีกเลี่ยงไม่ได้จำเป็นต้องใช้ก็ควรเป็นพื้นที่ที่มีความลาดเทเพียงเล็กน้อย จากนั้นพิจารณาเลือกการใช้แผนการทดลองและการวางแผนแปลงที่ถูกต้องจะช่วยควบคุมความแปรปรวนในการทดลองได้ ซึ่งสามารถทำได้โดยการจัดบล็อก (blocking) ขวางแนวลาดเทเพื่อให้แต่ละแปลงภายในบล็อกมีความอุดมสมบูรณ์ของดินคล้าย ๆ กัน และเป็นการป้องกันการชะล้างของดินไปในตัวด้วย อย่างไรก็ตาม พื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดต่อการทำงานทดลองควรเป็นพื้นที่ที่มีระดับเดียวกัน

9.1.2 ไม่ใช้พื้นที่ที่เคยปลูกพืชต่างชนิดหรือใส่ปุ๋ยต่างอัตรา ทั้งนี้เพราะพื้นที่ที่เคยปลูกพืชต่างชนิดกันมักก่อให้เกิดความแตกต่างในเรื่องความอุดมสมบูรณ์ของดิน เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดใช้ปุ๋ยได้แตกต่างกัน บางชนิดดูดใช้ปุ๋ยมาก บางชนิดดูดใช้ปุ๋ยน้อย หรือพืชแต่ละชนิดมีระบบรากแตกต่างกัน บางชนิดมีระบบรากลึก บางชนิดมีระบบรากตื้น เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้ก่อให้เกิดความแตกต่างในเรื่องคุณสมบัติและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ถึงแม้ในฤดูก่อนมีการปลูกพืชชนิดเดียวกันแต่ถ้าใส่ปุ๋ยต่างอัตรา ต่างปริมาณ ก็จะทำให้ปริมาณตกค้างของปุ๋ยต่างกัน ซึ่งพื้นที่ลักษณะนี้ควรหลีกเลี่ยงอย่างยิ่ง แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้พื้นที่เหล่านี้น้อยก่อนการทดลองครั้งต่อไป ก็ควรจะปลูกพืชชนิดใดชนิดหนึ่งให้เต็มพื้นที่สักหนึ่งฤดูปลูกก่อน และก่อนเริ่มปลูกพืชทดลองก็ควรมีการเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกไปวิเคราะห์ เพื่อนำมาใช้อธิบายขยายผลการทดลอง

9.1.3 ไม่ควรปลูกพืชในพื้นที่ระหว่างแปลงหรือระหว่างซ้ำ ในกรณีนี้หมายถึงหากต้องทำงานทดลองลงในสถานที่เดิม พื้นที่ที่เคยเป็นทางเดินระหว่างซ้ำ หากทำงานทดลองรอบใหม่แล้วมีการปลูกพืชลงไปบริเวณดังกล่าว อาจทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีกว่าในบริเวณที่เคยปลูกพืชมาก่อน อันจะส่งผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลองมากขึ้น ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้น ผู้ทดลองควรทำเครื่องหมายบริเวณที่ว่างนั้นไว้ เพื่อช่วยในการวางแผนการปลูกพืชในครั้งต่อไป

9.1.4 ไม่ควรปลูกพืชในพื้นที่ที่มีการปรับระดับ ถ้ามีการปรับระดับเพื่อให้พื้นที่สม่ำเสมอหรือเพื่อแก้ปัญหาการลาดเทของพื้นที่ก็มักจะมีการขุดหรือเกรด (grade) หน้าที่ดินจากที่สูงไปถมในที่ต่ำ ทำให้พื้นที่ที่ถูกขุดมีแต่ดินล่าง ขาดความอุดมสมบูรณ์ มีอินทรีย์วัตถุต่ำ ยิ่งถ้าพื้นที่มีขนาดใหญ่อาจจะทำให้ดินในพื้นที่นั้นมีความอุดมสมบูรณ์แตกต่างกัน ดังนั้นถ้าหากจำเป็นต้องใช้พื้นที่บริเวณนี้ควรปลูกพืชบำรุงดินแล้วไถกลบลงไปอย่างน้อย 2 - 3 ฤดูปลูก นอกจากนั้นก็ควรจะทำ การทดสอบสมรรถนะของดินในแต่ละจุด โดยวิธีการทำ uniformity trial ก่อนที่จะทำการทดลอง

9.1.5 หลีกเลี่ยงบริเวณที่มีต้นไม้ใหญ่ สิ่งก่อสร้าง หรือบริเวณที่อยู่ใกล้กับวัตถุ บางอย่าง เช่น โรงเรือน ทางน้ำ คอกสัตว์ ต้นไม้ โรงงาน กองขยะ ฯลฯ ยกตัวอย่างเช่น หากด้านหนึ่งของแปลงอยู่ใกล้คอกสัตว์ แปลงบริเวณนั้นก็มักจะมีความอุดมสมบูรณ์ดีกว่า ทั้งนี้เพราะมูลสัตว์ อาจไหลหรือถูกชะล้างมายังบริเวณแปลงนั้น หรือในกรณีที่บางส่วนของแปลงอยู่ใกล้โรงเรือน หรือต้นไม้สูง อาจส่งผลให้พืชบางส่วนถูกบังร่มในบางระยะเวลาของวัน ทำให้พืชได้รับแสงน้อยกว่า บริเวณอื่น ๆ ของแปลง หรืออีกกรณีหนึ่งพืชบางอย่างอาจไวต่อช่วงแสง หากปลูกใกล้ถนนที่มีไฟฟ้า สว่างหรือปลูกใกล้เสาไฟที่ติดหลอดไฟฟ้า หรือใกล้โรงเรือนที่มีแสง ก็จะทำให้ดอกออกช้ากว่าส่วนอื่น ๆ ของแปลง

9.1.6 หลีกเลี่ยงพื้นที่ดินที่ไม่เหมาะสมกับพืชที่ปลูกทดลอง ก่อนทำการทดลอง ผู้ทดลองควรศึกษาก่อนว่าพื้นที่ดินบริเวณนั้นมีความเหมาะสมกับพืชที่จะปลูกทดลองหรือไม่ นอกจากนี้ผู้ทดลองควรหลีกเลี่ยงที่จะปลูกพืชทดลองลงในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ เว้นแต่ในกรณีที่ต้องการศึกษาลักษณะของดินนั้นโดยตรง ยกตัวอย่างเช่น นักวิจัยต้องการศึกษา ผลของการใส่ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ในการผลิตถั่วลิสง ก็ควรเลือกแปลงปลูกที่มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย เพราะโดยปกติดินประเภทนี้มักจะขาดแคลเซียม ซึ่งจะทำให้สามารถวัดค่าการตอบสนองของถั่วลิสง ต่อการใส่ปุ๋ยซึ่งเป็นแหล่งของแคลเซียมได้ชัดเจนขึ้น แต่หากผู้วิจัยไม่ได้ศึกษาข้อมูลมาก่อนแล้ว เลือกศึกษาในดินชนิดอื่นโดยเฉพาะพื้นที่ที่ดินไม่ได้ขาดแคลเซียม ก็อาจจะวัดผลการทดลองได้ยากขึ้น เป็นต้น

9.1.7 ควรใช้แปลงหรือพื้นที่ที่อุดมสมบูรณ์เพื่อทดลองเปรียบเทียบพันธุ์ ในการทดลองเปรียบเทียบพันธุ์นั้น โดยปกติแล้วเรามักใช้แปลงที่อุดมสมบูรณ์ทั้งนี้เพื่อให้พืชที่ทดลอง แสดงความสามารถของตัวเองได้อย่างเต็มที่ ไม่ให้ปัจจัยอื่นเข้ามาบังคับหรือบิดเบือนคุณสมบัติ ของพันธุ์ การกระทำเช่นนี้เป็นสิ่งจำเป็นถ้าเราต้องการที่จะเลือกพันธุ์ที่ดีเอาไว้ ถ้าเราทดลองในดินเลว พันธุ์นี้อาจไม่แสดงความสามารถให้เห็นได้ชัด จึงอาจถูกคัดทิ้งไปก็ได้ ซึ่งเป็นการคัดพันธุ์ที่ดีทิ้งไปโดยไม่รู้ตัว

9.2 การเลือกแผนการทดลองและการสุ่มเพื่อวางทริตเมนต์ลงในแปลงย่อย (plot)

แผนการทดลองมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละแผนการทดลองจะมีวิธีการสุ่มเพื่อวางทริตเมนต์ ลงในแปลงย่อยแตกต่างกันไป สำหรับในหัวข้อนี้ผู้เขียนจะขอยกตัวอย่าง แผนการทดลองแบบ สุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (randomized complete block design; RCBD) ซึ่งเป็นแผนการทดลอง

ที่เหมาะสมสำหรับการทำงานในแปลงและนักวิจัยนิยมใช้กันมากที่สุด โดยไพศาล (2520) กล่าวได้ว่ามีการใช้แผนการทดลองนี้ประมาณ 70 - 80 เปอร์เซ็นต์ของการทดลองเกี่ยวกับพืช สำหรับตัวอย่างการสุ่ม เช่น พรเพ็ญ (2555) ต้องการเปรียบเทียบผลผลิตของข้าวไม่วิต่อช่วงแสงจำนวน 10 พันธุ์ ได้แก่ ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 สุพรรณบุรี 3 ปทุมธานี 1 กข31 พิษณุโลก 2 กข43 กข49 และไรซ์เบอร์รี่ วางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 4 ซ้ำ โดยก่อนที่จะมีการสุ่มทรีตเมนต์ลงในแปลงย่อย (plot number) ของแต่ละซ้ำ ผู้ทดลองจะให้หมายเลขพันธุ์ (entry number) เพื่อใช้เป็นสัญลักษณ์ว่าหมายเลขใดใช้แทนข้าวพันธุ์ใด ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การให้หมายเลขกับพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลอง

Entry number	พันธุ์
1	ชัยนาท 1
2	สุพรรณบุรี 1
3	สุพรรณบุรี 2
4	สุพรรณบุรี 3
5	ปทุมธานี 1
6	กข31
7	พิษณุโลก 2
8	กข43
9	กข49
10	ไรซ์เบอร์รี่

สำหรับการสุ่มสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้วิธีจับฉลาก ใช้ตารางเลขสุ่ม หรือสุ่มโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อสุ่มทรีตเมนต์ลงในแปลงย่อยโดยเรียงลำดับตามหมายเลขแปลง หลักการโดยทั่วไปการกำหนดหมายเลขแปลงตามแผนการทดลองแบบ RCBD ควรเป็นเลขสามหลัก โดยเลขตัวแรกจะบ่งบอกว่าเป็นบล็อกหรือซ้ำที่เท่าใด ส่วนเลขสองตัวข้างหลังนั้นเป็นหมายเลขของแปลงย่อย เช่น ต้องการสุ่มทรีตเมนต์ให้กับแปลงที่ 101 ผู้ทดลองสุ่มได้เลข 8 แสดงว่าพันธุ์ กข43 จะถูกปลูกลงในแปลงที่ 1 ของซ้ำที่ 1 ซึ่งผลการสุ่มทรีตเมนต์ลงในแปลงย่อยแสดงในตารางที่ 2.2

จากผลการสุ่มในตารางที่ 2.2 จะพบว่าพันธุ์ กข43 จะปลูกอยู่ในแปลงที่ 1, 6, 10 และ 8 ของซ้ำที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 การสุ่มทรีตเมนต์ลงในแปลงทดลองจำนวน 4 ซ้ำ

Entry number	Treatment (variety)	Plot number			
		Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4
1	ชัยนาท 1	105	201	302	404
2	สุพรรณบุรี 1	102	204	304	402
3	สุพรรณบุรี 2	104	202	306	410
4	สุพรรณบุรี 3	106	209	309	406
5	ปทุมธานี 1	103	203	305	401
6	กข31	109	207	301	405
7	พิษณุโลก 2	107	208	308	409
8	กข43	101	206	310	408
9	กข49	110	205	303	403
10	ไรซ์เบอร์รี่	108	210	307	407

9.3 การวางผังแปลง

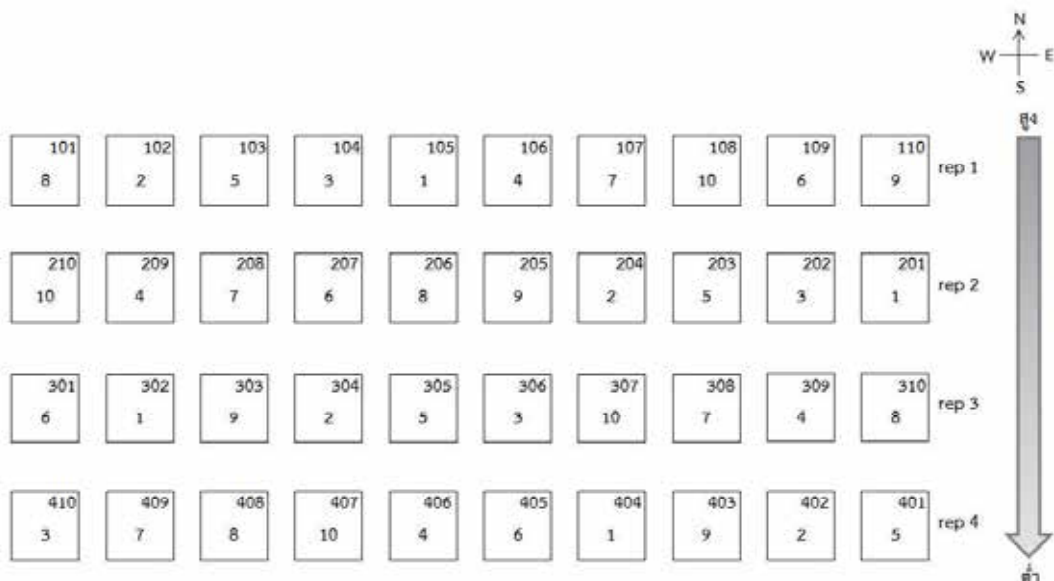
การวางผังแปลง (layout) นับเป็นสิ่งสำคัญอันดับแรก ๆ ของการเริ่มต้นปลูกพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเป็นงานทดลองในแปลงปลูก การวางผังแปลงที่ดีจะสามารถทำให้การจัดวางกิจกรรมการผลิตต่าง ๆ ทำได้สะดวกและมีประสิทธิภาพ บางครั้งการวางแผนผังที่ดี อาจจะช่วยประหยัดเวลาในการลงมือปฏิบัติงานทดลองในแปลง จากตัวอย่างการศึกษาของพรเพ็ญ (2555) ที่มีขั้นตอนในการวางผังแปลงดังนี้

1. ในการทดลองนี้ต้องการเปรียบเทียบผลผลิตของข้าวไม่ไวแสงจำนวน 10 พันธุ์ ทำการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ ในสภาพแปลงทดลอง โดยมีพื้นที่แปลงเป็นหน่วยทดลองซึ่งมีความแตกต่างกันในด้านความสูงของพื้นที่ ดังนั้นจึงแบ่งกลุ่มของหน่วยทดลองออกเป็น 4 บล็อก (block) ตามความสูงของพื้นที่ โดยกำหนดจำนวนบล็อกให้เท่ากับจำนวนซ้ำของงานทดลอง จากนั้นกำหนดหมายเลขของแต่ละแปลงย่อย ดังแสดงในภาพที่ 2.2



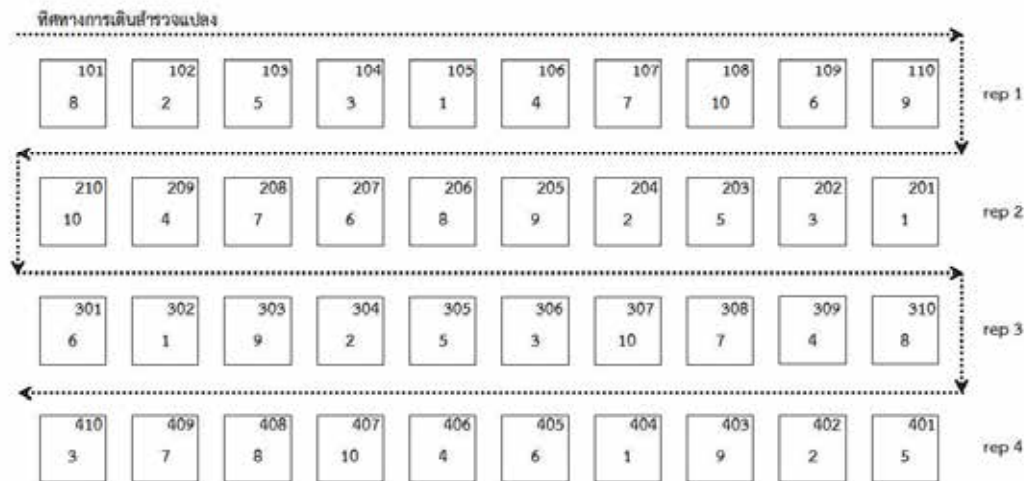
ภาพที่ 2.2 การจัดหน่วยทดลองเป็นบล็อกตามความสูงของพื้นที่

2. นำทริตเมนต์ (พันธุ์ข้าว) ตามที่สุ่มไว้ในตารางที่ 2.2 มาวางลงในแปลงย่อยต่าง ๆ (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 การสุ่มทริตเมนต์ลงในแปลงย่อยต่าง ๆ

3. การวางแผนแปลงแบบพหุปัจจัย เพื่อความสะดวกในการเดินสำรวจและเก็บบันทึกข้อมูลในแปลงทดลอง และปักป้ายแปลงไว้ทางด้านซ้ายหรือขวาของแปลง โดยปักป้ายแปลงไว้ด้านที่เป็นทางเดิน (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 การวางแผนแปลงแบบพับผ้า

4. เมื่อถึงขั้นตอนการปลูกข้าวลงในแปลงทดลอง ผู้ทดลองจะต้องปลูกข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ลงในแปลงทดลองตามแผนผังแปลงที่ผู้ทดลองได้สุ่มทริตเมนต์ไว้ ซึ่งตัวอย่างการเตรียมแปลงทดลองและพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลองแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การเตรียมแปลงทดลองและพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลอง

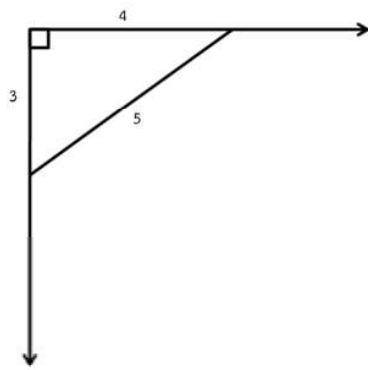
9.4 การวัดขนาดแปลงทดลอง

สำหรับการวัดขนาดแปลงทดลองเพื่อให้แต่ละหน่วยทดลองมีขนาดเท่า ๆ กัน หากสภาพพื้นที่ทั้งงานทดลองมีลักษณะเป็นผืนสี่เหลี่ยมก็อาจจะวัดและแบ่งแปลงได้ง่าย แต่บางครั้งนักวิจัยอาจต้องเผชิญกับสภาพพื้นที่ที่มีรูปร่างไม่เป็นผืนสี่เหลี่ยม การวัดแปลงจึงมีความสำคัญ โดยเฉพาะการวัดแปลงให้ได้มุมฉากเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญยิ่ง เพราะหากไม่มีการควบคุม อาจก่อให้เกิดความเสียหายตามมา ยกตัวอย่างเช่น เมื่อแปลงทดลองที่ได้ไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากตามที่ต้องการ อาจส่งผลให้ระยะปลูกไม่เป็นไปตามที่กำหนดไว้หรือได้จำนวนประชากรต่อแปลงปลูกไม่ตรงตามแผนที่วางไว้ ดังนั้นผู้ทดลองจึงควรให้ความสำคัญต่อการวัดและการเตรียมแปลงเพื่อลดความผิดพลาดของงานทดลอง สำหรับขั้นตอนการวัดแปลงสามารถทำได้ดังนี้

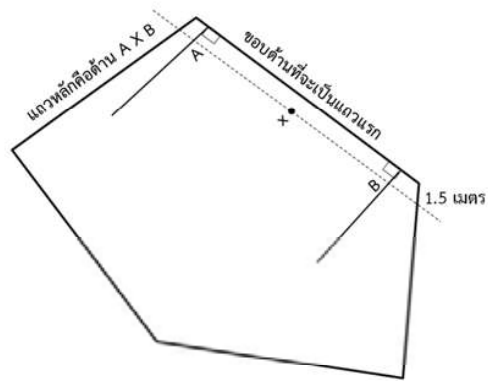
9.4.1 นักวิจัยต้องมีการคำนวณพื้นที่แปลงทดลองใหญ่ทั้งหมด ซึ่งเป็นผลรวมพื้นที่จากแต่ละแปลงย่อยกับส่วนช่องว่างระหว่างแปลง หรือทางเดิน หรือทางระบายน้ำ

9.4.2 การวัดแปลงมุมฉากจะวัดมุมสุดของแปลงใหญ่มุมใดมุมหนึ่งก่อน โดยการจับฉากให้ใช้ดัลล์เมตรวัดแปลงทำมุมฉากความยาวด้านละ 3, 4 และ 5 เมตร ตามลำดับ โดย 3 เป็นด้านกว้าง และ 4 เป็นด้านยาวของแปลง ส่วน 5 เป็นเส้นแถมมุมของสามเหลี่ยมมุมฉาก (ภาพที่ 2.6) แล้วปักเสาไว้ที่ตำแหน่งมุมฉาก จากนั้นให้ดึงเชือกไปที่ตำแหน่งปลายแปลงอีกด้านหนึ่งก่อนที่จะจับมุมฉากในลักษณะเดียวกันตามที่อธิบายไว้ข้างต้น

9.4.3 เมื่อวัดมุมฉากครบทั้ง 4 ด้านแล้ว ให้ทำการวัดแปลงย่อยตามจำนวนที่ต้องการ เช่น ขนาดของแปลงย่อยเท่ากับ 5×10 เมตร และต้องการเว้นช่องทางเดินระหว่างแปลงย่อยเท่ากับ 0.60 เมตร และช่องว่างระหว่างบล็อกเท่ากับ 1 เมตร ผู้วิจัยอาจเริ่มโดยการวัดตามแนวยาวของแปลงก่อน ด้วยการเริ่มต้นปักเสาไม้ไผ่อันที่ A ไว้ตรงมุมฉาก จากนั้นวัดความยาวไป 10 เมตร แล้วปักไม้ไผ่อันที่ B แล้วเว้น 0.60 เมตร ปักไม้ไผ่อันที่ C วัดไปอีก 10 เมตร ปักไม้ไผ่อันที่ D ทำไปเรื่อยจนกว่าจะได้แปลงย่อยครบตามความต้องการตามแนวยาว (10 แปลง) เมื่อวัดด้านยาวเสร็จก็ทำการวัดด้านกว้างซึ่งจะมีทั้งหมด 4 บล็อก โดยเริ่มจากเสาไม้ไผ่อันที่ A แล้ววัดไป 5 เมตร ปักไม้ไผ่อันที่ E วัดไปอีก 1 เมตรปักไม้ไผ่อันที่ F วัดไปอีก 5 เมตร ปักไม้ไผ่อันที่ G ทำไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้ครบตามจำนวนแปลงย่อยที่ต้องการ (4 แปลง) ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ดังนั้นเมื่อวัดครบทุกด้านก็จะได้แปลงย่อยจำนวน 40 แปลง (ภาพที่ 2.7)

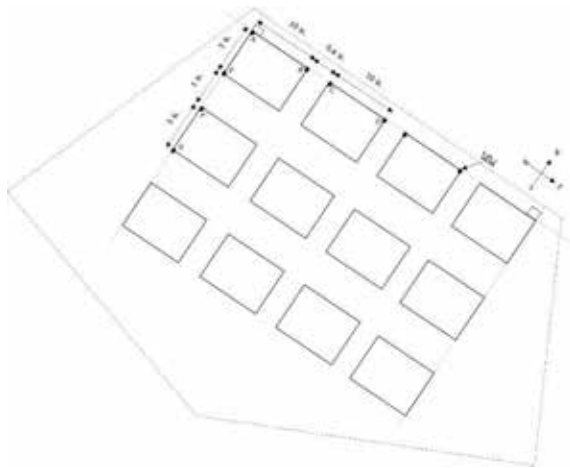


(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.6 การจัดทำเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก โดยใช้ระยะ 3, 4 และ 5 เมตร (ก) เพื่อใช้ในการวัดแปลงให้ได้เป็นมุมฉาก (ข)



ภาพที่ 2.7 การวัดแปลงย่อย การเว้นช่องทางเดินระหว่างแปลง และการเว้นที่ว่างระหว่างบล็อก

9.5 การทำสมุดบันทึกผลการทดลองหรือสมุดแปลง (Field book)

นักวิจัยไม่น้อยมองข้ามความสำคัญของการทำสมุดบันทึกผลการทดลอง โดยหากบันทึกเอาไว้ในกระดาษเป็นแผ่น ๆ ไม่อยู่ในลักษณะที่สามารถเก็บไว้ได้นานหรืออาจเกิดการสูญหาย ซึ่งนักวิจัยต้องไม่ลืมว่าการทดลองนั้นมีการลงทุนลงแรง สิ้นเปลืองงบประมาณมิใช่น้อย ดังนั้นการลงทุนจัดทำสมุดบันทึกผลการทดลองขึ้นมานับว่าเป็นการสิ้นเปลืองเพียงส่วนน้อยเท่านั้น อีกทั้งยังเหมาะสำหรับการเก็บรักษาและการเก็บรวบรวมข้อมูลให้อยู่ในที่เดียวกัน เพื่อความสะดวกและง่ายในการตรวจเช็คข้อมูล แม้ว่าในปัจจุบันจะมีเทคโนโลยีหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ มาช่วยอำนวยความสะดวก ในการบันทึกข้อมูล แต่หากอุปกรณ์เหล่านั้นมีปัญหา ก็จะทำให้ไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ ได้

สมุดบันทึกผลการทดลองเป็นสมุดเล่มเล็ก ๆ ปกแข็ง มีความกว้างประมาณ 4 นิ้ว สูง 7 - 8 นิ้ว และมีความหนาตามต้องการ ส่วนข้างในควรจัดเป็นคอลัมน์ให้มีความกว้างพอที่จะบันทึกตัวเลขต่าง ๆ ได้ (ไพศาล, 2520)

สมุดบันทึกผลการทดลองควรประกอบไปด้วยข้อมูลต่าง ๆ เช่น ชื่อผู้ทดลอง ที่อยู่ เบอร์โทรศัพท์ ชื่อการทดลอง สถานที่ทำการทดลอง แผนการทดลองที่ใช้ ระยะปลูก ขนาดแปลงย่อย แผนการทดลองที่ใช้ กิจกรรมต่าง ๆ ที่ทำระหว่างการทดลอง ผังแปลง (ภาพที่ 2.8) การวางทริตเมนต์ลงในแปลงต่าง ๆ และลักษณะที่ต้องการเก็บบันทึก ซึ่งการเตรียมการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ลงในสมุดบันทึกของแต่ละการทดลองจะแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของแต่ละการทดลอง โดยแต่ละการทดลองนั้นผู้ทดลองต้องตัดสินใจว่าจะบันทึกลักษณะอะไรบ้าง และต้องบันทึกลักษณะใดก่อน-หลัง รวมทั้งจัดลำดับของลักษณะที่ต้องการลงในคอลัมน์ตามลำดับก่อน-หลัง ส่วนการเรียงลำดับทริตเมนต์ลงในสมุดบันทึกผลการทดลองให้ถือตามลำดับของแปลงปลูกเป็นหลัก เช่น การเปรียบเทียบผลผลิตของข้าว 10 พันธุ์ เราอาจเตรียมหน้าสมุดบันทึกผลการทดลองดังภาพที่ 2.9

			Layout																																										
		ชื่อการทดลอง: _____ สถานที่ทำการทดลอง: _____ ระยะปลูก: _____ ขนาดแปลงย่อย: _____ แผนการทดลองที่ใช้: _____ บันทึกกิจกรรมที่สำคัญ เช่น วันปลูก: _____ วันปลูกซ้ำ: _____ ไร่ปลูก: _____ วิธีการวิเคราะห์: _____ วิธีการแปลง: _____	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Block 1</th> <th>Block 2</th> <th>Block 3</th> <th>Block 4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T1 1</td> <td>T1 1</td> <td>T1 1</td> <td>T1 1</td> </tr> <tr> <td>T2 2</td> <td>T2 2</td> <td>T2 2</td> <td>T2 2</td> </tr> <tr> <td>T3 3</td> <td>T3 3</td> <td>T3 3</td> <td>T3 3</td> </tr> <tr> <td>T4 4</td> <td>T4 4</td> <td>T4 4</td> <td>T4 4</td> </tr> <tr> <td>T5 5</td> <td>T5 5</td> <td>T5 5</td> <td>T5 5</td> </tr> <tr> <td>T6 6</td> <td>T6 6</td> <td>T6 6</td> <td>T6 6</td> </tr> <tr> <td>T7 7</td> <td>T7 7</td> <td>T7 7</td> <td>T7 7</td> </tr> <tr> <td>T8 8</td> <td>T8 8</td> <td>T8 8</td> <td>T8 8</td> </tr> <tr> <td>T9 9</td> <td>T9 9</td> <td>T9 9</td> <td>T9 9</td> </tr> <tr> <td>T10 10</td> <td>T10 10</td> <td>T10 10</td> <td>T10 10</td> </tr> </tbody> </table>	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	T1 1	T1 1	T1 1	T1 1	T2 2	T2 2	T2 2	T2 2	T3 3	T3 3	T3 3	T3 3	T4 4	T4 4	T4 4	T4 4	T5 5	T5 5	T5 5	T5 5	T6 6	T6 6	T6 6	T6 6	T7 7	T7 7	T7 7	T7 7	T8 8	T8 8	T8 8	T8 8	T9 9	T9 9	T9 9	T9 9	T10 10	T10 10
Block 1	Block 2	Block 3	Block 4																																										
T1 1	T1 1	T1 1	T1 1																																										
T2 2	T2 2	T2 2	T2 2																																										
T3 3	T3 3	T3 3	T3 3																																										
T4 4	T4 4	T4 4	T4 4																																										
T5 5	T5 5	T5 5	T5 5																																										
T6 6	T6 6	T6 6	T6 6																																										
T7 7	T7 7	T7 7	T7 7																																										
T8 8	T8 8	T8 8	T8 8																																										
T9 9	T9 9	T9 9	T9 9																																										
T10 10	T10 10	T10 10	T10 10																																										

ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างหน้าปก (ก) รายละเอียดของการทดลอง และผังการทดลอง (ข) ของสมุดบันทึกผลการทดลอง

Entry number	Treatment (variety)	Plot number				Plot no.				Plot no.			
		Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4								
1	ชินนาท 1	105	201	302	404	201				301			
2	สุพรรณภูมิ 1	102	204	304	402	102				302			
3	สุพรรณภูมิ 2	104	202	306	410	103				305			
4	สุพรรณภูมิ 3	106	209	309	406	104				304			
5	ปทุมธานี 1	103	203	305	401	105				303			
6	กช31	109	207	301	405	106				306			
7	ดินนาถ 2	107	208	308	409	107				307			
8	กช43	101	206	310	408	108				308			
9	กช49	110	205	303	403	109				309			
10	ไรซ์เบอร์รี่	108	210	307	407	110				310			

(ก)

(ข)

ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างการวางทรีตเมนต์ลงในแปลงทดลอง (ก) และลักษณะที่ต้องการเก็บบันทึก (ข) ลงในสมุดบันทึกผลการทดลอง

10. การเก็บข้อมูล

ในการวัดผลการทดลองหรือเก็บข้อมูลนั้น บางทีจะต้องมีการวัดผลหรือบันทึกสิ่งอื่นที่เกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์กับสิ่งที่ผู้ทดลองสนใจอยู่ เช่น การศึกษาผลผลิตควรจัดเก็บตัวเลขขององค์ประกอบผลผลิต (yield components) ด้วย เช่น ในข้าวอาจจะบันทึกความสูงของต้น จำนวนหน่อ จำนวนรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง น้ำหนักเมล็ด ฯลฯ

บางครั้งผู้ทดลองอาจจะพบว่าพืชบางแปลงอาจจะมีจำนวนต้นไม่เป็นไปตามอัตราที่ปลูกไว้เดิม ดังนั้นควรมีการนับจำนวนต้นในแต่ละแปลงประกอบการพิจารณาด้วย เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติก็อาจใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (analysis of covariance) คือ ทั้งผลผลิตและจำนวนต้นที่ให้ผลผลิตนั้นเพื่อประมาณค่าที่แตกต่างระหว่างทรีตเมนต์จริง ๆ มิใช่เนื่องจากจำนวนต้นที่แตกต่างกัน นอกจากนี้การวัดผลหรือบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งไม่ได้อยู่ในรูปของตัวเลข ผู้ทดลองอาจจะต้องหาวิธีการเทียบหรือเปลี่ยนข้อมูลนั้นให้มาอยู่ในรูปของตัวเลขเพื่อจะได้วิเคราะห์ผลทางสถิติได้ เช่น การให้คะแนนความเป็นโรคไหม้ในข้าว scale 0, 1, 3, 5, 7, 9 ตามแบบ Standard Evaluation System ของ IRRI (2002)

11. การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้ทดลองจะต้องดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ของแผนการทดลองที่ใช้ แต่มีบางกรณีที่ผู้ทดลองอาจจะต้องวิเคราะห์ผลโดยใช้วิธีการที่แตกต่างจากที่วางแผนไว้หรืออาจต้องมีการวิเคราะห์ผลเพิ่มเติมเพื่อใช้ประกอบในการพิจารณาสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง เช่น การทดลองเดิมมี 6 ซ้ำ แต่ 2 ซ้ำเกิดความเสียหายมีข้อมูลไม่สมบูรณ์ กรณีนี้ผู้ทดลองก็จำเป็นต้องตัด 2 ซ้ำนี้ออกไป โดยวิเคราะห์ผลเพียง 4 ซ้ำเท่านั้น หรือการทดลองที่ทำหลาย ๆ แห่ง (location) หรือหลาย ๆ ฤดูปลูก (season) อาจจะต้องมีจำนวนซ้ำต่างกันหรือบางครั้งแผนการทดลองต่างกัน เวลาวิเคราะห์ผลรวม (combined analysis) ผู้ทดลองอาจต้องใช้วิธีวิเคราะห์ผลโดยใช้แผนการทดลองที่เหมาะสมที่สุด เช่น ในสถานที่หนึ่งอาจใช้แผนการทดลองแบบ Latin Square ส่วนอีก 3 สถานที่ใช้แผนการทดลอง Randomized Complete Block Design (RCBD) เมื่อวิเคราะห์ผลรวมอาจใช้แผนการทดลองแบบ RCBD ทั้ง 4 สถานที่ เป็นต้น (สุรพล, 2523)

ในกรณีที่มีข้อมูลสูญหาย (missing data) ผู้ทดลองอาจจะใช้วิธีการประมาณค่าข้อมูลสูญหายจากตัวเลขทั้งหมดที่มีอยู่ตามวิธีการในการคำนวณของแต่ละแผนการทดลองซึ่งจะอธิบายรายละเอียดวิธีการคำนวณในบทที่ 8 หรืออาจใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (analysis of covariance) ถ้าหากว่าข้อมูลที่สูญหายไปไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลทั้งหมด โดยวิธีการคำนวณจะอธิบายไว้ในบทที่ 10

12. การสรุปผลการทดลอง

การสรุปผลการทดลองควรให้อยู่ในรูปแบบที่เข้าใจง่าย ๆ โดยอาจจะแสดงผลการทดลองในรูปแบบของตารางค่าเฉลี่ยหรือในรูปแบบกราฟเพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจได้ง่าย ควรมีหมายเหตุบางอย่างไว้ ถ้าหากว่าผู้ทดลองเห็นว่าอาจมีผลกระทบต่อการทดลองได้ ควรเน้นถึงผลว่ามีประโยชน์อย่างไร มีข้อบกพร่องควรแก้ไขอย่างไร เพื่อให้ผู้อ่านหรือศึกษางานนั้นเข้าใจดียิ่งขึ้น

13. บรรณานุกรม

ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2520. สถิติสำหรับการวิจัยพืช. แก่นเกษตร 5: 235-242.

พรเพ็ญ สมจิตร. 2555. ลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตของข้าวและการประเมินค่า
สัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวเพื่อใช้ในแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร.
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปรเมศ บรรเทิง. 2556. สถิติเพื่อการวิจัยทางการเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น. 227 หน้า.

สุรพล อุปติสสกุล. 2523. สถิติการวางแผนการตลาดเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 145 หน้า.

IRRI. 2002. **Standard Evaluation System for Rice**. International Rice Research
Institute. Manila, Phillipines. 56 p.

Phakamas, N., Gatewit, P., Kongsamret, M., Somchit, P. and C. Aninbon. 2023. Effect of
eggshell wastes from different bird species on growth and yield of peanut.
Current Applied Science and Technology. 23(3): 1-9.

ISBN 978-616-62-9640-2



9 786166 296402

300 บาท

หลักและเทคนิคการวางแผน
การทดลองทางพีชศาสตร์