



เอกสารประกอบคำบรรยาย
การฝึกอบรมสถิติหลักสูตร

การใช้สถิติกับงานวิจัยเกษตร



กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์ทางสถิติงานวิจัยเกษตร
กองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตร

คำนำ

เอกสารนี้เป็นการรวบรวมเนื้อหาวิชาสถิติที่ใช้ในงานวิจัยทางการเกษตร 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

สารบัญ

	หน้า
1. หลักวิชาสถิติ	1
ความหมายของสถิติ	1
ศัพท์สถิติ	1
สัญลักษณ์	2
การจัดและอธิบายข้อมูล	3
การจัดลำดับ	3
การแจกแจงความถี่	3
การวัดแนวโน้มส่วนกลาง	7
การวัดการกระจาย	8
การแจกแจงแบบปกติ	11
การแจกแจงแบบ t	11
การแจกแจงแบบ F	12
การแจกแจงแบบไคสแควร์	12
การแจกแจงของตัวอย่าง	13
การประมาณค่าและการทดสอบ	14
การประมาณค่า	14
การทดสอบสมมติฐาน	15
การทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากร	17
การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม	18
การทดสอบความแตกต่างระหว่างความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่ม	20
การทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่มแบบจับคู่	24
ทดสอบความแตกต่างระหว่างความแปรปรวนของประชากรหลายกลุ่ม	26
2. หลักสำคัญในการวางแผนงานทดลอง	29
คำศัพท์ต่าง ๆ ที่ควรทราบ	30
หลักสำคัญในการวางแผนงานทดลอง	31
3. แบบแผนการทดลองปัจจัยเดียว	33
แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด	33
การสุ่มและแผนผังการทดลอง	33

การวิเคราะห์ผลการทดลอง	34
แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์	43
การจัดบล็อก	43
การสุ่มและแผนผังการทดลอง	44
การวิเคราะห์ผลการทดลอง	44
เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ CRD	48
แผนการทดลองแบบละตินสแควร์	49
การสุ่มและแผนการทดลอง	49
การวิเคราะห์ผลการทดลอง	51
4. การทดสอบมากกว่าปัจจัยเดียว	56
การทดลองแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย	58
Trend Comparison	73
Factorial ที่มีทรีตเมนต์เพิ่มเติม	74
Split plot Design	79
Randomization และ Layout	80
Split plot แบบพิเศษ	108
Split Block (or Strip plot) Design	111
3 Factors Factorial Experiment	125
5. สหสัมพันธ์และรีเกรสชัน	134
Regression Analysis	134
Correlation Analysis	137
Coefficient of Determination	138

หลักวิชาสถิติ

ความหมายของสถิติ

สถิติมีความหมายอย่างกว้าง ๆ 2 ประการ คือ

1. หมายถึงยอดตัวเลขที่ได้จากการรวบรวม เพื่อใช้บรรยายเหตุการณ์ข้อเท็จจริงต่าง ๆ เช่น สถิติผลผลิตข้าวโพดของประเทศไทย สถิติการเกิดการตาย สถิติน้ำฝน เป็นต้น

2. หมายถึงศาสตร์ที่ว่าด้วยหลักการและระเบียบวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการเก็บรวบรวม การนำเสนอ การวิเคราะห์ และการตีความหมายของตัวเลขเหล่านั้น

ตัวเลขเพียงตัวเดียวหรือความจริงเพียงข้อเดียวไม่ก่อให้เกิดสถิติ เช่น ในการแข่งขันวิ่ง 100 เมตร ผู้ชนะทำสถิติได้ 10 วินาที ไม่ถือว่าเป็นสถิติตามคำนิยามแต่เป็นข้อมูลประเภททะเบียน ในลักษณะของ “best record”

สถิติแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive) ได้แก่ วิธีการทางสถิติ ที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรวบรวมข้อมูลจัดให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถสรุปคุณสมบัติของประชากรที่เราศึกษาอยู่ เช่น ทำตารางเสนอเป็นแผนภาพ เป็นต้น

2. สถิติเชิงอ้างอิง (Inferential) ได้แก่ วิธีการทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์หาข้อสรุปเกี่ยวกับประชากรโดยอาศัยผลของการศึกษาจากตัวอย่างบางส่วนมาอ้างอิงว่าเป็นคุณสมบัติของประชากรนั้น

ประโยชน์ของสถิติ

ประโยชน์ของสถิติพอสรุปได้ดังนี้

1. เป็นสิ่งชี้ให้เห็นถึงข้อเท็จจริงของเหตุการณ์ หรือ เรื่องราวที่กำลังสนใจศึกษา โดยใช้หลักเกณฑ์ของการมีเหตุผลที่ดี
2. เป็นเครื่องมือในการวางแผนของโครงการหรืองานต่าง ๆ
3. เป็นระเบียบวิธีสำหรับการวิเคราะห์ในงานวิจัยทั่ว ๆ ไป
4. เป็นเครื่องมือสำหรับการประเมินผลงานที่ได้กระทำไปแล้ว

ศัพท์สถิติ

ค่าสังเกต (Observation) หมายถึงค่าที่วัดได้ของลักษณะใดลักษณะหนึ่ง เช่น ในการทดลองเปรียบเทียบพันธุ์ข้าว ค่าสังเกตอาจเป็นผลผลิตข้าวเป็นกิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละแปลง

ข้อมูล (Data) หมายถึงกลุ่มของค่าสังเกตที่ได้จากการทดลองใดทดลองหนึ่ง ข้อมูลจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. **ข้อมูลเชิงปริมาณ** (Quantitative Data) ได้แก่ ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับตัวเลข เช่น ความสูง น้ำหนัก อายุ ฯลฯ

2. **ข้อมูลเชิงคุณภาพ** (Qualitative Data) ได้แก่ ข้อเท็จจริงที่ไม่เกี่ยวกับตัวเลข เช่น พันธุ์พืช เพศ ฯลฯ

ตัวแปร (Variable) หมายถึงลักษณะบางอย่างที่เราสนใจศึกษา โดยที่ลักษณะนั้น ๆ สามารถเปลี่ยนค่าได้ เช่น ในการศึกษาคัดพันธุ์ปอแก้ว ตัวแปรอาจจะเป็นน้ำหนักเส้นใยแห้ง และความสูง ตัวแปร มี 2 ชนิด คือ ชนิดที่หนึ่ง ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ซึ่งเป็นเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงให้ตัวแปรชนิดที่สอง ซึ่งเรียกว่า ตัวแปรตาม (Dependent Variable)

ตัวแปรมี 2 ลักษณะ คือ

1. **ตัวแปรต่อเนื่อง** (Continuous Variable) ได้แก่ ตัวแปรที่ให้ค่าเป็นเลขที่ต่อเนื่อง หรือมีจุดทศนิยม เช่น ความสูง น้ำหนัก

2. **ตัวแปรไม่ต่อเนื่อง** (Discrete Variable) ได้แก่ ตัวแปรที่ให้ค่าเป็นตัวเลขไม่ต่อเนื่อง เช่น จำนวนรวงข้าวต่อกอ เป็นต้น ตัวแปรชนิดนี้มักให้ค่าที่เกิดจากตัวเลขจำนวนเต็มเสมอ

ประชากร (Population) หมายถึง กลุ่มของสิ่งที่เราค่าสังเกตศึกษาทั้งหมด ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ค่าที่วัดได้จากประชากร เรียกว่า **พารามิเตอร์** (Parameter)

ตัวอย่าง (Sample) หมายถึง ส่วนหนึ่งของประชากรที่เลือกขึ้นมาเพื่อเป็นตัวแทนของประชากรนั้น ๆ ตัวอย่างที่เลือกมาโดยการสุ่มเรียก ตัวอย่างสุ่ม (Random Sample) ค่าที่วัดได้จากตัวอย่างสุ่มนี้เรียกว่า **ค่าสถิติ** (Statistic)

สัญลักษณ์ (Notation)

N	จำนวนข้อมูลของประชากร
n	จำนวนข้อมูลของตัวอย่าง
X_i	ค่าของข้อมูล (ค่าสังเกต) แต่ละค่า
μ	ค่าเฉลี่ยของประชากร
$\bar{X}$	ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง
σ^2	ความแปรปรวนของประชากร
S^2	ความแปรปรวนของตัวอย่าง
Σ	ผลรวม

การจัดและอธิบายข้อมูล

ข้อมูลสถิติที่รวบรวมได้ ถ้ายังไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงเพื่อความประสงค์อย่างหนึ่งอย่างใด เรียกว่า ข้อมูลดิบ (Raw Data) ข้อมูลดิบนี้ยังใช้ประโยชน์ไม่ได้มากนักควรจะได้มีการจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปที่เข้าใจง่าย เช่น การจัดลำดับและการแจกแจงความถี่

การจัดลำดับ (Arrays) คือ การจัดเรียงค่าสังเกตจากค่ามากไปหาน้อยหรือจากค่าน้อยไปหา มาก การจัดเรียงนี้จะทำให้เห็นลักษณะของข้อมูลได้ดีขึ้น แม้จะยังไม่ได้ทำการวิเคราะห์ผลก็พอจะมองเห็นว่าค่าใดเป็นค่าสูงสุด ค่าใดเป็นค่าต่ำสุด นอกจากนี้ยังพอจะเห็นการกระจายของข้อมูลชุดนี้ว่ามีมากน้อยเพียงใด

ตัวอย่างที่ 1 คะแนนสอบวิชาสถิติเบื้องต้นของนักเรียน 60 คน (คะแนนเต็ม 200) เป็นดังนี้

161	88	149	198	95	64	134	137	102	123
116	87	101	46	176	109	88	102	70	109
117	174	118	96	76	99	151	77	102	52
70	145	83	80	77	44	71	98	131	128
145	74	76	153	38	76	186	137	171	128
154	53	90	151	107	131	138	97	79	158

จากการจัดลำดับคะแนนจากน้อยไปหามาก จะได้

38	70	76	87	97	102	118	134	149	161
44	70	77	88	98	107	123	137	151	171
46	71	77	88	99	109	128	137	151	174
52	74	79	90	101	109	128	138	153	176
53	76	80	95	102	116	131	145	154	186
64	76	83	96	102	117	131	145	158	198

ทำให้เห็นได้โดยง่ายว่าคะแนนต่ำสุดที่นักเรียนทำได้ คือ 38 คะแนน ขณะที่คะแนนสูงสุดเป็น 198 คะแนน

การแจกแจงความถี่ (Frequency Distribution) คือ การจัดแบ่งค่าสังเกตออกเป็นพวกหรือชั้น (Class) และนับจำนวนค่าสังเกตที่ตกอยู่ในแต่ละชั้น การแจกแจงความถี่นี้จะแสดงด้วยตารางหรือกราฟก็ได้ เช่น

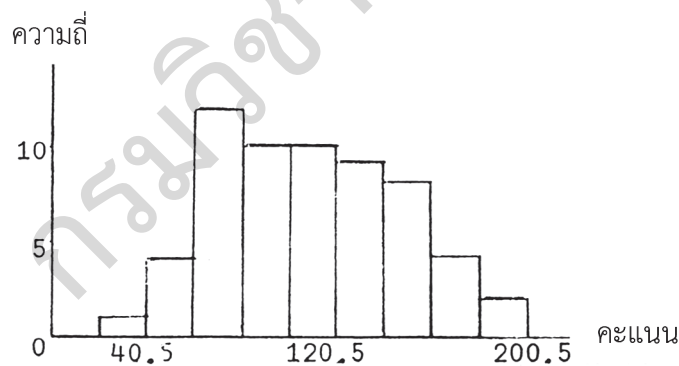
1. ตารางแจกแจงความถี่ เป็นการจัดกลุ่มและนำเสนอในรูปตาราง

ตารางที่ 1 แสดงคะแนนสอบวิชาสถิติของนักเรียน จากคะแนนเต็ม 200 คะแนน

คะแนน	ความถี่
20 – 40	1
41 – 60	4
61 – 80	12
81 – 100	10
101 – 120	10
121 – 140	9
141 – 160	8
161 – 180	4
181 – 200	2
รวม	60

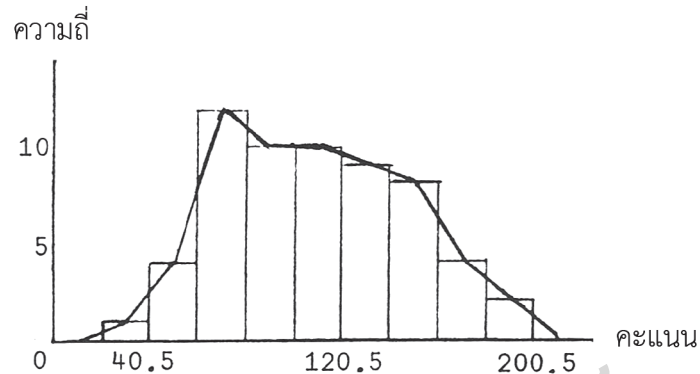
2. ฮิสโตแกรม (Histogram) เป็นการแสดงด้วยรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหลายรูปต่อเนื่องกัน และให้พื้นที่ของสี่เหลี่ยมผืนผ้าแต่ละรูปแทนความถี่ของแต่ละช่วง

รูปที่ 1 ฮิสโตแกรมแสดงคะแนนสอบวิชาสถิติของนักเรียน



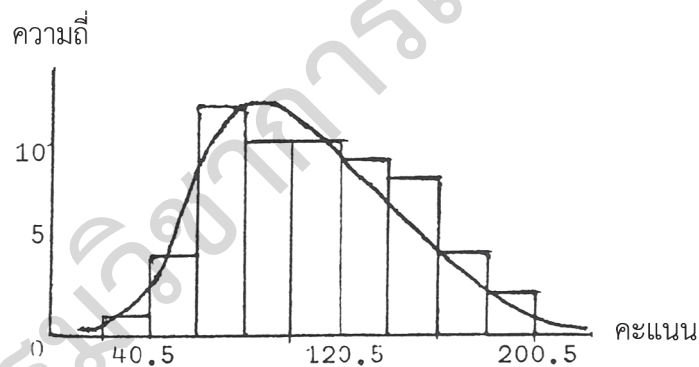
3. รูปหลายเหลี่ยมแห่งความถี่ (Polygon) เป็นการลากเส้นตรงเชื่อมจุดกึ่งกลางยอดของแต่ละรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในฮิสโตแกรม

รูปที่ 2 รูปหลายเหลี่ยมแห่งความถี่ แสดงคะแนนสอบวิชาสถิติของนักเรียน อาจแยกชนิดได้ตามรูปร่าง



4. เส้นโค้งของความถี่ (Frequency Curve) เป็นการปรับเส้นตรงจากรูปหลายเหลี่ยมแห่งความถี่ให้เป็นเส้นโค้ง เส้นโค้งนี้จะแสดงลักษณะการแจกแจง (Distribution) ของข้อมูล

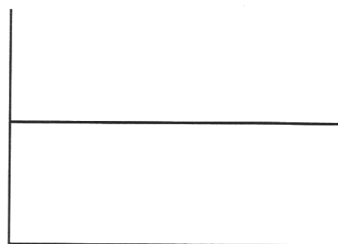
รูปที่ 3 เส้นโค้งของความถี่ แสดงคะแนนสอบวิชาสถิติ



การแจกแจงความถี่มีหลายชนิด อาจแยกชนิดได้ตามรูปร่างของกราฟที่ได้ ที่พบมาก มีดังนี้

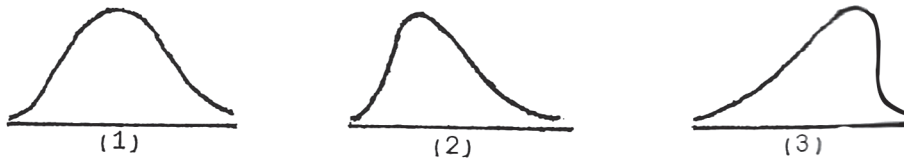
1. รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ถ้าความถี่ของแต่ละชั้นมีค่าเท่ากัน

รูปที่ 4 ตัวอย่างการแจกแจงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า



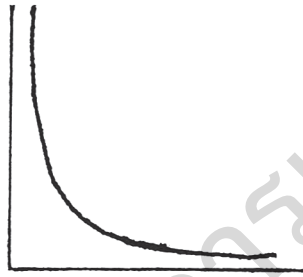
2. รูประฆัง ถ้าความถี่ของคะแนนตอนกลาง ๆ มากกว่าคะแนนหัวท้าย การแจกแจงรูประฆังนี้มี 3 แบบ

รูปที่ 5 ตัวอย่างเส้นโค้งรูประฆัง (1) เส้นโค้งปกติ (2) เส้นโค้งเบ้ทางขวา (3) เส้นโค้งเบ้ทางซ้าย



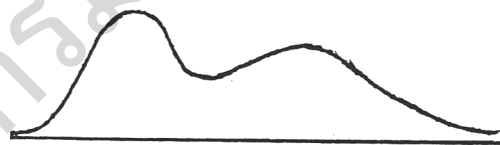
3. รูปตัว J กลับ ถ้าความถี่สูงของคะแนนน้อย ๆ เท่านั้น

รูปที่ 6 ตัวอย่างเส้นโค้งรูปตัว J กลับ



4. รูป Bimodal เป็นการแจกแจงคล้ายการแจกแจงรูประฆัง แต่มียอดระฆังสองยอด มักพบมากในกรณีที่มีข้อมูล 2 ชุดผสมกัน

รูปที่ 7 ตัวอย่างเส้นโค้งรูป Bimodal



การนำเสนอข้อมูลในรูปตารางหรือกราฟ เพื่อใช้ในการสรุปและแสดงปริมาณของข้อมูล เป็นการอธิบายที่ยังไม่ละเอียดพอ จำเป็นจะต้องใช้การคำนวณเข้ามาช่วยเพื่อหาค่า ๆ หนึ่งหรือมากกว่า สำหรับใช้เป็นสถิติหรืออธิบายลักษณะของข้อมูลให้ละเอียดยิ่งขึ้นอีก การวัดมูลฐานนั้น ได้แก่ การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (Measures of central tendency) และการวัดการกระจาย (Measures of dispersion or variation)

การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง เป็นวิธีการที่จะแสดงให้เห็นถึงศูนย์กลางของลักษณะนั้น ๆ การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางในวิชาสถิติมีหลายประเภท ดังนี้

1. **ฐานนิยม (Mode)** เป็นวิธีง่ายที่สุดในการชี้ให้เห็นถึงลักษณะการกระจายของข้อมูล ฐานนิยมจะเป็นค่าข้อมูลที่เกิดบ่อยที่สุด (มีความถี่สูงสุด) ในข้อมูลชุดหนึ่ง ๆ อาจจะไม่มีความถี่เลยก็ได้ ถ้าค่าของข้อมูลในชุดนั้น ๆ แตกต่างกันทุกตัว หรืออาจจะมีฐานนิยมมากกว่า 1 ค่า ถ้ามีข้อมูลที่ซ้ำกันในจำนวนที่เท่ากัน

อย่างไรก็ตามฐานนิยมไม่ได้ช่วยทำให้เห็นภาพพจน์เกี่ยวกับลักษณะของข้อมูลมากนัก เพราะบอกได้แต่เพียงค่าของข้อมูลที่มีความถี่มากที่สุดแต่ไม่ได้บอกถึงตำแหน่งและความสัมพันธ์กับข้อมูลตัวอื่น ๆ

2. **มัธยฐาน (Median)** คือ ค่าของข้อมูลที่อยู่ตรงกลางของกลุ่มข้อมูลครึ่งหนึ่ง (50%) ของจำนวนข้อมูลมีค่าสูงกว่าค่ามัธยฐาน และอีกครึ่งหนึ่งมีค่าต่ำกว่า ในกรณีที่จำนวนข้อมูลเป็นเลขคู่แล้ว มัธยฐาน จะเท่ากับค่าเฉลี่ยของข้อมูล 2 ค่าที่อยู่ตรงกลาง

ค่ามัธยฐานอธิบายลักษณะการกระจายของกลุ่มข้อมูลได้ดีกว่าฐานนิยมเล็กน้อยกล่าวคือ มัธยฐานบอกเราถึงค่าข้อมูลที่อยู่กึ่งกลาง แต่ยังคงไม่ได้พิจารณาข้อมูลที่อยู่สูงกว่าหรือต่ำกว่า

3. **ค่าเฉลี่ย (Mean หรือ Average : $\mu, \bar{x}$)** หรือค่าเฉลี่ยเลขคณิตได้จากการรวมทุกค่าของข้อมูลแล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด

สูตรที่ใช้คำนวณหา Mean :

$$\text{ของประชากร : } \mu = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

$$\text{ของตัวอย่าง : } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยคำนวณมาจากค่าของข้อมูลทุกตัว ขณะที่ฐานนิยมพิจารณาจากความถี่ และมัธยฐานพิจารณาจากตำแหน่งเท่านั้น โดยปกติค่าเฉลี่ยจะเป็นตัวแทนของการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางที่ดีที่สุด

คุณสมบัติบางประการของค่าตัวกลาง

1. การกระจายของข้อมูลเท่ากันทั้งสองข้าง (Symmetry) ค่าเฉลี่ยมัธยฐานและฐานนิยมจะเท่ากัน

2. ถ้าการกระจายของข้อมูลทั้งสองข้างไม่เท่ากัน คือ เบ้ไปข้างใดข้างหนึ่ง (Skew) ค่าเฉลี่ย มัธยฐาน และฐานนิยมจะแตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยจะถูกกระทบกระเทือน จากข้อมูลที่มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุด ในกรณีนี้มัธยฐานหรือฐานนิยมจะเป็นตัวแทนที่ดีกว่าค่าเฉลี่ย

3. เมื่อต้องการหาว่าข้อมูลชุดนั้นมีการกระจายอย่างไร จะต้องหาค่าเฉลี่ย เพราะค่าเฉลี่ยจะเป็นค่าหนึ่งที่ยกลักษณะของการกระจาย (อีกคำ คือ ความแปรปรวน)

4. ผลรวมของผลต่างระหว่างค่าของข้อมูลแต่ละตัวกับค่าเฉลี่ยแล้วยกกำลังสอง (Sum of square of deviation from mean : $\sum(X_i - \bar{X})^2$) จะมีค่าน้อยที่สุด ถ้าใช้ตัวกลางอื่น ๆ แทนจะได้ค่ามากกว่านี้

5. ถ้าเลือกตัวอย่างขนาดใหญ่หลาย ๆ ชุด จากประชากรชุดเดียวกัน ค่าเฉลี่ยค่อนข้างจะคงที่กว่ามัธยฐานและฐานนิยม ฉะนั้นในทางทฤษฎีจึงนิยมใช้ค่าเฉลี่ยเป็นค่าตัวกลาง

ตัวอย่างที่ 2 ข้อมูลชุดหนึ่งประกอบด้วยค่าสังเกต จำนวน 11 ค่า ดังนี้

11 14 17 15 17 17 19 10 13 16 14

จากการเรียงลำดับข้อมูลจะได้

10 11 13 14 14 15 16 17 17 17 19

และการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางทั้ง 3 แบบได้ค่าดังนี้

Mode	=	17
Median	=	15
Mean	=	$\frac{10 + 11 + 13 + \dots + 19}{11} = 14.8$

การวัดการกระจาย ค่าเฉลี่ยเพียงอย่างเดียว ไม่พอเพียงสำหรับอธิบายลักษณะเฉพาะของข้อมูลชุดนั้น ๆ เพราะการแจกแจงความถี่ของข้อมูลชุดต่าง ๆ อาจจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากัน แต่รูปของการแจกแจงความถี่ต่างกันมาก เช่น

ตัวอย่างที่ 3 ข้อมูลชุดที่ 1 7 25 58 74 86 ค่าเฉลี่ย = 50
ข้อมูลชุดที่ 2 47 48 49 51 55 ค่าเฉลี่ย = 50

ข้อมูลทั้งสองชุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากันคือ 50 แต่ข้อมูลชุดที่ 1 ประกอบด้วยค่าน้อยและค่ามากคละกันไป ขณะที่ชุดที่ 2 ข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกัน ถ้าดูแต่ค่าเฉลี่ยแต่เพียงลำพังแล้ว อาจจะทำให้เข้าใจผิดได้ว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีลักษณะคล้ายกัน จึงนับว่าค่าเฉลี่ยแต่เพียงอย่างเดียวให้ประโยชน์ไม่มากนัก

เพียงให้ทราบว่าข้อมูลแต่ละชุดมีการกระจายมากน้อยเพียงใด จึงมีการวัดการกระจายของข้อมูลขึ้น หากข้อมูลชุดใดมีการกระจายมากแสดงว่าค่าของข้อมูลมีใหญ่และเล็กคละกันมาก แต่ถ้ามีการกระจายน้อยก็แสดงว่าข้อมูลในชุดนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน

การวัดการกระจายของข้อมูลที่สำคัญมี 4 แบบ คือ

1. **พิสัย (Range)** คือ ผลต่างของค่าสูงสุดกับต่ำสุด จากตัวอย่างที่ 3 พิสัยของข้อมูลชุดที่หนึ่งเท่ากับ $86 - 7 = 79$

พิสัยเป็นการวัดการกระจายอย่างคร่าว ๆ เท่านั้น ข้อเสียของพิสัยก็คือ ไม่ได้ใช้ข้อมูลทั้งหมด แต่ใช้เพียงค่าสูงสุดกับต่ำสุดเท่านั้น

2. **ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย (Average deviation หรือ Mean absolute deviation : M.D.)**
ในการวัดส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยนี้ ข้อมูลทุกตัวจะถูกนำมาคำนวณด้วย ถ้าข้อมูลมีการกระจายมากส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยจะมีขนาดใหญ่ แต่ถ้าข้อมูลมีการกระจายน้อยส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยจะมีขนาดเล็ก ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยหาได้จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{M.D.} &= \frac{|X_1 - \bar{X}| + |X_2 - \bar{X}| + \dots + |X_N - \bar{X}|}{N} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}|}{N} \end{aligned}$$

เมื่อ $| \quad |$ = absolute value = ค่าของตัวเลขที่ตัดเครื่องหมายทิ้ง
ตัวอย่างที่ 4 จากตัวอย่างที่ 3 ข้อมูลชุดที่ 1 ประกอบด้วยค่าสังเกต 5 ค่า ดังนี้

7 25 58 74 และ 86

$$\text{ค่าเฉลี่ย } (\bar{X}) = \frac{7 + 25 + 58 + 74 + 86}{5} = 50$$

ค่า mean deviation

$$\begin{aligned} \text{M.D.} &= \frac{|7 - 50| + |25 - 50| + \dots + |86 - 50|}{5} \\ &= \frac{136}{5} = 27.2 \end{aligned}$$

3. **ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation : σ , S)** เป็นการวัดการกระจายโดยใช้ผลรวมของกำลังสองของส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย แล้วหาราก (Root) ที่ 2

สูตรหา Standard deviation :

$$\text{ของประชากร} : \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}}$$

$$\text{ของตัวอย่าง} : S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

มีอีกสูตรที่ใช้ในการคำนวณ (Working formula) คือ

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}}{n-1}}$$

กำลังสองของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเรียกว่า ความแปรปรวน (Variance : σ^2, S^2)

โดยการใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะสามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับการตัดเครื่องหมายลบทิ้งโดยใส่เครื่องหมาย | | เพราะการยกกำลังสองของส่วนเบี่ยงเบนแต่ละค่าจะได้เครื่องหมายเป็นบวกทั้งหมด นอกจากนี้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานยังใช้ในสมการใช้วิชาสถิติขั้นสูงด้วย จึงนับว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นมาตรวัดการกระจายที่ดีที่สุดในจำนวนมาตรวัดการกระจายทั้งหมด

ตัวอย่างที่ 5 ค่าความแปรปรวนและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากข้อมูลในตัวอย่างที่ 4 คือ

ความแปรปรวน (Variance) :

$$\begin{aligned} S^2 &= \frac{(7-50)^2 + (25-50)^2 + \dots + (86-50)^2}{(5-1)} \\ &= 1,102.50 \end{aligned}$$

และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

$$S = \sqrt{1,102.50} = 33.20$$

4. สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of variation : C.V.) เป็นค่าสถิติที่แสดงการกระจายของข้อมูลแบบ Relative dispersion นั่นคือ มีหน่วยในรูปร้อยละ เนื่องจาก C.V. ไม่ขึ้นกับหน่วยที่วัด จึงใช้เปรียบเทียบการกระจายของข้อมูล 2 ชุด ได้โดยไม่จำเป็นต้องเป็นหน่วยเดียวกัน เมื่อพอจะทราบค่า C.V. จากประสบการณ์แล้วเราจะใช้ประกอบการคำนวณหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมได้ นอกจากนี้ ค่า C.V. ยังใช้ประเมินค่าความถูกต้องของค่าประมาณหรือ Treatment effect อีกด้วย ค่า C.V. คำนวณได้โดย

$$C.V. = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\%$$

ตัวอย่างที่ 6 จากข้อมูลชุดที่ 2 ในตัวอย่างที่ 3 ประกอบด้วยค่าสังเกต 5 ค่า ดังนี้

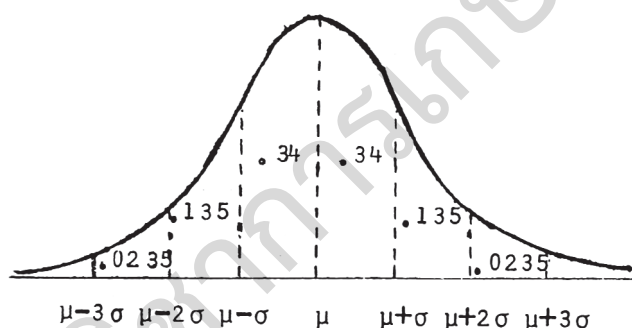
47	48	49	51	และ	55
$\bar{X}$	=	50			
S^2	=	10	S	=	3.1623
และ C.V.	=	$\frac{3.1623}{50} \times 100$	=	6.3%	

การแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution)

การแจกแจงแบบปกติ เป็นการแจกแจงที่สำคัญที่สุดในการศึกษาสถิติ พบในตัวแปรส่วนใหญ่ ประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ เรียกว่า ประชากรปกติ (Normal population) ซึ่งมีตัวแปรเป็นตัวแปรต่อเนื่อง (Continuous variable) มีค่าระหว่าง $-\infty$ ถึง ∞ และเส้นโค้งแสดงการแจกแจงแบบปกติ เรียกโค้งปกติ ซึ่งมีลักษณะ ดังนี้

1. เป็นรูปประหลาดว่า เส้นโค้งทั้งสองข้างเหมือนกัน (Symmetric) มีความโด่งพอเหมาะ คือมีความโด่งแบบ Meso kurtic
2. ข้อมูลที่มีการกระจายแบบปกติ จะมีค่า Mean Median และ Mode เท่ากันและอยู่ตรงกลาง
3. พื้นที่ภายใต้โค้งทั้งหมด หมายถึง Probability ของเหตุการณ์ทั้งหมด (Sample space) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 100%

รูปที่ 8 การแจกแจงแบบปกติ และ Probability ที่สัมพันธ์กัน



การแจกแจงแบบ t (t - distribution)

การแจกแจงแบบ t เป็นการแจกแจงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในวิชาสถิติ สามารถใช้แทนการแจกแจงปกติในกรณีที่ไม่ทราบค่าความแปรปรวน ค่าสถิติ t คำนวณได้โดย

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad \text{หรือ} \quad \frac{\bar{X} - \mu}{S_{\bar{x}}}$$

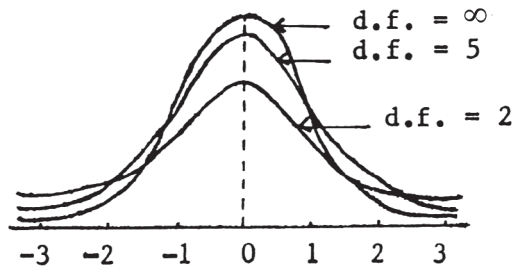
คุณสมบัติของการแจกแจงแบบ t มีดังนี้

1. เส้นโค้งเป็นรูปประหลาดว่า มีลักษณะสมมาตรรอบจุดศูนย์กลาง และมีความโด่งแบบ Platy kurtic ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ Degree of Freedom (df)
2. มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่จุดศูนย์
3. ตัวแปร t เป็นตัวแปรลักษณะต่อเนื่อง มีค่าตั้งแต่ $-\infty$ ถึง ∞

4. พื้นที่ภายใต้โค้งทั้งหมดหมายถึง Probability ของเหตุการณ์ทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 100%

5. เส้นโค้งการแจกแจงแบบ t จะใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบปกติเมื่อค่า (df) เข้าใกล้ ∞

รูปที่ 9 การแจกแจงแบบ t

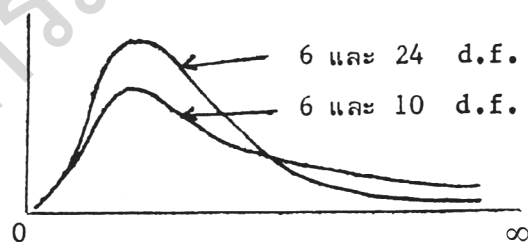


การแจกแจงแบบ F (F – distribution)

ถ้า S_1^2 และ S_2^2 เป็นค่าความแปรปรวนของตัวอย่างขนาด n_1 และ n_2 ซึ่งต่างถูกสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ และตัวอย่างทั้งสองชุดเป็นอิสระต่อกันแล้ว $(S_1^2 / \sigma_1^2) / (S_2^2 / \sigma_2^2)$ จะมีการแจกแจงแบบ F ซึ่งมี Degree of Freedom $(n_1 - 1)$ และ $(n_2 - 1)$ คุณสมบัติของการแจกแจงแบบ F มีดังนี้

1. เส้นโค้งเป็นลักษณะเบ้ขวา และทุกขณะที่ขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น เส้นโค้ง F จะแบนน้อยลง
2. ตัวแปร F เป็นตัวแปรลักษณะต่อเนื่อง มีค่าระหว่าง 0 ถึง ∞
3. พื้นที่ภายใต้โค้ง F หมายถึง Probability ของเหตุการณ์ทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 100%

รูปที่ 10 การแจกแจงแบบ F

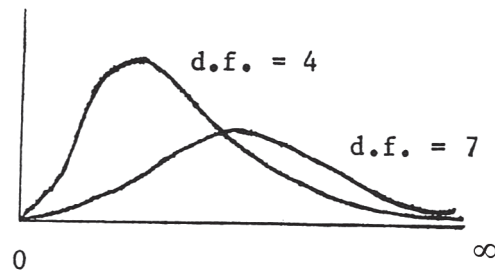


การแจกแจงแบบไคสแควร์ (χ^2 – Distribution)

ไคสแควร์ (Chi – Square หรือ χ^2) ก็คือกำลังสองของ Standard normal (Z) คุณสมบัติของการแจกแจงแบบ χ^2 มีดังนี้

1. เป็นโค้งเบ้ในลักษณะเบ้ขวา n มีขนาดใหญ่ขึ้น โค้ง χ^2 จะแบนน้อยลง
2. ตัวแปร χ^2 เป็นตัวแปรลักษณะต่อเนื่อง มีค่าระหว่าง 0 ถึง ∞
3. พื้นที่ภายใต้โค้ง χ^2 ทั้งหมดหมายถึง Probability ของเหตุการณ์ทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 100%

รูปที่ 11 การแจกแจงแบบ χ^2



การแจกแจงตัวอย่าง (Sampling distribution)

ตามจำกัดความ Sampling distribution หมายถึงการแจกแจงโอกาสที่ค่าสถิติ (Statistic) จะเป็นไปได้ทั้งหมดถ้าเลือกตัวอย่างทุกชุด (ที่จะเป็นไปได้ทั้งหมด) ที่มีขนาดคงที่จากประชากร (Population) ที่กำหนดให้

ตัวอย่าง เช่น ถ้า Population มีขนาด $N = 3$ ประกอบด้วย 1,2,3 และเราเลือก Sample ขนาด $n = 2$ แบบใส่คืนแล้วมีโอกาสที่จะได้ตัวอย่างแบบต่าง ๆ ถึง 9 ชุด ดังนี้

ชุดที่	ตัวอย่าง	ค่าสถิติ	
		$\bar{X}$	S^2
1	1,1	1	0
2	1,2	1.5	0.5
3	1,3	2	2
4	2,1	1.5	0.5
5	2,2	2	0
6	2,3	2.5	0.5
7	3,1	2	2
8	3,2	2.5	0.5
9	3,3	3	0
รวม		18	6

ค่า Parameter :

$$\mu = \frac{1+2+3}{3} = 2$$

$$\sigma^2 = \frac{(1-2)^2 + (2-2)^2 + (3-2)^2}{3} = \frac{2}{3}$$

จะเห็นได้ว่า 1. $\bar{X}$ ทุกค่าไม่เท่ากับ μ (มีบางค่าของ $\bar{X}$ เท่านั้นที่เท่ากับ μ)

แต่ $\bar{\bar{X}} = \mu$

เมื่อ $\bar{\bar{X}} = \frac{\Sigma \bar{X}}{\text{จำนวนตัวอย่างที่เป็นไปได้}} = \frac{18}{9} = 2$

2. $S^2 \neq \sigma^2$ แต่ $\bar{S}^2 = \sigma^2$

เมื่อ $\bar{S}^2 = \frac{\Sigma S^2}{\text{จำนวนตัวอย่างที่เป็นไปได้}} = \frac{6}{9} = \frac{2}{3}$

เมื่อ $\bar{X} \neq \mu$ ค่าสถิติที่วัดความแตกต่างระหว่างค่า $\bar{X}$ กับ μ ก็คือ $\sigma_{\bar{X}}$ ที่เรียกว่า standard error of sample means ดังนั้น $\sigma_{\bar{X}}$ จึงคำนวณจาก

$$\sigma_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\Sigma (\bar{X} - \mu)^2}{\text{จำนวนตัวอย่างที่เป็นไปได้}}}$$

จากตัวอย่าง $\sigma_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{(1-2)^2 + (1.5-2)^2 + \dots + (3-2)^2}{9}} = \sqrt{\frac{3}{9}} = .5774$

แต่ในทางปฏิบัติเราจะเลือกตัวอย่างมาเพียง 1 ชุด เท่านั้น และ $\sigma_{\bar{X}}$ จะคำนวณจากสูตร

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

จากตัวอย่าง $\sigma_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{2}{3 \times 2}} = .5774$

โดยทั่วไปแล้วเราใช้ $S_{\bar{X}}$ เป็นตัวสถิติที่ใช้ประมาณ $\sigma_{\bar{X}}$ ของประชากร โดยค่า $S_{\bar{X}}$ คำนวณจาก

$$S_{\bar{X}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

การประมาณค่าและการทดสอบ

ในการวิเคราะห์ข้อมูล ปกติจะไม่วิเคราะห์ข้อมูลประชากร (Population) เนื่องจากจำนวนประชากรมักจะมีจำนวนมาก เราต้องสิ้นเปลืองเงินและเวลา ดังนั้น จึงมักจะวิเคราะห์ข้อมูลตัวอย่าง (Sample) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของประชากรแล้วนำผลวิเคราะห์นั้นมาอ้างอิงว่าเป็นคุณสมบัติของประชากรค่าวิเคราะห์ต่าง ๆ ทางสถิติจากตัวอย่างนี้เรียกว่า ค่าสถิติ (Statistic) ซึ่งโดยขบวนการทางสถิติอย่างเดียวกันถ้าวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลของประชากรค่าวิเคราะห์เหล่านี้ เรียกว่าพารามิเตอร์ (Parameter)

วิธีการที่จะใช้อ้างอิงถึงประชากร โดยอาศัยผลลัพธ์ซึ่งได้จากตัวอย่างที่สุ่มจากประชากรนั้น ๆ เรียกว่า สถิติเชิงอ้างอิง (Inference statistics) ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัญหาในสองด้าน คือการประมาณค่า และการทดสอบสมมติฐาน

การประมาณค่า (Estimation) เป็นการนำค่าสถิติไปใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกัน การประมาณค่ามี 2 ชนิด ได้แก่

1. **การประมาณค่าเดียว** (Point estimation) ได้แก่ การใช้ตัวเลขเพียงค่าเดียวในการประมาณพารามิเตอร์ของประชากรที่สอดคล้องกัน เช่น ใช้ค่าสถิติ $\bar{X}$ ประมาณค่า μ เป็นต้น

2. **การประมาณแบบช่วง** (Interval estimation) เป็นการประมาณพารามิเตอร์โดยใช้ค่าสองค่าบอกช่วงการประมาณ ซึ่งในการประมาณแบบนี้ต้องบอกระดับความเชื่อมั่น ในการประมาณด้วย เช่น $\text{Prob. } (a < \mu < b) = .95$ ซึ่งหมายถึงค่า μ ที่ถูกประมาณโดยช่วง a และ b ด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อ a และ b คือตัวเลขใด ๆ ช่วงระหว่าง a และ b นี้เรียกว่าช่วงความเชื่อมั่น (Confidence interval : C.I.)

การทดสอบสมมติฐาน (Test of hypothesis) เป็นระเบียบวิธีทางสถิติที่จะช่วยในการตัดสินใจว่าค่าสถิติที่ได้มานั้นสอดคล้องกับค่าที่แท้จริงหรือพารามิเตอร์หรือไม่เพียงใด

ก. **ข้อสมมติฐาน** (Hypothesis) หมายถึงข้อที่เราสมมติขึ้นเพื่อทดสอบว่าสิ่งที่เราพิจารณาอยู่นั้น เป็นไปตามที่คาดไว้หรือไม่ ข้อสมมติฐานมี 2 ชนิด คือ

1. Simple hypothesis ได้แก่ ข้อสมมติฐานที่กำหนดค่าแน่นอนตายตัวเพียงค่าเดียว เช่น $\mu = 4$

2. Composite hypothesis ได้แก่ ข้อสมมติฐานที่กำหนดค่าที่คาดว่าจะเป็นนั้นเป็นช่วง เช่น $\mu > 4$ หรือ $3 \leq \mu \leq 6$

ในการทดสอบสมมติฐาน จะต้องกำหนดข้อสมมติฐานก่อนทำการทดสอบ ซึ่งจะประกอบด้วย

1. **Null hypothesis** (H_0) ได้แก่ ข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อจะบอกค่าของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบเพื่อใช้เป็นหลักในการปฏิเสธ (Reject) H_0

2. **Alternative hypothesis** (H_a) ได้แก่ ข้อมูลสมมติฐานที่ผู้วิเคราะห์กำหนดขึ้นตามสิ่งที่เขาคาดว่าน่าจะเป็น

ข. **ประเภทของความผิดพลาด** (Types of error) ในการใช้ค่าสถิติไปสรุปตีความเกี่ยวกับพารามิเตอร์นั้น อาจมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ ความผิดพลาดนี้เป็นไปได้ 2 แบบ คือ

1. Type I error แทนด้วย α คือ ความน่าจะเป็นในการปฏิเสธ H_0 ทั้ง ๆ ที่ H_0 เป็นจริง

2. Type II error แทนด้วย β คือ ความน่าจะเป็นในการยอมรับ H_0 ทั้ง ๆ ที่ H_0 เท็จ

ในการทดสอบสมมติฐานระดับนัยสำคัญที่กำหนดก็คือ ค่า α นั้นเอง ซึ่งจะบ่งให้ทราบถึงขนาดของขอบเขตปฏิเสธ (Rejection area) โดยทั่วไปแล้วทางด้านการเกษตรมักจะกำหนดให้ $\alpha = .05$ หรือ $.01$ ค่า $(1 - \alpha)$ เรียกว่า เรียกว่า **ระดับความเชื่อมั่น**

ค. การทดสอบแบบทางเดียวและสองทาง จากการที่ Alternative hypothesis (H_a) ถูกตั้งในรูปของ Composite hypothesis ซึ่งกำหนดค่าเป็นช่วงของพารามิเตอร์ที่ต้องการทดสอบนั้น รูปของการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

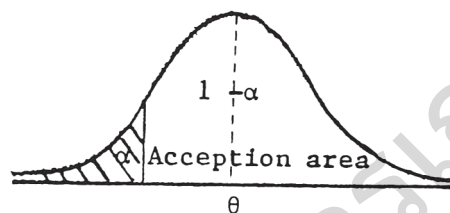
1. การทดสอบแบบทางเดียว (One – tailed test) เมื่อกำหนดให้ H_a มีช่วงอยู่สูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าพารามิเตอร์ มี 2 แบบ ได้แก่

การทดสอบแบบทางเดียวข้างมาก ข้อสมมติฐาน คือ

$$H_0 : \mu \leq \theta \quad \text{VS} \quad H_a : \mu > \theta$$

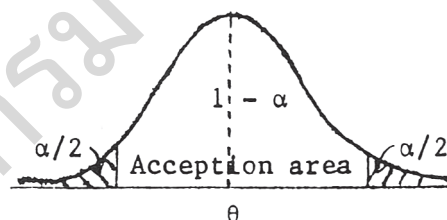
การทดสอบแบบทางเดียวข้างน้อย ข้อสมมติฐาน คือ

$$H_0 : \mu \geq \theta \quad \text{VS} \quad H_a : \mu < \theta$$



2. การทดสอบแบบสองทาง (Two – tailed test) เมื่อกำหนดให้ H_a มีช่วงของพารามิเตอร์อยู่ทั้งสองทาง ข้อสมมติฐาน คือ

$$H_0 : \mu = \theta \quad \text{VS} \quad H_a : \mu \neq \theta$$



ง. หลักการทดสอบสมมติฐาน การทดสอบสมมติฐานมีหลักดำเนินการเป็นขั้น ๆ ดังต่อไปนี้

1. กำหนดสมมติฐาน Null hypothesis (H_0) และ Alternative hypothesis (H_a)
2. กำหนดระดับนัยสำคัญ (α)
3. พิจารณา Critical region
4. เลือกตัวสถิติที่จะใช้ทดสอบและคำนวณหาค่าสถิติจากข้อมูล
5. พิจารณาสรุปผล

การทดสอบค่าเฉลี่ยประชากร

ถ้า $X_1, X_2, \dots, X_n$ เป็นตัวอย่างสุ่มซึ่งมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ย μ และความแปรปรวน σ^2 แล้ว ต้องการจะทดสอบว่าค่าเฉลี่ยซึ่งได้มาจากตัวอย่าง ($\bar{X}$) มาจากประชากรที่สุ่มมา ซึ่งมี $\mu = \mu_0$ ($H_0: \mu = \mu_0$) การทดสอบอาจแบ่งเป็น 2 กรณี คือ เมื่อทราบค่าความแปรปรวน (σ^2) และเมื่อไม่ทราบค่าความแปรปรวน

การทดสอบค่าเฉลี่ยเมื่อทราบค่าความแปรปรวน เมื่อทราบค่าความแปรปรวนของประชากรแล้วจะทดสอบค่าเฉลี่ยได้ โดยใช้ Z - test ซึ่งค่าสถิติ Z คำนวณได้ดังนี้

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\sigma_{\bar{X}}}$$

$$\text{เมื่อ } \sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

เปรียบเทียบกับค่า $|Z|$ ที่คำนวณได้ กับค่า Z ที่เปิดได้จากตาราง Normal ที่ $Z_{1-\alpha/2}$ ถ้า $H_a: \mu \neq \mu_0$ ที่ $Z_{1-\alpha}$ ถ้า $H_a: \mu > \mu_0$ และ ที่ $-Z_{1-\alpha}$ ถ้า $H_a: \mu < \mu_0$ ช่วงความเชื่อมั่นคำนวณได้โดย

$$100(1-\alpha)\% \text{ C.I.} = \bar{X} \pm Z_{\alpha/2} \cdot \sigma_{\bar{X}}$$

การทดสอบค่าเฉลี่ยเมื่อไม่ทราบค่าความแปรปรวน เมื่อไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากรจะต้องประมาณค่า σ^2 โดยใช้ S^2 แล้วทดสอบค่าเฉลี่ยโดยใช้ t - test ค่าสถิติ t คำนวณดังนี้

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S_{\bar{X}}}$$

$$\text{เมื่อ } S_{\bar{X}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

เปรียบเทียบกับค่า t ที่คำนวณได้กับค่า t ที่เปิดได้จากตาราง t ที่ $t_{(n-1, \alpha/2)}$ ถ้า $H_a: \mu \neq \mu_0$ และที่ $t_{(n-1, \alpha)}$ โดยไม่สนใจเครื่องหมาย ถ้า $H_a: \mu > \mu_0$ หรือ $\mu < \mu_0$ เมื่อ $(n-1)$ คือ จำนวน Degree of Freedom (df)

ค่า C.I. คำนวณดังนี้

$$100(1-\alpha)\% \text{ C.I.} = \bar{X} \pm t_{\alpha/2, (n-1) \text{ df}} \cdot S_{\bar{X}}$$

ตัวอย่างที่ 7 เชื่อกันว่าเมื่อฉีดฮอร์โมน ก ให้กับแม่ไก่แล้ว จะทำให้น้ำหนักของไข่ไก่เพิ่มขึ้น 130 กรัม ดังนั้น จึงมีการสุ่มไข่ไก่จำนวน 30 ฟอง จากแม่ไก่ที่ได้รับการฉีดฮอร์โมน ก ซึ่งน้ำหนักดูพบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยแล้วเป็น 175 กรัมต่อฟอง และมีความเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 87.5 จากการทดลองนี้พอจะเชื่อถือได้หรือไม่ว่าน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 130 กรัมจริง

$$\bar{X} = 175 \text{ กรัม} \quad S = 87.5$$

$$H_0: \mu \leq 130$$

$$H_a: \mu > 130$$

$$\begin{aligned}\alpha &= .05 \\ t &= \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \\ &= \frac{175 - 130}{87.5/\sqrt{30}} = 2.82^* \\ \alpha &= .05 \text{ และ } n-1 = 29 \text{ df} \\ t_{(29,.05)} &= 1.70\end{aligned}$$

ปฏิเสธ $H_0: \mu = 130$ เนื่องจาก t ที่คำนวณได้ $> t$ จากตาราง แปลผลได้ว่า ยังไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะกล่าวว่าน้ำหนักไข่เพิ่มขึ้น เฉลี่ยแล้วน้อยกว่า 130 กรัม นั่นคือ ไข่จากแม่ไก่ที่ได้รับการฉีดฮอร์โมนมีน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มจากปกติมากกว่า 130 กรัม

การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม

ถ้า $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n_1}$ เป็นตัวอย่างสุ่มจากประชากรกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ย μ_1 และความแปรปรวน σ_1^2 แล้ว $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n_2}$ เป็นตัวอย่างสุ่มจากประชากรกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ย μ_2 และความแปรปรวน σ_2^2 แล้ว ประชากรทั้งสองกลุ่มเป็นอิสระซึ่งกันและกันต้องการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งสองกลุ่ม ($H_0: \mu_1 = \mu_2$) การทดสอบจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ เมื่อทราบค่าความแปรปรวน (σ^2) และเมื่อไม่ทราบค่าความแปรปรวน

การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อทราบค่าความแปรปรวน เมื่อทราบค่าความแปรปรวนของประชากรแล้ว จะทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยได้ โดยใช้ Z -test ค่าสถิติ Z คำนวณดังนี้

$$Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sigma_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}}$$

$$\text{ถ้า } \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2 : \sigma_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

$$\text{ถ้า } \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 : \sigma_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$$

เปรียบเทียบค่า $|Z|$ ที่คำนวณได้กับค่า Z จากตาราง Normal ที่ $Z_{1-\alpha/2}$ ถ้า $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$ ที่ $Z_{1-\alpha}$ ถ้า $H_a: \mu_1 > \mu_2$ และ ที่ $-Z_{1-\alpha}$ ถ้า $H_a: \mu_1 < \mu_2$ ค่า C.I. คำนวณได้ดังนี้

$$100(1-\alpha)\% \text{ C.I.} = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \pm Z_{\alpha/2} \cdot \sigma_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}$$

การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเมื่อไม่ทราบค่าความแปรปรวน เมื่อไม่ทราบความแปรปรวนของประชากรจะต้องประมาณค่า σ_1^2 และ σ_2^2 โดยใช้ S_1^2 และ S_2^2 แล้วทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทั้งสองโดยใช้ t-test ค่าสถิติ t คำนวณ ดังนี้

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}}$$

$S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}$ นี้คือ Standard error of difference between two means หรือใช้สัญลักษณ์อีกแบบหนึ่งที่ว่า S_d

กรณีที่ 1 ถ้าทดสอบได้ว่าความแปรปรวนของทั้งสองประชากรเท่ากัน ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$) จะต้องใช้ค่าประมาณความแปรปรวนร่วม (Pooled variance : S_p^2) ค่า S_p^2 จะคำนวณได้โดย

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} = \frac{\sum X_1^2 + \sum X_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$\text{เมื่อ } \sum X_1^2 = \sum_{i=1}^{n_1} X_{1i}^2 - (\sum_{i=1}^{n_1} X_{1i})^2 / n_1$$

$$\sum X_2^2 = \sum_{i=1}^{n_2} X_{2i}^2 - (\sum_{i=1}^{n_2} X_{2i})^2 / n_2$$

n_1 และ n_2 คือจำนวนตัวอย่างจากประชากรกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ตามลำดับ

$$S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}} = \sqrt{S_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}$$

ดังนั้น ค่าสถิติ t คำนวณได้โดย

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{S_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

เปรียบเทียบค่า t ที่คำนวณได้กับ ค่า t จากตาราง t ที่ $(n_1 + n_2 - 2)$ df และ α ที่กำหนด

ค่า C.I. คำนวณดังนี้

$$100(1 - \alpha)\% \text{C.I.} = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \pm t_{\alpha/2, (n_1 + n_2 - 2)} \cdot S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}$$

กรณีที่ 2 ถ้าทดสอบได้ว่าความแปรปรวนของทั้งสองประชากรไม่เท่ากัน ($\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$) จะประมาณค่า σ_1^2 ด้วย S_1^2 และ σ_2^2 ด้วย S_2^2

ค่า $S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}$ คำนวณได้โดย

$$S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}$$

ดังนั้น ค่าสถิติ t คำนวณได้โดย

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad \text{และ} \quad v = \frac{(S_1^2/n_1 + S_2^2/n_2)^2}{\frac{(S_1^2/n_1)^2}{n_1 - 1} + \frac{(S_2^2/n_2)^2}{n_2 - 1}}$$

เปรียบเทียบค่า t ที่คำนวณได้ กับค่า t จากตาราง t ที่ (v) df และ α ที่กำหนด ถ้า $n_1 = n_2$ แต่ถ้า $n_1 \neq n_2$ แล้วเทียบค่า t ที่คำนวณได้กับ t_w ค่า t_w คำนวณ ได้ดังนี้

$$t_w = \frac{W_1 t_1 + W_2 t_2}{W_1 + W_2}$$

$$\text{เมื่อ } W_1 = \frac{S_1^2}{n_1}, \quad W_2 = \frac{S_2^2}{n_2}$$

$$t_1 = \text{ค่า } t \text{ จากตาราง } t(n_1 - 1) \text{ df และ}$$

$$t_2 = \text{ค่า } t \text{ จากตาราง } t(n_2 - 1) \text{ df ตามระดับนัยสำคัญที่กำหนดค่า C.I.}$$

คำนวณได้โดย

$$100(1 - \alpha)\% \text{C.I.} = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \pm t_{\alpha/2(v)} \cdot S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} \quad \text{ถ้า } n_1 = n_2$$

$$100(1 - \alpha)\% \text{C.I.} = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \pm t_w \cdot S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} \quad \text{ถ้า } n_1 \neq n_2$$

การทดสอบความแตกต่างระหว่างความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่ม

ในกรณีที่เราไม่แน่ใจว่า ค่าความแปรปรวนจากสองประชากรที่เราสุ่มมามีค่าเท่ากัน เพื่อใช้ประกอบการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสองประชากรแล้ว จะทดสอบได้โดยใช้ F - test

ถ้าเลือกตัวอย่างขนาด n_1 จากประชากรกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีความแปรปรวน σ_1^2 และขนาด n_2 จากประชากรกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีความแปรปรวน σ_2^2 แล้ว ต้องการทดสอบความแตกต่างระหว่างความแปรปรวนทั้งสองค่า ($H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$) ค่า F - statistic คำนวณได้โดย

$$F = \frac{\text{large } S^2}{\text{small } S^2} = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad \text{เมื่อ } S_1^2 > S_2^2$$

เปรียบเทียบค่า F ที่คำนวณได้กับค่า F จากตารางแบบสองหาง (Two - tailed test) ที่ $(n_1 - 1)$ และ $(n_2 - 1)$ df และระดับนัยสำคัญที่กำหนด

ตัวอย่างที่ 8 ในการทดลองใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว ผู้ทดลองปลูกข้าวพันธุ์ กข 23 จำนวน 56 แปลง แล้วเลือกใส่ปุ๋ย Rock phosphate อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ จำนวน 28 แปลง เมื่อต้นข้าวอายุได้ 60 วัน สุ่มวัดความสูงจากทุกแปลง ๆ ละ 10 กอ ข้อมูลความสูงเฉลี่ยต่อกอ (เซนติเมตร) เป็นดังนี้

แปลงที่	ใส่ปุ๋ย (X_1)	ไม่ใส่ปุ๋ย (X_2)
1	63.0	66.0
2	65.3	63.7
3	69.3	61.0
4	66.7	59.7
5	67.7	64.3
6	62.3	63.3
7	71.7	60.7
8	59.3	65.7
9	61.7	56.0
10	63.0	53.0
11	70.7	64.7
12	63.0	57.0
13	65.3	53.7
14	65.3	55.0
15	71.0	65.7
16	62.0	61.0
17	60.0	57.7
18	57.3	67.3
19	67.0	68.3
20	68.3	58.7
21	57.7	61.3
22	66.0	67.7
23	65.7	63.7
24	65.7	63.3
25	66.7	63.3
26	71.3	64.3
27	63.3	65.0
28	68.7	61.7
$\bar{X}$	65.18	61.89
ΣX	1,825	1,732.8
ΣX^2	119,377.6	107,715.4
n	28	28
$\Sigma X^2 = \Sigma x^2 - (\Sigma X)^2 / n$	426.7072	479.8343
$S^2 = \Sigma X^2 / (n - 1)$	15.8040	17.7716

ต้องการทดสอบความแตกต่างของความสูงที่อายุ 60 วัน ของข้าวพันธุ์ กข 23 เมื่อใส่ปุ๋ย Rock phosphate กับไม่ใส่ปุ๋ย ที่ระดับนัยสำคัญ .05 และ .01

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ หรือ } \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\alpha = .05 \text{ และ } .01$$

ทดสอบความแปรปรวนของทั้งสองประชากรว่าเท่ากันหรือไม่ ($H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ VS $H_a: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$) โดยใช้ F-test

$$\begin{aligned} F &= \frac{\text{large } S^2}{\text{small } S^2} \\ &= \frac{17.7716}{15.8040} = 1.12^{ns} \\ F_{.025, (27,27)} &= 2.17 \end{aligned}$$

นั่นคือ ความแปรปรวนของทั้งสองประชากรไม่ต่างกัน จึงต้องหา Pooled variance

$$\begin{aligned} S_p^2 &= \frac{\sum X_1^2 + \sum X_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \\ &= \frac{426.7072 + 479.8343}{28 + 28 - 2} = 16.7878 \\ t &= \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{S_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \\ &= \frac{(65.18 - 61.89) - 0}{\sqrt{16.7878 \left(\frac{1}{28} + \frac{1}{28} \right)}} = 3.01^{**} \end{aligned}$$

$$\text{ค่า } t_{.025,54} = 2.00 \text{ และ } t_{.005,54} = 2.67$$

ปฏิเสธสมมติฐาน $H_0: \mu_1 = \mu_2$

แปลผลได้ว่า ปุ๋ย Rock Phosphate มีผลทำให้ความสูงที่อายุ 60 วันของข้าวพันธุ์ กข 23 แตกต่างจากเมื่อไม่ใส่ปุ๋ย

ตัวอย่างที่ 9 นายดำสงสัยว่าถ้าปลูกข้าวโพดด้วยระยะปลูกที่แตกต่างกัน 2 ระยะ คือ ระยะระหว่างแถว x หลุม = 75 x 25 เซนติเมตร และ 75 x 75 เซนติเมตร และปล่อยให้วัชพืชขึ้นโดยไม่มีการกำจัดแล้ว ผลผลิตข้าวโพดที่ได้จะต่างกันหรือไม่เขาจึงทดลองปลูกข้าวโพด 2 ระยะปลูกดังกล่าว ปล่อยให้วัชพืชขึ้นจนถึงเวลาเก็บเกี่ยว ปรากฏว่าข้อมูลน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดเป็นกิโลกรัมต่อไร่มีความขึ้น 15% ได้เป็นดังนี้

แปลงที่	ระยะปลูก 75 x 25 ซม. (X ₁)	ระยะปลูก 75 x 75 ซม. (X ₂)
1	411	448
2	472	178
3	422	546
4	536	474
5	567	536
6	427	485
7	462	578
8	528	471
9	520	559
10	490	493
11	451	490
12	425	274
13	511	502
14	380	488
15	430	494
$\bar{X}$	468.8	467.7
n	15	15
Σx	7,032	7,016
Σx^2	3,338,078	3,438,516
$\Sigma x^2 = \Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n}$	41,476.4	156,898.9
$S^2 = \frac{\Sigma x^2}{(n-1)}$	2,962.6	11,207.1

ต้องการทดสอบว่าน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดที่ระยะปลูก 75 x 25 เซนติเมตร แตกต่างจากระยะ 75 x 75 เซนติเมตรหรือไม่ เมื่อไม่มีการกำจัดวัชพืช

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\alpha = .05$$

ทดสอบความแปรปรวนของประชากรทั้งสองว่าเท่ากันหรือไม่ ($H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ VS $H_a: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$) โดยใช้ F - test

$$F = \frac{\text{large } S^2}{\text{small } S^2} = \frac{11,207.1}{2,962.6} = 3.78^*$$

$$F_{.025,(14,14)} = 3.00$$

ความแปรปรวนของทั้งสองประชากรแตกต่างกัน ดังนั้น

$$S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}} = \sqrt{\frac{2,962.6}{15} + \frac{11,207.1}{15}} = 30.7351$$

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}} = \frac{(468.8 - 467.7) - 0}{30.7351} = 0.036^{ns}$$

เปิดตาราง t ที่ df เท่ากับ **V** ดูสูตรหน้า 20

$$t_{.025,21} = 2.080$$

แปลผลได้ว่า ยังไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะกล่าวว่าเมื่อไม่มีการกำจัดวัชพืชแล้วผลผลิตน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดที่ปลูกระยะ 75 x 25 เซนติเมตร ต่างจากระยะ 75 x 75 เซนติเมตร นั่นคือ เมื่อไม่มีการกำจัดวัชพืชแล้วผลผลิตน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดที่ได้ เมื่อปลูกระยะ 75 x 25 เซนติเมตร ไม่ต่างจากเมื่อปลูกระยะ 75 x 75 เซนติเมตร

การทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่มแบบจับคู่ (Paired comparison)

เป็นการทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่มซึ่งมาจากตัวอย่างเดียวกันหรือไม่เป็นอิสระต่อกันในการทดสอบแบบนี้ข้อมูลจะถูกจัดเป็นคู่ สิ่งทดลองที่จับคู่ได้จะต้องเหมือนกันหรือคล้ายคลึงกันมาก เช่น ฝาแฝด ซิกซ่ายขวาของไบไบเดียวกัน ฯลฯ นี้จะช่วยลดการแปรปรวนจากแหล่งอื่น ๆ เพื่อว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นจะเป็นเนื่องจากทรีดเมนต์เกือบทั้งหมด

ถ้าตัวอย่างสุ่ม n คู่ แต่ละคู่ประกอบด้วยค่าสังเกต (X_{1i}, X_{2i}) เราต้องการทดสอบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งสอง ($H_0: \mu_d = 0$) แล้ว จะทดสอบได้โดยใช้ t - test ค่าสถิติ t คำนวณได้ดังนี้

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{S_{\bar{d}}}$$

เมื่อ d_i = ความแตกต่างของแต่ละคู่ หรือเท่ากับ $X_{1i} - X_{2i}$ โดย $i = 1, 2, \dots, n$

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \text{ ซึ่งเท่ากับ } \bar{X}_1 - \bar{X}_2$$

$$S_d^2 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - (\sum_{i=1}^n d_i)^2 / n}{n-1} \text{ และ}$$

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{S_d^2}{n}}$$

เปรียบเทียบค่า t ที่คำนวณได้ กับค่า t จากตารางที่ (n - 1) df และระดับนัยสำคัญที่กำหนด

ตัวอย่างที่ 10 ในการเปรียบเทียบวิธีการนับปริมาณเชื้อโรซเบียม ที่เลี้ยงในอาหารเหลว 2 วิธี ผู้ทดลองเลี้ยงโรซเบียมใน Broth ทิ้งไว้ 6 - 7 วัน แล้วนับปริมาณโคโลนีโรซเบียมที่ปรากฏบนอาหารนั้น Log ฐาน 10 ของจำนวน *Rhizobium japonicum* ที่นับได้ต่อมิลลิลิตร เป็นดังนี้

ตัวอย่าง	วิธี ก (X ₁)	วิธี ข (X ₂)	ผลแตกต่าง (d = X ₁ - X ₂)
1	9.66	8.60	1.06
2	9.62	9.37	0.25
3	9.50	9.27	0.23
4	9.46	8.21	1.25
5	9.15	8.49	0.66
6	9.82	8.57	1.25
7	9.66	8.32	1.34
8	8.90	8.72	0.18
9	8.99	8.95	0.04
10	9.08	9.09	-0.01

$$\text{คำนวณ } \bar{X}_1 = 9.384 \quad \bar{X}_2 = 8.759 \quad \bar{d} = \bar{X}_1 - \bar{X}_2 = 0.625$$

$$\sum d_i = 6.25 \quad \sum d_i^2 = 6.6293 \quad n = 10$$

$$S_d^2 = \frac{\sum d_i^2 - (\sum d_i)^2 / n}{n-1} = \frac{6.6293 - (6.25)^2 / 10}{10-1} = 0.3026$$

$$S_{\bar{d}}^2 = \frac{S_d^2}{n} = \frac{0.3026}{10} = 0.03026$$

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{S_{\bar{d}}^2} = \sqrt{0.0303} = 0.1739$$

$$H_0: \bar{D} = 0$$

$$H_a: \bar{D} \neq 0$$

$$\alpha = .05$$

$$t = \frac{\bar{d} - \bar{D}}{S_{\bar{d}}} = \frac{0.6250 - 0}{0.1739} = 3.59^*$$

กำหนดให้ระดับนัยสำคัญ (α) = .05

เทียบค่า t ที่คำนวณได้กับค่า t จากตารางที่ $\alpha = .05$ และ $(10 - 1 = 9)$ df

$$t_{.025,9} = 2.26$$

ปฏิเสธสมมติฐาน $H_0: \bar{D} = 0$

แปลผลได้ว่า การนับปริมาณโคโลนีไรโซเปียมโดยวิธีการ ก ให้ผลแตกต่างจากการนับโดยวิธีการ ข

ทดสอบความแตกต่างระหว่างความแปรปรวนของประชากรหลายกลุ่ม

เมื่อต้องการทดสอบความคล้ายคลึงของความแปรปรวนที่มาจากหลายประชากร (Test for homogeneity of variances) แล้ว วิธีทดสอบที่เป็นที่รู้จักและใช้กันอย่างแพร่หลายก็คือ วิธีของ Bartlett ซึ่งรู้จักกันในนาม Bartlett's Chi - square Test

ถ้า $S_1^2, S_2^2, \dots, S_k^2$ เป็นความแปรปรวนจาก k ตัวอย่าง ซึ่งมีขนาด $n_1, n_2, \dots, n_k$ แล้ว การทดสอบความแตกต่างระหว่างความแปรปรวน k ค่า

($H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$) ทำได้โดย

กรณีที่ 1 ถ้า $n_1 = n_2 = \dots = n_k = n$ แล้ว ค่าสถิติ χ^2 คำนวณได้ดังนี้

$$\chi^2 = \frac{(2.3026)(f)(k \log S_p^2 - \sum_{i=1}^k \log S_i^2)}{1 + ((k+1)/3kf)}$$

เมื่อ $f = (n - 1)$

$S_i^2 =$ ค่าความแปรปรวนจากประชากร ($i = 1, 2, \dots, k$)

$$S_p^2 = \sum_{i=1}^k S_i^2 / k$$

โดยที่ k เป็นจำนวนค่าความแปรปรวนที่ต้องการทดสอบ

เปรียบเทียบค่า χ^2 ที่คำนวณได้ กับค่า χ^2 จากตารางที่ $(k - 1)$ df และระดับนัยสำคัญที่กำหนด

ตัวอย่างที่ 11 ค่าความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์เมล็ดไม่สมบูรณ์อันเกิดจากการวิธีการปฏิบัติ 8 วิธี
เป็นดังนี้

วิธีการ	S^2	n	$\text{Log } S^2$
1	5.5092	4	0.7411
2	1.2158	4	0.0849
3	0.3667	4	-0.4357
4	6.4200	4	0.8075
5	1.5633	4	0.1941
6	0.9100	4	-0.0410
7	0.4067	4	-0.3908
8	0.4425	4	-0.3541
รวม	16.8342		0.6060

$$S_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{k} = \frac{16.8342}{8} = 2.1043$$

$$\chi^2 = \frac{(2.3026)(4-1)(8 \log 2.1043 - 0.6060)}{1 + ((8+1)/3(8)(3))}$$

$$= \frac{13.6696}{1.125} = 12.1507^{ns}$$

$$\chi_{.05,7}^2 = 14.07$$

นั่นคือ ไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธว่าค่าความแปรปรวนจาก 8 วิธีการแตกต่างกัน

กรณีที่ 2 ขนาดของตัวอย่างไม่เท่ากันในทุกค่า ค่าสถิติ χ^2 คำนวณได้ดังนี้

$$\chi^2 = \frac{2.3026((A)(\log S_p^2) - B)}{1 + \frac{1}{3(k-1)}(C - \frac{1}{A})}$$

$$A = \sum_{i=1}^k (n_i - 1)$$

$$B = \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \log S_i^2$$

$$C = \sum_{i=1}^k \frac{1}{(n_i - 1)}$$

$$S_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2}{\sum_{i=1}^k (n_i - 1)}$$

เปรียบเทียบค่า χ^2 ที่คำนวณได้กับค่า χ^2 จากตารางที่ (k - 1)df และระดับนัยสำคัญที่กำหนด

ตัวอย่างที่ 12 ค่าความแปรปรวนของจำนวนสปอร์ต่อน้ำหนักดิน 100 กรัม ของเชื้อราที่นับได้ จากวิธีการปฏิบัติ 4 วิธีเป็นดังนี้

วิธีการ	S^2	n	$(n - 1)S^2$	$\text{Log } S^2$	$(n - 1)\log S^2$	$1/(n - 1)$
1	121.0	6	605.0	2.0828	10.4139	0.200
2	8,680.9	4	26,042.7	3.9386	11.8157	0.333
3	9,205.5	4	27,616.5	3.9640	11.8921	0.333
4	9,413.5	4	28,240.5	3.9738	11.9213	0.333
รวม			82,504.7		46.0430	

$$k = 4$$

$$A = 14 \quad B = 46.0430 \quad C = 1.20 \quad S_p^2 = 5,893.2$$

$$\chi^2 = \frac{2.3026((14)(\log 5,893.2) - 46.0430)}{1 + \frac{1}{3(4 - 1)} \left(1.20 - \frac{1}{14} \right)}$$

$$= \frac{15.5239}{1.1254} = 13.79^{**}$$

$$\chi_{.05,3}^2 = 7.81 \quad \text{และ} \quad \chi_{.01,3}^2 = 11.34$$

ปฏิเสธสมมติฐาน $H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2$ นั่นคือ มีความแตกต่างระหว่างความแปรปรวน ทั้ง 4 ค่านี้

หลักสำคัญในการวางแผนงานทดสอบ

การค้นคว้าวิจัยทางการเกษตร ส่วนใหญ่มักเป็นการทดลองในศูนย์วิจัย/สถานีทดลอง และไร่นาเกษตรกร จึงมักมีงานทดลอง โดยใช้แบบแผนการทดลอง (Experimental design) แบบต่าง ๆ แต่ไม่ใช่หมายความว่า งานวิจัยทางการเกษตรทุกสาขาวิชาจำเป็นต้องเริ่มด้วย การเลือกใช้ Design แบบใดแบบหนึ่งเสมอไป ทั้งนี้ก็เนื่องด้วยงานทดลองด้านการเกษตร แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. การทดลองเบื้องต้น ต้องการทราบผลกว้าง ๆ เช่น การศึกษารวบรวมพันธุ์พืชที่ปลูกจากแหล่งต่าง ๆ นำมารวบรวมและคัดเลือกโดยการสังเกตการณ์ทดลองเปรียบเทียบเช่นนั้นมักทำเพียงซ้ำเดียว ข้อมูลที่เก็บได้นำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของความสูงผลผลิตหรืออัตราร้อยละเท่านั้น ไม่มีการเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์พืชชุดนั้นว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติหรือไม่

หรือตัวอย่างการศึกษาหาชนิดของเชื้อราที่เกิดในพันธุ์พืชต่าง ๆ ที่ขายในท้อง ตลาด ผู้วิจัยเพียงแต่ไปรวบรวมพันธุ์พืชเหล่านั้นมาจากหลาย ๆ แหล่ง แล้วทำการวิเคราะห์หาชนิดของเชื้อราว่ามีกี่ประเภท การทดลองแบบนี้ถือว่าการทดลองเบื้องต้น ซึ่งยังไม่จำเป็นต้องใช้ Design แบบใดจากการทดลองเบื้องต้นนี้ผลจะชี้ให้เห็นว่าเราควรจะทดสอบในขั้นต่อไปอย่างไรบ้าง

2. การทดลองขั้นตัดสินใจ เป็นขั้นที่ได้กลั่นกรองมาจากการทดลองเบื้องต้น โดยการคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีผลผลิตและคุณภาพดีนำมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งในขั้นนี้จำเป็นต้องนำ Design แบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมมาใช้ เพื่อเปรียบเทียบสิ่งที่ต้องการทดสอบหรือทรีตเมนต์ มักทำหลายซ้ำ หลายท้องที่ หลายฤดูกาล เป็นต้น การทดลองแบบนี้มักเริ่มด้วยการเลือกแบบแผนการทดลองปัจจัยเดียวก่อน แล้วติดตามด้วยแบบแผนการทดลองมากกว่าหนึ่งปัจจัย ทั้งนี้ก็เพื่อให้ได้ผลการวิจัยที่มีประสิทธิภาพ คำนึงกับเวลาแรงงานและงบประมาณ

การทดลองขั้นนี้ มีนักวิชาการเป็นผู้ดำเนินงาน ทำในห้องทดลอง ในสถานีทดลองเป็นส่วนใหญ่หรือทำในไร่นาเกษตรกร แล้วแต่ความเหมาะสม มักจะทำในแปลงย่อยขนาดเล็ก ผลที่ได้จากการทดลองนี้จะต้องนำไปทดสอบในสภาพไร่นาของเกษตรกรก่อนที่จะเผยแพร่ให้นำไปปฏิบัติตามต่อไป

3. การทดลองแบบกึ่งทดลองกึ่งสาธิต เป็นการทดลองที่นักวิชาการหรือนักส่งเสริมจัดทำในรูปของ Package ต่าง ๆ ที่นักวิชาการแต่ละเรื่องค้นคว้าวิจัยมาแล้ว โดยผ่านการทดลองขั้นตัดสินใจมาก่อนโดยมีการจัดพันธุ์พืชที่มีคุณภาพดี ให้ผลผลิตสูงมีวิธีการปลูกดูแลรักษา และการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่เหมาะสม นำมาทดสอบพร้อมกันในรูปของ Package ต่าง ๆ โดยนำมาเปรียบเทียบให้เห็นชัดในแปลงทดสอบผืนใหญ่ ในขั้นตอนนี้มักจะศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ควบคู่ไปด้วยเพื่อจะได้ศึกษาถึงต้นทุนรายจ่ายและผลตอบแทนคุ้มค่าที่เกษตรกรควรได้รับ การดำเนินงานทดลองแบบนี้ถ้า นักส่งเสริมและเกษตรกรทำร่วมกันเรียกว่า “การทำแปลงทดสอบพืช”

คำศัพท์ต่าง ๆ ที่ควรทราบ

หน่วยทดลอง (Experiment unit) หมายถึง หน่วยที่เล็กที่สุดของวัตถุหรือวัสดุในการทดลอง ที่ได้รับทรีตเมนต์อย่างเดียวกัน หน่วยการทดลองแต่ละหน่วยอาจเป็นหน่วยเดียวหรืออาจเป็นกลุ่มของวัสดุการทดลอง ตัวอย่าง เช่น

หน่วยเดียว

การนับจำนวนต้นถั่วที่เป็นโรควิสาของลูกผสมหลายพันธุ์ ซึ่งทดลองปลูกกระถางละ 1 ต้น ในที่นี้ต้นถั่วแต่ละกระถาง คือ 1 หน่วยทดลอง

หน่วย/กลุ่ม

ในการทดลองเกี่ยวกับพืช มักจะหมายถึงพื้นดินแปลงเล็ก ๆ ที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า ค่อนข้างยาว เรียกว่า แปลงย่อย (Plot) หนึ่งแปลงย่อยอาจเท่ากับการปลูกข้าว 4 แถว ๆ ละ 20 ต้น เพราะฉะนั้น 1 หน่วยการทดลอง มีต้นข้าวเท่ากับ 80 ต้น เป็นต้น

ทรีตเมนต์ (Treatment) สิ่งที่ต้องการเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างลักษณะใดของพืช เรียกว่าสิ่งทดลองหรือทรีตเมนต์ (Treatment) ซึ่งอาจให้คำนิยามทั่ว ๆ ไปได้ว่า

สิ่งทดลองหรือทรีตเมนต์ หมายถึงวิธีการต่าง ๆ ซึ่งกระทำหรือเกิดขึ้นกับหน่วยทดลองเพื่อนำมาวัดผลเปรียบเทียบกับว่ามีความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ที่ต้องการศึกษาวิจัยหรือไม่ ตัวอย่าง เช่น ในการศึกษา

1. เปรียบเทียบความแตกต่างของข้าวลูกผสม 2 พันธุ์ ในที่มีทรีตเมนต์ คือ ข้าว 2 พันธุ์
2. เปรียบเทียบผลตอบสนองของปุ๋ย 5 ตำรับต่อถั่วเหลือง เรียกว่ามีทรีตเมนต์ที่ต้องการเปรียบเทียบ 5 ชนิด

ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (Experimental error) ในการทดลองเกี่ยวกับพืช ถึงแม้เราจะให้แต่ละหน่วยการทดลองได้รับทรีตเมนต์อย่างเดียวกัน มีการดูแลรักษาเหมือนกันหมดทุกอย่าง ซึ่งเราหวังว่าผลลัพธ์ที่ได้ เช่น ผลผลิตควรจะมีค่าเท่ากัน แต่มักจะไม่เป็นไปตามคิด ตัวอย่างเช่น เมื่อปลูกพันธุ์พืชชนิดเดียวกัน ในสิ่งแวดล้อมเหมือนกัน เช่น ปลูกถั่วเหลือง สจ. 1 จำนวน 2 แปลง อยู่ติดกัน ระยะปลูกเท่ากัน ขนาดแปลงเท่ากัน ปลูกพร้อมกัน มีการดูแลปฏิบัติเหมือนกันทุกอย่าง

สจ. 1

สจ. 1

โดยหวังว่าควรจะได้ผลผลิต (หรือผลตอบสนองอย่างอื่น เช่น ความสูง จำนวนต้น จำนวนฝัก และลักษณะอื่น ๆ) เหมือนกัน แต่ความเป็นจริงมักจะเป็นไปไม่ได้ ทั้งนี้เพราะมีปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความแตกต่างทั้งของพันธุ์พืชนั้น ๆ อิทธิพลของดิน อุณหภูมิ ความชื้น แสงสว่าง รวมทั้งสาเหตุอื่น ๆ ทำให้ผลผลิตของทั้ง 2 แปลงแตกต่างกัน

ความแตกต่างที่เกิดจากผลผลิตของทั้ง 2 แปลงที่มีการดูแลปฏิบัติเหมือนกันทุกอย่งนี้เรียกว่า ค่าความแปรปรวนของการทดลองหรือค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (Experimental error)

การดำเนินงานทดลองใด ๆ ก็ตาม จำต้องมีการควบคุมค่าความแปรปรวนของการทดลอง (Experimental error) ให้มีค่าน้อยที่สุด เพื่อที่จะมั่นใจได้ว่า สิ่งที่ต้องการทดสอบหรือ ทรีตเมนต์นั้น มีความแตกต่างกันจริง ไม่ใช่แตกต่างกันเนื่องจากสิ่งแวดล้อมหรือบังเอิญเป็นไปเท่านั้น

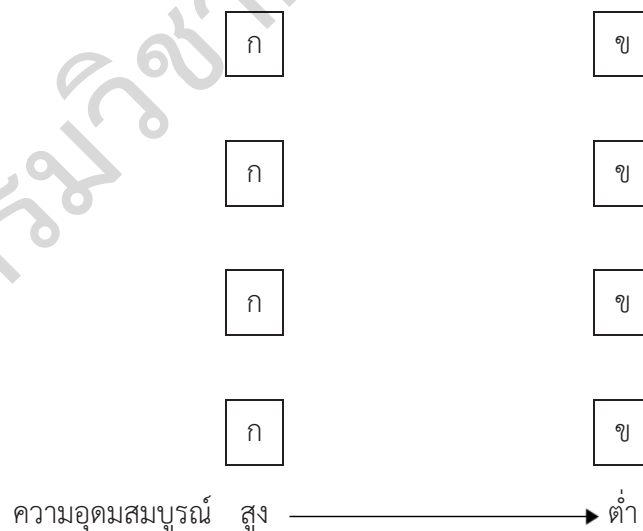
หลักสำคัญในการวางแผนงานทดลอง ต้องประกอบด้วย

1. การทำซ้ำ (Replication) ควรทำการทดสอบ treatment ใดก็ตามมากกว่า 1 ครั้ง (1 ซ้ำ) เพื่อใช้ประมาณค่าของ Experimental error เพราะค่านี้คำนวณได้จากความแตกต่างที่เกิดจากผลที่ได้ของอย่างน้อยสองหน่วยทดลองที่มีการดูแลปฏิบัติเหมือนกันทุกอย่ง

2. การสุ่มเลือก (Randomization) กำหนดให้ treatment ที่ทำการศึกษได้รับการสุ่มเลือกในโอกาสที่เท่า ๆ กัน รวมทั้งได้รับการปฏิบัติที่เท่า ๆ กัน เช่น ถ้าทุกแปลงมีการใส่ปุ๋ยก็ควรได้รับการใส่ในอัตราที่เท่ากัน และในเวลาเดียวกันเป็นต้น ทั้งนี้เพื่อ

2.1 การขจัดความลำเอียง (Bias) ที่เกิดขึ้นโดยไม่ตั้งใจ ทั้งก่อให้เกิดความแน่ใจว่า ทุกทรีตเมนต์ที่ใช้ทดสอบไม่ได้เสียเปรียบกัน ยกตัวอย่างเช่น ในการปลูกพืช 2 ชนิด สมมติให้เป็นพันธุ์ ก และพันธุ์ ข

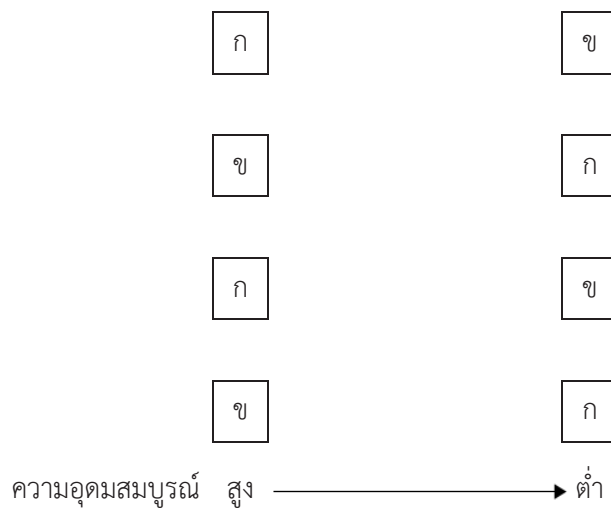
สมมติว่า ผู้ทดลองทำการปลูกพันธุ์ ก และพันธุ์ ข พันธุ์ละ 4 แปลง (หรือ 4 ซ้ำ) ดังในรูป



ถ้าบังเอิญแปลงที่ปลูกพันธุ์ ก ไปตกอยู่ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง ส่วนแปลงที่ปลูกพันธุ์ ข ไปตกอยู่ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำกว่า ดังในรูป

ถ้าผลของการทดลองชุดนี้ปรากฏว่า ผลผลิตของพันธุ์ ก สูงกว่าพันธุ์ ข อาจทำให้ผู้ทดลองไม่สามารถสรุปได้ว่า โดยความเป็นจริงแล้ว พันธุ์ ก ดีกว่าพันธุ์ ข จริงหรือไม่ ทั้งนี้เพราะพันธุ์ ก บังเอิญได้ปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงกว่า ย่อมได้เปรียบกว่าพันธุ์ ข

วิธีที่ถูกต้อง คือ ต้องมีการสุ่มเลือก โดยให้ออกาสพันธุ์ ก และพันธุ์ ข ตกอยู่ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินดีหรือเลวในโอกาสที่เท่า ๆ กัน เช่น หลังจากการสุ่มเลือกแล้วอาจเป็นดังนี้



เมื่อได้ทำการปลูกพันธุ์พืชตามแผนผังที่ได้สุ่มเลือกถูกต้องแล้ว ถ้าผลจากการทดลองสรุปออกมาว่าพันธุ์ ก ดีกว่าพันธุ์ ข ผู้ทดลองย่อมมีความมั่นใจว่า พันธุ์ ก ดีกว่าพันธุ์ ข จริง ๆ ไม่ใช่บังเอิญเป็นไปเหมือนดังกรณีแรก

2.2 เพื่อให้ค่า Experimental error ที่คำนวณได้เป็นค่าประมาณที่ถูกต้อง

2.3 ทำให้ผู้ทดลองสามารถสรุปผลได้ด้วยความมั่นใจว่าทรีตเมนต์ที่ทำการทดสอบนั้นมีความแตกต่างกันจริงที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือ 99% (นิยมใช้สัญลักษณ์ * หรือ ** แทนตามลำดับ)

ระดับความเชื่อมั่น 95% (หรือระดับนัยสำคัญที่ .05) หมายถึง ในการทดลอง 100 ครั้ง โอกาสที่จะสรุปสมมติฐานผิดมีเพียง 5 ครั้ง

ระดับความเชื่อมั่น 99% (หรือระดับนัยสำคัญที่ .01) หมายถึง ในการทดลอง 100 ครั้ง โอกาสที่จะสรุปสมมติฐานผิดมีเพียง 1 ครั้ง

3. มีการควบคุมหรือกำจัดความแปรปรวนให้เหลือน้อยที่สุด จะกล่าวถึงในหัวข้อเทคนิคทางสถิติในการดำเนินงานทดลอง ซึ่งจะอยู่ในเล่มที่ 2

แบบแผนการทดลองปัจจัยเดียว

การทดลองใด ๆ ที่ศึกษาถึงผลตอบสนองของปัจจัยหนึ่งโดยเฉพาะ และมีการควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ให้อยู่คงที่ หรือเป็นอย่างเดียวเหมือนกันตลอดไม่ว่าปัจจัยแรกจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรก็ตาม เรียกว่า การทดลองปัจจัยเดียว ตัวอย่างเช่น การทดลองเปรียบเทียบพันธุ์อ้อยในเขตชลประทานซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะทราบว่าพันธุ์ใดบ้างที่ให้ผลดีในสภาพที่ใช้น้ำชลประทานโดยควบคุมเกี่ยวกับการดูแลรักษาตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งเก็บเกี่ยวเหมือนกันหมดทุกพันธุ์เช่นนี้ เรื่องของพันธุ์จึงเป็นปัจจัยที่ทำการศึกษาเพียงอย่างเดียว ส่วนปัจจัยอื่น ๆ ในการดูแลรักษา ได้แก่ วิธีการปลูก การให้น้ำ การใส่ปุ๋ย ฯลฯ เป็นปัจจัยคงที่ซึ่งไม่ว่าพันธุ์ใด ๆ ก็ต้องได้รับเหมือนกันทุกพันธุ์

แผนการทดลองปัจจัยเดียวที่เป็นรูปแบบมาตรฐาน มี 3 แบบ คือ แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) แบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) และแบบละตินสแควร์ (Latin Square Design)

แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD)

เป็นแผนการทดลองที่มีลักษณะง่าย และสะดวกทั้งในแง่การปฏิบัติและการคำนวณ เหมาะสำหรับหน่วยทดลองที่มีความสม่ำเสมอกันมาก ไม่มีความแตกต่างเนื่องจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น อายุ น้ำหนัก สภาพแวดล้อม ต่าง ๆ ฯลฯ หรือถ้ามีก็น้อยมาก หน่วยทดลองแต่ละหน่วยมีโอกาสได้รับทรีตเมนต์เท่ากันจึงมักใช้กับการทดลองในห้องปฏิบัติการหรือเรือนทดลอง ซึ่งนอกจากจะกำหนดให้หน่วยทดลองสม่ำเสมอแล้วยังสามารถควบคุมไม่ให้เกิดความแปรปรวนในปัจจัยอื่น ๆ ได้ด้วย

การสุ่มและแผนผังการทดลอง

การสุ่มอาจทำได้ง่าย ด้วยการจับฉลาก หรือการใช้ตารางเลขสุ่ม

ตัวอย่าง การสุ่มโดยวิธีจับฉลาก

การทดลองเปรียบเทียบ 5 ทรีตเมนต์ A, B, C, D, E, ทำ 3 ซ้ำ จะต้องมีหน่วยทดลองทั้งหมด 15 หน่วย (สมมติให้หน่วยทดลองเป็นกระถาง) ให้เบอร์ประจำกระถางทุกกระถาง เขียนชื่อทรีตเมนต์ลงในกระถางแผ่นเล็ก ชื่อละ 3 แผ่น รวมทั้งหมด 15 แผ่น ใส่ในกล่อง คลุกให้ทั่วแล้วสุ่มหยิบขึ้นมาทีละแผ่น สมมติว่าได้ C ให้กับกระถางที่ 1 หยิบครั้งที่ 2 ได้ A ในกระถางที่ 2 ทำเช่นนี้ไปจนครบ 15 ครั้ง จะได้ผลของการสุ่มดังนี้ คือ

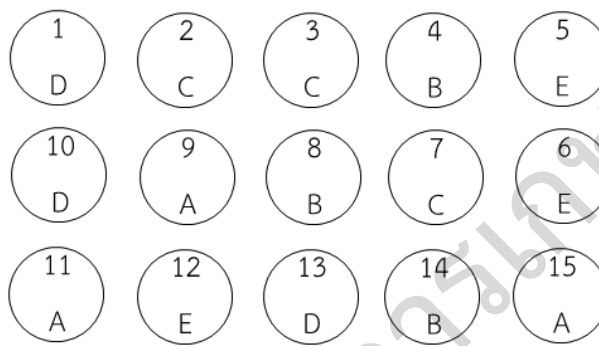
กระถางที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ทรีตเมนต์ที่สุ่มได้	C	A	B	E	C	D	D	A	E	B	A	E	C	B	D

ตัวอย่างการสุ่มโดยใช้ตารางการสุ่ม

การทดลองในตัวอย่างแรก เมื่อให้เบอร์ประจำกระถางทั้ง 15 กระถางแล้ว จึงทำการสุ่มจากตารางเลขสุ่ม สมมติสุ่มได้ Column ที่ 21 Row ที่ 21 ใช้เลข 2 หลัก นับลงทาง Column ให้ได้ 15 ตัว ไม่ซ้ำกัน จะได้เลขดังนี้

84 78 39 85 66 87 94 32 08 50 96 43 76 92 89
 เรียงลำดับเลขที่สุ่มได้จากน้อยไปมากเพื่อใช้แทนเบอร์ประจำกระถางพร้อมทั้งเรียงชื่อทรีตเมนต์ควบคู่กันไปดังนี้
 เลขที่สุ่ม 84 78 39 85 66 87 94 32 08 50 96 43 76 92 89
 เรียงลำดับเลขที่สุ่มได้ 9 8 3 10 6 11 14 2 1 5 15 4 7 13 12
 เรียงชื่อทรีตเมนต์ A B C D E A B C D E A B C D E

เมื่อจัดกระถางเป็น 3 แถว ๆ ละ 5 กระถางจะได้แผนผังการทดลองดังนี้



การวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นการหาความแปรปรวนซึ่งเกิดจากแหล่งต่าง ๆ ภายในการทดลองสำหรับ CRD มีแหล่งความแปรปรวน 2 ชนิด คือ ความแปรปรวนที่เกิดจากทรีตเมนต์ และความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ซึ่งเรียกว่า Experimental Error

ขั้นตอนของการคำนวณมีดังนี้

ตัวอย่าง การทดลอง 5 ทรีตเมนต์ 4 ซ้ำ ($t = 5, r = 4$)

(1) จัดกลุ่มตัวเลขของแต่ละทรีตเมนต์ลงในรูปตาราง

ทรีตเมนต์	ซ้ำ				รวม	ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4		
1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	T_1	$\bar{T}_1$
2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	T_2	$\bar{T}_2$
3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	T_3	$\bar{T}_3$
4	X_{41}	X_{42}	X_{43}	X_{44}	T_4	$\bar{T}_4$
5	X_{51}	X_{52}	X_{53}	X_{54}	T_5	$\bar{T}_5$
รวม					G	$\bar{X}$

(2) คำนวณผลรวม ค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีตเมนต์ ผลรวมทั้งหมด (G) และค่าเฉลี่ยทั้งหมด ($\bar{X}$)

(3) คำนวณ Degree of Freedom (df)

$$\text{Total df} = t \times r - 1 = 5 \times 4 - 1 = 19$$

$$\text{Treatment df} = t - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$\text{Error} = (tr - 1) - (t - 1) = 19 - 4 = 15$$

(4) คำนวณค่าความแปรปรวนที่เกิดจากแหล่งต่าง ๆ โดยใช้ตารางในข้อ (1)

- ค่า Sum of Square (SS)

$$\text{Correction Factor (CF)} = \frac{G^2}{t \times r}$$

$$\text{Total SS} = X_{11}^2 + X_{12}^2 + \dots + X_{54}^2 - CF$$

$$\text{Treatment SS} = \frac{T_1^2 + T_2^2 + \dots + T_5^2}{r} - CF$$

$$\text{Error SS} = \text{Total SS} - \text{Treatment SS}$$

- ค่า Mean Square (MS)

$$\text{Treatment MS} = \frac{\text{Treatment SS}}{\text{Treatment df}}$$

$$\text{Error MS} = \frac{\text{Error SS}}{\text{Error df}}$$

- ค่า F - value

$$F = \frac{\text{Treatment MS}}{\text{Error MS}}$$

(5) เปิดตาราง F ที่ DF ของ Treatment (4) และ Error (15) จากตัวเลขแถวบน และด้านซ้ายสุดตามลำดับ จะได้ตัวเลข 2 ค่า คือ 3.06 และ 4.89

(6) ตารางสรุปผลการวิเคราะห์โดยกรอกค่าความแปรปรวนทั้งหมดที่คำนวณได้ลงในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

ANALYSIS OF VARIANCE (ANOVA)

SOV	DF	SS	MS	F - Value		
				Cal	5%	1%
Total	19					
Treatment	4					
Error	15					

(7) คำนวณค่า Coefficient of Variation (C.V.) ใส่ท้ายตาราง ANOV เพื่อชี้ให้เห็นถึงระดับความน่าเชื่อถือของการทดลองนั้น ๆ

$$C.V. = \frac{\sqrt{\text{Error MS}}}{\bar{X}} \times 100$$

(8) เปรียบเทียบค่า F ที่คำนวณได้กับค่า F จากตาราง

- ถ้าค่า F ที่วิเคราะห์ได้ มากกว่า F จากตารางที่ 1% ใส่เครื่องหมาย ** บนค่า F ที่คำนวณได้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์อย่างน้อย 1 คู่ มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99%
- ถ้าค่า F ที่คำนวณได้ เท่ากับหรือมากกว่าค่า F จากตารางที่ 5% แต่ไม่มากกว่าที่ 1% ใส่เครื่องหมาย * บนค่า F ที่คำนวณได้ แสดงว่าค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์อย่างน้อย 1 คู่ มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- ถ้าค่า F ที่คำนวณได้ น้อยกว่า F จากตาราง ใส่เครื่องหมาย ns ไว้บนค่า F แสดงว่ายังไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะยอมรับว่าทรีตเมนต์เหล่านั้นแตกต่างกัน

2. การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์

จากตาราง ANOV ถึงแม้ค่า F จะชี้ให้เห็นว่าทรีตเมนต์มีความแตกต่างกันก็ตามในกรณีที่ $F_{\text{Cal}} > F_{\text{Table}}$ แต่ก็ไม่ได้บอกชัดเจนว่ามีทรีตเมนต์คู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน หรือมีทรีตเมนต์ใดบ้างที่มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า Control จนถือว่าแตกต่างกัน จึงต้องทำการคำนวณค่าสถิติที่ใช้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ ด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งจาก 2 วิธีที่นิยมใช้กัน คือ LSD หรือ DMRT

(1) Least Significant Difference (LSD) ใช้เมื่อการทดลองมีไม่เกิน 5 ทรีตเมนต์ หรือการทดลองที่มีทรีตเมนต์เป็น Check รวมอยู่ด้วย ซึ่งอาจจะไม่เกิน 5 ทรีตเมนต์ก็ได้ และต้องใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ใด ๆ กับ Check

$$\begin{aligned} \text{LSD} &= t \times S_{\bar{d}} \\ \text{เมื่อ } t &= \text{ค่าจากตาราง student t ที่ df ของ Error} \\ &\quad \text{เปิดได้ 2 ค่า คือ ที่ P.05 และ P.01} \end{aligned}$$

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{2 \times \text{Error MS}}{r}}$$

เปรียบเทียบค่าแตกต่างของค่าเฉลี่ยทรีตเมนต์คู่ที่ต้องการทราบ (d) กับค่า LSD ถ้าค่า d มากกว่า LSD แสดงว่าค่าเฉลี่ยทรีตเมนต์ทั้งสองแตกต่างกัน ถ้าค่า d น้อยกว่า LSD ก็แสดงว่าค่าเฉลี่ยของทั้งสองทรีตเมนต์ไม่แตกต่างกัน

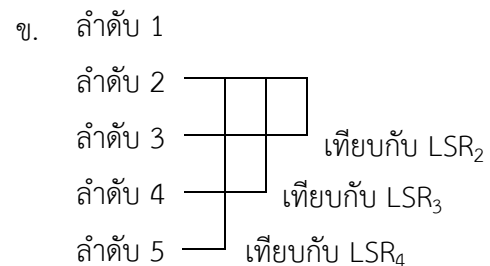
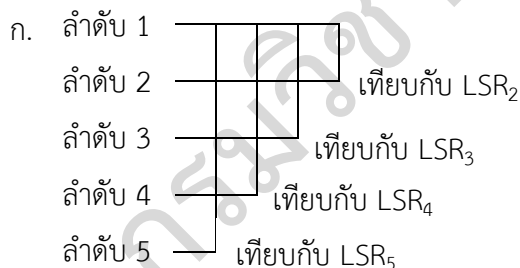
(2) Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ใช้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทั้งของการทดลองที่มีจำนวนมากกว่า 5 ทรีตเมนต์และไม่มี Check ที่ได้ค่า F Cal สูงกว่า F Table หรือการทดลองที่ได้ค่า F Cal > 1 แต่ ns และต้องการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} \text{LSR} &= \text{SSR} \times S_{\bar{x}} \\ \text{เมื่อ SSR} &= \text{ค่าจากตาราง Duncan ที่ df ของ Error จำนวน 4 ตัว คือ เมื่อ } P = 2, 3, 4, 5 \text{ จะได้ } \text{SSR}_2, \text{SSR}_3, \text{SSR}_4, \text{SSR}_5 \\ S_{\bar{x}} &= \sqrt{\frac{\text{Error MS}}{r}} \end{aligned}$$

ค่า LSR จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนทรีตเมนต์ลบ 1 เช่น มี 5 ทรีตเมนต์ จะต้องคำนวณค่า LSR 4 ค่า คือ LSR₂, LSR₃, LSR₄ และ LSR₅ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{LSR}_2 &= \text{SSR}_2 \times S_{\bar{x}} & \text{LSR}_3 &= \text{SSR}_3 \times S_{\bar{x}} \\ \text{LSR}_4 &= \text{SSR}_4 \times S_{\bar{x}} & \text{LSR}_5 &= \text{SSR}_5 \times S_{\bar{x}} \end{aligned}$$

- เรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อยหรือกลับกัน แล้วแต่ลักษณะข้อมูลที่ทำการศึกษา
- เปรียบเทียบค่าแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละคู่กับค่า LSR โดยเทียบค่าแตกต่างของค่าเฉลี่ยลำดับที่ 1 กับลำดับที่ 5 กับ LSR₅ ดังแผนผัง ก. ถ้าค่าแตกต่างมากกว่าค่า LSR แสดงว่าค่าเฉลี่ยลำดับที่ 1 และลำดับที่ 5 แตกต่างกัน



เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลำดับที่ 1 ลำดับที่ 4 กับ LSR₄ ทำเช่นนี้จนกว่าค่าแตกต่างน้อยกว่าค่า LSR จึงหยุด แล้วทำซ้ำเช่นเดิม โดยเปลี่ยนเป็นใช้ค่าแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยลำดับที่ 2 กับ ลำดับที่ 5 และเทียบกับค่า LSR₄ ตามแผนผัง ข.

- การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT มักใช้ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ตาราง SSR ที่ P.05 และใช้ตัวอักษรหรือกลุ่มตัวอักษรแสดงความแตกต่างหรือไม่แตกต่างของค่าเฉลี่ย

ตัวอย่างที่ 1 การทดลองที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน

เรื่อง การใช้ฮอร์โมน NAA และ IAA เร่งการเจริญเติบโตของท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง

ทรีตเมนต์ (t) : T_1 = จุ่มน้ำ T_4 = IAA อัตราที่ 1
 T_2 = NAA อัตราที่ 1 T_5 = IAA อัตราที่ 2
 T_3 = NAA อัตราที่ 2
 จำนวนซ้ำ (r) = 4

แผนผังการทดลอง

T_2	T_3	T_3	T_4
T_4	T_1	T_5	T_1
T_5	T_3	T_4	T_2
T_1	T_2	T_1	T_5
T_5	T_4	T_2	T_3

ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองมีดังนี้

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวน ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1 (1) ถึง (8) ดังนี้

- จัดกลุ่มข้อมูลลงในตาราง

ตารางแสดงความสูง (เซนติเมตร) ของต้นมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 3 อายุ 3 เดือน ภายหลังการใช้ฮอร์โมน

ทรีตเมนต์	ซ้ำ				รวม	ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4		
1 จุ่มน้ำ	26.0	25.1	20.2	24.0	95.3	23.8
2 NAA อัตรา 1	29.4	32.0	22.5	27.9	111.8	28.6
3 NAA อัตรา 2	28.5	25.5	25.6	26.3	105.9	26.5
4 IAA อัตรา 1	30.0	28.1	26.3	28.1	112.5	28.1
5 IAA อัตรา 2	34.6	27.4	29.0	30.2	121.2	30.3
รวม					546.7	27.34

- คำนวณผลรวม ค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ ผลรวมทั้งหมด และค่าเฉลี่ย

- คำนวณ df : $\text{Total df} = 5 \times 4 - 1 = 19$
 $\text{Treatment df} = 5 - 1 = 4$
 $\text{Error df} = 19 - 4 = 15$

- คำนวณค่าความแปรปรวนของแหล่งต่าง ๆ ต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 CF &= \frac{(546.7)^2}{5 \times 4} = 14,944.0445 \\
 Total &= 26.0^2 + 25.1^2 + \dots + 30.2^2 - CF = 200.4455 \\
 Treatment\ SS &= \frac{95.3^2 + 111.8^2 + \dots + 121.2^2}{4} - CF = 91.4130 \\
 Error\ SS &= 200.4455 - 91.4130 = 109.0325 \\
 Treatment\ MS &= \frac{91.4130}{4} = 22.8532 \\
 Error\ MS &= \frac{109.0325}{15} = 7.2688 \\
 F &= \frac{22.8532}{7.2688} = 3.14
 \end{aligned}$$

- เปิดตาราง F ที่ df ของ Treatment กับ Error คือ 4, 15 ได้ค่า $F_{.05} = 3.06$ และ $F_{.01} = 4.89$
- กรอกราคาที่วิเคราะห์ได้ในตาราง ANOV

SOV	DF	SS	MS	F – Value		
				Cal	5%	1%
Total	19	200.4455				
Treatment	4	91.4130	22.8532	3.14*	3.06	4.89
Error	15	109.0329	7.2688			

- คำนวณค่า C.V. ใส่ท้ายตาราง ANOV

$$C.V. = \frac{\sqrt{7.2688}}{27.34} \times 100 = 9.86\%$$

2. การคำนวณค่าสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์

จากตาราง ANOV ค่า F จากการคำนวณมากกว่า F จากตารางที่ 5% แต่ไม่มากกว่าที่ 1% หมายความว่าค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์อย่างน้อย 1 คู่ แตกต่างกันในระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อจะทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์คู่ไหนแตกต่างกันบ้าง จึงคำนวณค่าสถิติอย่างใดอย่างหนึ่ง คือ LSD หรือ DMRT

วิธี LSD

$$\begin{aligned}
 LSD\ 5\% &= t_{.05} \times \sqrt{\frac{2 \times 7.2688}{4}} = 2.131 \times 1.9064 = 4.1 \\
 LSD\ 1\% &= t_{.01} \times \sqrt{\frac{2 \times 7.2688}{4}} = 2.947 \times 1.9064 = 5.6
 \end{aligned}$$

- เปรียบเทียบความแตกต่างของความสูงของต้นมันสำปะหลังระหว่างคู่ใดคู่หนึ่งของทรีตเมนต์

	T ₁ (จุ่มน้ำ)	T ₂ (NAA ₁)	T ₃ (NAA ₂)	T ₄ (IAA ₁)	T ₅ (IAA ₂)
ค่าเฉลี่ย	23.8	28.0	26.5	28.1	30.3
T ₁ 23.8	-	4.2*	2.7 ^{ns}	4.3*	6.5**
T ₂ 28.0			1.5 ^{ns}	0.1 ^{ns}	2.3 ^{ns}
T ₃ 26.5				1.6 ^{ns}	3.8 ^{ns}
T ₄ 28.1				-	2.2 ^{ns}

** แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

* แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

การแปลผล

ฮอร์โมนที่ให้ผลในการเร่งการเจริญเติบโตของท่อนมันสำปะหลัง คือ IAA อัตรา 2, IAA อัตรา 1 และ NAA อัตรา 1 ทำให้ต้นมันเมื่ออายุ 3 เดือน สูงกว่าไม่ใช้ฮอร์โมนจนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะ IAA อัตรา 2 ทำให้ได้ต้นสูง 30.3 เซนติเมตร แต่ในระหว่างการใช้ฮอร์โมนด้วยกันไม่มีผลแตกต่างกันในเรื่องของความสูง

ตัวอย่างที่ 2 การทดลองมีจำนวนซ้ำไม่เท่ากัน

การทดลองแบบ CRD บางครั้งจำเป็นต้องทำจำนวนซ้ำไม่เท่ากัน อาจเนื่องจากมีหน่วยทดลองไม่เพียงพอ หรือเริ่มทำด้วยซ้ำเท่า ๆ กัน แต่เกิดความเสียหายกับหน่วยทดลองในระหว่างการปฏิบัติ ซึ่งความเสียหายนั้นไม่ได้เกิดจากผลของทรีตเมนต์ และไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ครบทุกครั้งซ้ำ การวางแผนแบบนี้มีข้อได้เปรียบคือ สามารถวิเคราะห์ทางสถิติได้ โดยไม่ต้องเสียการทดลองนี้ไปทั้งหมด

เรื่อง การศึกษาผลของสารฆ่าแมลงบางชนิดต่อแตนเบียนไข่หนอนเจาะลำต้นข้าวโพดใน
ห้องปฏิบัติการ

ทรีตเมนต์ = สารฆ่าแมลง 10 ชนิด

จำนวนซ้ำ = 2 – 4 ซ้ำ

มีขั้นตอนการคำนวณเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ CRD ที่มีจำนวนซ้ำเท่ากัน

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวน

- จัดกลุ่มข้อมูลลงในตาราง หาผลรวมและค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีตเมนต์ ผลรวมทั้งหมด (G) และค่าเฉลี่ยของทั้งหมด ($\bar{X}$)

ตารางแสดง % ไข่นอนที่ถูกแตนเบียน (ที่รอดจากการฟ่นสารเคมี) เข้าทำลาย

ทรีตเมนต์	ซ้ำ				รวม	ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4		
1 Atabron	55.06	60.94	62.31	49.95	228.26	57.065
2 Z – killer	37.23	70.81	62.51	52.42	222.97	55.742
3 น้ำ (check)	65.35	80.72	65.88	51.88	263.83	65.958
4 Ripcord	66.42	71.00	74.66		212.08	70.693
5 Kumiphos	71.19	55.92	57.29		184.40	61.467
6 Karate	78.46	56.42	80.72		215.60	71.867
7 Sumicidin	59.93	63.51	74.11		197.55	65.850
8 Pay – off	59.74	62.37	67.70		189.81	63.270
9 Thiodan	57.99	56.42	42.19		156.60	52.200
10 Lorsban	39.99	35.24			75.23	37.615
รวม					1,946.33(G)	60.823($\bar{X}$)

- คำนวณ df : total df = $(3 \times 4) + (3 \times 6) + (2 \times 1) - 1 = 31$
Treatment df = $10 - 1 = 9$
Error df = $31 - 9 = 22$

- คำนวณค่าความแปรปรวนของแหล่งต่าง ๆ

$$CF = \frac{1,946.33^2}{32} = 118,381.2647$$

$$Total\ SS = (55.06^2 + 60.94^2 + \dots + 35.24^2) - CF = 4,300.6432$$

$$Treatment\ SS = \left(\frac{228.26^2}{4} + \frac{222.97^2}{4} + \dots + \frac{212.08^2}{3} + \dots + \frac{75.23^2}{2} \right) - CF$$

$$= 2,318.6561$$

$$Error\ SS = 4,300.6432 - 2,318.6561 = 1,981.9871$$

$$Treatment\ MS = \frac{2,318.6561}{9} = 257.6284$$

$$Error\ MS = \frac{1,981.9871}{22} = 90.0903$$

$$F\ Value = \frac{257.6284}{90.0903} = 2.85$$

- เปิดตาราง F ที่ df ของ treatment = 9 และ Error = 22 ได้ค่า F table

- คำนวณค่า C.V.

$$C.V. = \frac{\sqrt{90.0903}}{60.823} \times 100 = 15.6\%$$

- กรอกราคาที่วิเคราะห์ได้ลงในตาราง ANOV

SOV	DF	SS	MS	F – Value		
				Cal	5%	1%
Total	31	4,300.6432				
Treatment	9	2,318.6561	257.6284	2.85*	2.35	3.35
Error	22	1,981.9871	90.0903			

C.V. = 15.6%

2. เปรียบเทียบค่าแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT โดยเรียงค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อยและมีการคำนวณค่า LSR เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์ที่มีจำนวนซ้ำแตกต่างกัน คือ 4 ซ้ำ VS 3 ซ้ำ, 4 ซ้ำ VS 2 ซ้ำ, 3 ซ้ำ VS 2 ซ้ำ โดยใช้สูตรการคำนวณ $S_{\bar{x}}$ ดังนี้

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_j} \right) \text{Error MS}}$$

เมื่อ r_i และ r_j เป็นจำนวนซ้ำที่ไม่เท่ากัน

$$4 \text{ VS } 3 = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{3} \right) 90.0903}$$

$$4 \text{ VS } 2 = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{2} \right) 90.0903}$$

$$3 \text{ VS } 2 = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2} \right) 90.0903}$$

และดำเนินการเปรียบเทียบโดยใช้หลักการในข้อ 2 (2) ได้ผลการเปรียบเทียบดังนี้

ลำดับที่	ทรีตเมนต์	ค่าเฉลี่ย
1	6 Karate	71.867 a
2	4 Ripcord	70.993 ab
3	3 น้ำ	65.956 abc
4	7 Sumicidin	65.850 abc
5	8 Pay – off	63.270 abc
6	5 Kumiphos	61.467 abc
7	1 Atabron	57.065 abc
8	2 Z – killer	55.742 bc
9	9 Thiodan	52.200 cd
10	10 Lorban	37.615 d

การแปลผล

สารฆ่าแมลงที่เป็นพิษต่อแตนเบียนน้อยที่สุด มีผลทำให้แตนเบียนรอดชีวิตจนมีโอกาสดำรงชีพต่อไปจนเจาะลำต้นข้าวโพดมากที่สุด คือ Karate (ไข่หนอนถูกทำลายถึง 71.9%) ผลนี้ไม่แตกต่างไปจากการใช้น้ำ Ripcord Sumicidin Pay – off Kumiphos และ Atabron แต่แตกต่างกับ Z – killer Thiodan และ Lorsban โดยที่ Lorsban และ Thiodan เป็นพิษต่อแตนเบียนมากจนเหลือความสามารถในการทำลายไข่หนอนได้เพียง 37.6 และ 52.2% ตามลำดับเท่านั้น

แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCB)

โดยธรรมชาติหน่วยทดลองทั่ว ๆ ไปโดยเฉพาะในไร่ มักไม่มีความสม่ำเสมอกันมากนัก ถ้าทำการทดลองโดยไม่จัดการกับหน่วยทดลองให้มีความใกล้เคียงกันหรือแตกต่างกันน้อยที่สุดแล้วย่อมเกิดความแปรปรวนในการทดลองมากจนกระทั่งไม่สามารถตรวจสอบว่าพรีติเมนต์ต่าง ๆ ในการทดลองนั้นให้ผลแตกต่างกันอย่างไรหรือไม่ จึงจำเป็นต้องทำการจัดกลุ่มของหน่วยทดลองให้ภายในกลุ่มมีความแตกต่างกันน้อยที่สุด แต่แตกต่างกันมากที่สุดระหว่างกลุ่ม เรียกว่า บล็อก (Block)

การจัดบล็อก

การจัดบล็อกมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความแปรปรวนของการทดลองให้น้อยลง มีหลักการที่ต้องพิจารณา คือ

1. ต้นเหตุของความแปรปรวนในหน่วยทดลอง เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน หรือทิศทางการระบายของน้ำในงานทดลองด้านอารักขาพืช หรือความลาดเอียงของพื้นที่เป็นต้น
2. การจัดรูปร่างและทิศทางของบล็อก ยกตัวอย่างเฉพาะเรื่องความอุดมสมบูรณ์ของดินเท่านั้นซึ่งสามารถนำไปใช้กับความแปรปรวนอันเกิดจากต้นเหตุอื่น ๆ ได้
 - เมื่อดินมีทิศทางของความอุดมสมบูรณ์ของดินทางเดียว ให้จัดบล็อกเป็นรูปร่างแคบและยาวให้ด้านยาวของบล็อกตั้งฉากกับทิศทางของความอุดมสมบูรณ์ของดิน
 - เมื่อดินมีความอุดมสมบูรณ์ 2 ทิศทาง ทางหนึ่งมากกว่าอีกทางหนึ่ง จัดบล็อกเป็นรูปร่างแคบและยาว ให้ด้านยาวของบล็อกตั้งฉากกับทิศทางที่มีความอุดมสมบูรณ์มากกว่า
 - เมื่อดินมีความอุดมสมบูรณ์แตกต่างกันเป็น 2 ทิศทางตั้งฉากกัน ใช้วิธีจัดบล็อกให้เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือใช้แผนการทดลองแบบละตินสแควร์อย่างใดอย่างหนึ่ง
 - เมื่อไม่รู้ทิศทางความอุดมสมบูรณ์ของดิน ควรจัดบล็อกให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมากที่สุด

การสุ่มและแผนผังการทดลอง

ทำการสุ่มแยกกันทีละบล็อก ในแต่ละบล็อกจะต้องมีครบทุกทรีตเมนต์ เช่น ทำการทดลอง 5 ทรีตเมนต์ : A B C D E ทำ 4 ซ้ำ ให้จัดบล็อกตามหลักการข้างต้น 4 บล็อก ในแต่ละบล็อกแบ่งเป็น แปลงย่อย 5 แปลง ให้เบอร์ประจำแปลงย่อย แล้วสุ่มทรีตเมนต์ด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่งในเรื่อง CRD ให้กับแปลงย่อยทั้ง 5 แปลง ในบล็อกที่ 1 และทำการสุ่ม เช่นเดียวกันนี้กับบล็อกที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับจะได้แผนผังการทดลองดังนี้

Block 1	2	3	4
C	A	E	D
B	E	C	A
A	C	A	B
D	B	D	C
E	D	B	E

การวิเคราะห์การทดลอง

การวิเคราะห์ผลในแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ จะมีความแปรปรวนจาก 3 แหล่ง คือ ความแปรปรวนที่เกิดจากบล็อก ทรีตเมนต์ และความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการปฏิบัติ (Experimental Error)

มีขั้นตอนการคำนวณต่อไปนี้

ตัวอย่าง การทดลอง 5 ทรีตเมนต์ A B C D E ทำ 4 บล็อก (ซ้ำ) ($t = 5, r = 4$)

1. กรอกรหัสลงในตาราง

ทรีตเมนต์	ซ้ำ				รวม	ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4		
$T_1 = A$	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	T_1	$\bar{X}_1$
$T_2 = B$	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	T_2	$\bar{X}_2$
$T_3 = C$	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	T_3	$\bar{X}_3$
$T_4 = D$	X_{41}	X_{42}	X_{43}	X_{44}	T_4	$\bar{X}_4$
$T_5 = E$	X_{51}	X_{52}	X_{53}	X_{54}	T_5	$\bar{X}_5$
รวม	R_1	R_2	R_3	R_4	G	$\bar{X}$

2. คำนวณผลรวม ค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีตเมนต์ ผลรวมของซ้ำ ผลรวมทั้งหมดและค่าเฉลี่ย

3. คำนวณ Degree of Freedom (df)

$$\begin{aligned}\text{Total df} &= t \times r - 1 = 5 \times 4 - 1 = 19 \\ \text{Replication df} &= r - 1 = 4 - 1 = 3 \\ \text{Treatment df} &= t - 1 = 5 - 1 = 4 \\ \text{Error df} &= (t - 1)(r - 1) = 3 \times 4 = 12\end{aligned}$$

4. คำนวณค่าความแปรปรวนที่เกิดจากแหล่งต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลในตารางข้อ 1

- ค่า Sum of Square (SS)

$$\begin{aligned}\text{Correction Factor (CF)} &= \frac{G^2}{t \times r} \\ \text{Total SS} &= (X_{11}^2 + X_{21}^2 + \dots + X_{54}^2) - CF \\ \text{Replication SS} &= \frac{(R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_4^2)}{t} - CF \\ \text{Treatment SS} &= \frac{(T_1^2 + T_2^2 + \dots + T_5^2)}{r} - CF \\ \text{Error SS} &= \text{Total SS} - \text{Replication SS} - \text{Treatment SS}\end{aligned}$$

- ค่า Mean Square (MS)

$$\begin{aligned}\text{Replication MS} &= \frac{\text{Replication SS}}{r - 1} \\ \text{Treatment MS} &= \frac{\text{Treatment SS}}{t - 1} \\ \text{Error MS} &= \frac{\text{Error SS}}{(t - 1)(r - 1)}\end{aligned}$$

- ค่า F - Value

$$F = \frac{\text{Treatment MS}}{\text{Error MS}}$$

5. เปิดตาราง F ที่ $(t - 1) = 4$ และ $(t - 1)(r - 1) = 12$ จะได้ค่าตัวเลข 2 ค่าคือ 3.26 และ 5.41

6. ทำตารางสรุปผลการวิเคราะห์ (ANOVA) โดยกรอกค่าที่คำนวณได้ทั้งหมดในตาราง

SOV	DF	SS	MS	F - Value		
				Cal	5%	1%
Total	19					
Replication	3					
Treatment	4					
Error	12					

7. คำนวณค่า C.V. ใส่ท้ายตาราง ANOV

8. เปรียบเทียบค่า F ที่คำนวณได้กับค่า F ในตารางโดยใช้หลักการเช่นเดียวกับ CRD

9. คำนวณค่าสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์

ตัวอย่าง เรื่อง การศึกษาผลของความถี่ในการฉีด NAA ต่อการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของแตงกวา

ทรีตเมนต์ (T) : T_1 = ไม่พ่น NAA
 T_2 = พ่น 3 ครั้ง
 T_3 = พ่น 6 ครั้ง
 T_4 = พ่น 9 ครั้ง

จำนวนซ้ำ (r)

แผนผังการทดลอง

	R_1	R_2	R_3	R_4
T_3	T_4	T_4	T_1	
T_1	T_3	T_1	T_4	
T_4	T_2	T_3	T_2	
T_2	T_1	T_2	T_3	

- วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลในตาราง

ตารางแสดงน้ำหนักผลผลิตแตงกวา (กรัม)

ทรีตเมนต์	ซ้ำ				รวม	ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4		
1 ไม่พ่น	312.70	325.91	340.91	393.87	1,373.39	343.3475
2 พ่น 3 ครั้ง	490.76	509.01	560.48	515.96	2,076.21	519.0525
3 พ่น 6 ครั้ง	579.60	647.23	637.95	583.64	2,448.42	612.1050
4 พ่น 9 ครั้ง	394.11	381.20	468.37	469.53	1,713.21	428.3025
รวม	1,777.17	1,863.35	2,007.71	1,963.00	7,611.23	475.7019

- คำนวณค่า df

Total df = $4 \times 4 - 1$ = 15

Replication = $4 - 1$ = 3

Treatment df = $4 - 1$ = 3

Error df = $15 - 3 - 3$ = 9

- คำนวณค่าความแปรปรวนของแหล่งต่าง ๆ คือ

CF = $\frac{7,611.23^2}{16}$ = 3,620,676.382

$$\begin{aligned}
\text{Total SS} &= 312.70^2 + 325.91^2 + \dots + 469.53^2 - \text{CF} = 177,888.2456 \\
\text{Replication} &= \frac{1,777.17^2 + \dots + 1,963.00^2}{4} - \text{CF} = 7,992.3368 \\
\text{Treatment SS} &= \frac{1,373.39^2 + \dots + 1,713.21^2}{4} - \text{CF} = 160,997.8821 \\
\text{Error SS} &= 177,888.2456 - 7,992.3368 - 160,997.8821 = 8,898.0267 \\
\text{Replication MS} &= \frac{7,992.3368}{3} = 2,664.1123 \\
\text{Treatment MS} &= \frac{160,997.8821}{3} = 53,665.9607 \\
\text{Error MS} &= \frac{8,898.0267}{9} = 988.6696 \\
F &= \frac{53,665.9607}{988.6696} = 54.28
\end{aligned}$$

- เปิดตาราง F ที่ df (3,9) ได้ค่า F ที่ .05 = 3.86 และที่ .01 = 6.99
- คำนวณค่า C.V. เพื่อใส่ท้ายตาราง

$$\text{C.V.} = \frac{\sqrt{988.6696}}{475.7019} \times 100 = 6.6\%$$

- กรอกราค่าที่วิเคราะห์ได้ทั้งหมดลงในตาราง ANOV

SOV	DF	SS	MS	F - Value		
				Cal	5%	1%
Total	15	177,888.2456				
Replication	3	7,992.3368	2,664.1123			
Treatment	3	160,997.8821	53,665.9607	54.28**	3.86	6.99
Error	9	8,896.0267	988.6696			

$$\text{C.V.} = 6.6\%$$

- คำนวณค่า LSD เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการพ่น NAA จำนวนครั้งต่าง ๆ กับการไม่พ่น

$$\begin{aligned}
\text{LSD } 5\% &= t_{.05} \times \sqrt{\frac{2 \times 988.6696}{4}} = 2.262 \times 22.2336 \\
&= 50.29 \text{ กรัม} \\
\text{LSD } 1\% &= t_{.01} \times \sqrt{\frac{2 \times 988.6696}{4}} = 3.250 \times 22.2336 \\
&= 72.26 \text{ กรัม}
\end{aligned}$$

ทรีตเมนต์	น้ำหนักผลผลิตเฉลี่ย (กรัม)	ค่าแตกต่างจาก Check
1. ไม่พ่น NAA (Check)	343.35	–
2. พ่น 3 ครั้ง	519.05	175.70**
3. พ่น 6 ครั้ง	612.10	268.76**
4. พ่น 9 ครั้ง	428.30	84.96**

** แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

การแปลผล

การพ่น NAA มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตแตงกวา โดยให้ผลผลิตสูงกว่าที่ไม่พ่นจนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การปลูกแตงกวาโดยไม่ใช้ฮอร์โมน NAA เลยได้ผลผลิตเพียง 343.35 กรัม เมื่อพ่น NAA 3 – 6 ครั้ง ช่วยให้ผลผลิตสูงขึ้นถึง 519.05 และ 612.10 กรัม ตามลำดับแต่เมื่อพ่น 9 ครั้ง กลับทำให้ผลผลิตลดลง

เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ CRD (Relative Efficiency)

การทดลองแบบ RCB สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ CRD โดยคำนวณจากสูตร

$$RE = \frac{(r-1)E_b + r(t-1)E_e}{(rt-1)E_e}$$

เมื่อ E_b คือ Replication MS และ E_e คือ error MS ในตารางวิเคราะห์ของ RCB แต่ในกรณีที่มี error df น้อยกว่า 20 ค่า RE จะต้องคูณค่าคงที่ k ตามสูตร

$$k = \frac{((r-1)(t-1)+1)(t(r-1)+3)}{((r-1)(t-1)+3)(t(r-1)+1)}$$

จากตัวอย่างข้างต้น มี error df เพียง 9 จึงต้องคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} RE_{adj} &= RE \times k \\ &= \left(\frac{(r-1)E_b + r(t-1)E_e}{(rt-1)E_e} \right) \left(\frac{\{(r-1)(t-1)+1\} \{t(r-1)+3\}}{\{(r-1)(t-1)+3\} \{t(r-1)+1\}} \right) \\ &= \left(\frac{3(2,664.1123) + 4(3)(988.6696)}{(4 \times 4 - 1)(988.6696)} \right) \left(\frac{(3 \times 3 + 1)(4 \times 3 + 3)}{(3 \times 3 + 3)(4 \times 3 + 1)} \right) \\ &= 1.29 \end{aligned}$$

แสดงให้เห็นว่าการทำ RCB มีประสิทธิภาพดีกว่า CRD 29%

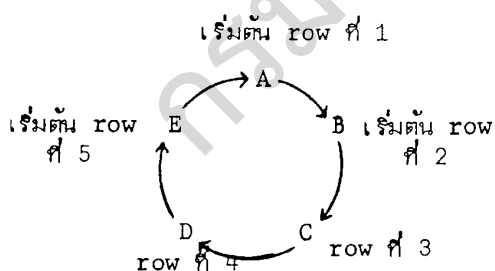
แผนการทดลองแบบละตินสแควร์ (LS)

งานทดลองเกี่ยวกับการเกษตรที่ทำในไร่ มักพบว่ามีความแปรปรวนของหน่วยทดลองอยู่เสมอ ส่วนใหญ่ความแปรปรวนนั้นมีเพียงทิศทางเดียว จึงต้องทำการจัดบล็อกให้ด้านยาวของบล็อกตั้งฉากกับทิศทางของความแปรปรวนนั้น แต่บางครั้งความแปรปรวนอาจเป็นได้ 2 ทิศทางตั้งฉากกัน เช่น พื้นที่ที่มีความลาดเอียง 2 ทาง จึงต้องทำบล็อกเป็น 2 ทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของความแปรปรวนที่มีอยู่ คือ บล็อกทางแนวนอน (Row blocking) และบล็อกทางแนวตั้ง (Column blocking) การบล็อกเช่นนี้เป็นหลักการสำคัญในการวางแผนในการทดลองแบบละตินสแควร์ แต่ละบล็อกในแนวนอนหรือแนวตั้งจะต้องมีครบทุกทรีตเมนต์ ดังนั้นจึงเป็นข้อบังคับของ LS ว่าจำนวนทรีตเมนต์ จำต้องเท่ากับจำนวน Row และจำนวน Column ถ้ามีจำนวนทรีตเมนต์มากกว่าการทดลองก็จะใหญ่เพราะจะต้องทำซ้ำมากให้เท่ากันตรงข้ามถ้าจำนวนทรีตเมนต์น้อย ก็จะมีค่าน่าเชื่อถือน้อยด้วย จำนวนทรีตเมนต์ที่เหมาะสมจึงไม่ควรน้อยกว่า 4 และไม่เกิน 8

การสุ่มและแผนผังการทดลอง

สมมติต้องการเปรียบเทียบ 5 ทรีตเมนต์ A B C D E ในพื้นที่ที่มีความลาดเอียง 2 ทิศทางตั้งฉากกัน การวางแผนผังการทดลอง จะต้องทำเป็นแปลงรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแปลงย่อยเป็น 5×5 แปลงมีขั้นตอนดังนี้ คือ

1. **ทำแบบมาตรฐาน (Standard plan)** โดยการใช้แผนผังวงกลมเรียงตัวอักษร A B C D E ไม่ให้ซ้ำกันทุกแถว ไม่ว่าแถวบนหรือแถวตั้ง ทุกแถวจะมีตัวอักษรครบทั้ง 5 ตัว ถ้าเขียนตามแถวบน ใน Row ที่ 1 เริ่มต้นด้วยอักษร A ตามด้วย B C ถึง E ใน Row ที่ 2 จะเริ่มต้นด้วยอักษร B แล้วตาม C D E จบด้วย A ทำเช่นนี้ไปจนถึง Row ที่ 5 ซึ่งจะเริ่มต้นอักษร E แล้วตามด้วย A ไปจบที่ D จะได้แผนผังซึ่งเรียกว่าแบบมาตรฐานดังนี้



row ที่ 1	A	B	C	D	E
row ที่ 2	B	C	D	E	A
row ที่ 3	C	D	E	A	B
row ที่ 4	D	E	A	B	C
row ที่ 5	E	A	B	C	D

การสุ่ม

การจัดตัวอักษรตามแบบมาตรฐาน ทุกแถวไม่ว่าแถวบนหรือแถวตั้งต่างก็มีครบทุกทรีตเมนต์ไม่ซ้ำกัน แต่เรียงกันเป็นระเบียบ ทรีตเมนต์เดียวกันจะอยู่ในเส้นทแยงมุมจากล่างซ้ายไปบนขวา ไม่มีการสุ่ม จึงต้องทำการสุ่มด้วยวิธีการต่อไปนี้

1. กำหนดเลขประจำ Row เป็น 1, 2, 3, 4, 5 แล้วทำการสุ่ม Row หรือ Block ตามแนวนอน โดยวิธีจับฉลากสมมติได้เลข 3, 5, 2, 1, 4 ตามลำดับ ให้สลับ Row เอา Row ที่ 3 ขึ้นเรียงไว้ด้านบน ถัดลงมา คือ Row ที่ 5, 2, 1 และ 4 จะได้แผนผังใหม่ ดังนี้

row 3	C	D	E	A	B
5	E	A	B	C	D
2	B	C	D	E	A
1	A	B	C	D	E
4	D	E	A	B	C

2. กำหนดเลขประจำ Column กับแผนผังใหม่เป็น 1, 2, 3, 4, 5 แล้วทำการสลับ Column ด้วยวิธีเดียวกัน สมมติได้ 2 1 4 3 5 แล้วเรียง Column ใหม่ต่อจากข้อ 1 ขึ้นต้นด้วย Column 2 แล้ว ตามด้วย Column 1, 4, 3, 5 ตามลำดับ จนได้แผนผังที่สมบูรณ์ ดังนี้

column	2	1	4	3	5
	D	C	A	E	B
	A	E	C	B	D
	C	B	E	D	A
	B	A	D	C	E
	E	D	B	A	C

แผนผังการทดลอง

จัดแปลงทดลองตามแผนผังข้างต้นโดยแบ่งพื้นที่แปลงทั้งหมดเป็น 5 x 5 แปลงย่อย คือ

		ลาดเอียง 1 →				
		1	2	3	4	5
ลาดเอียง 2 ↓	1	D	C	A	E	B
	2	A	E	C	B	D
	3	C	B	E	D	A
	4	B	A	D	C	E
	5	E	D	B	A	C

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวน

เนื่องจากการทดลองแบบ LS มีแหล่งความแปรปรวนทั้งหมด 4 แหล่ง คือ Row Column ทรีตเมนต์ และความคลาดเคลื่อนจากการปฏิบัติงานทดลอง (Experimental Error) จึงต้องเตรียมตารางข้อมูลเพื่อการคำนวณ 2 ตาราง โดยกรอกข้อมูลที่ได้ในแผนผังการทดลองที่แท้จริง 1 ตาราง คำนวณผลรวมทาง Row, Column และผลรวมทั้งหมด และตารางแสดงผลรวม ค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์อีก 1 ตาราง

ตัวอย่าง การปรับปรุงคุณภาพของวัสดุที่มีอยู่โดยเพิ่มลดปริมาณธาตุอาหารในวัสดุผลิตเห็ดฟาง

ทรีตเมนต์ : วัสดุเห็ดฟาง 4 ตำรับ

แผนผังการทดลอง :

column		1	2	3	4
row	1	4	2	1	3
	2	2	4	3	1
	3	3	1	2	4
	4	1	3	4	2

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1) กรอกข้อมูลการทดลองในแผนผังการทดลองและคำนวณผลรวมของ Row Column ผลรวมทั้งหมด และทำตารางผลรวม ค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีตเมนต์

ตารางแสดงน้ำหนักเห็ดฟางจากการใช้วัสดุในการเพาะตำรับต่าง ๆ (กิโลกรัม)

Row	Column (trt)				รวม
	1	2	3	4	
1	3.275 (4)	1.890 (2)	3.886 (1)	2.470 (3)	11.521
2	2.120 (2)	4.800 (4)	2.615 (3)	2.960 (1)	12.495
3	3.805 (3)	3.750 (1)	3.725 (2)	6.010 (4)	17.290
4	5.000 (1)	3.975 (3)	5.995 (4)	4.450 (2)	19.420
รวม	14.200	14.415	16.221	15.890	60.726

ทรีตเมนต์	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย
1	15.596	3.899
2	12.185	3.046
3	12.865	3.216
4	20.080	5.020
		$\bar{X} = 3.7954$

2) คำนวณค่า Degree of freedom (df)

กำหนดให้จำนวนทรีตเมนต์ = จำนวน Row = จำนวน Column = t

$$\text{Total df} = t^2 - 1 = 4^2 - 1 = 15$$

$$\text{Row df} = \text{Column df} = \text{Treatment df} = t - 1$$

$$= 4 - 1 = 3$$

$$\text{Error df} = (t - 1)(t - 2) = (4 - 1)(4 - 2) = 6$$

3) คำนวณค่าความแปรปรวนของแหล่งต่าง ๆ

Sum of Square (SS)

$$\text{CF} = \frac{60.726^2}{16} = 230.4779$$

$$\text{Total SS} = (3.275^2 + 1.890^2 + \dots + 4.450^2) - \text{CF} = 23.2353$$

$$\text{Row SS} = \frac{(11.521^2 + \dots + 19.420^2)}{4} - \text{CF} = 10.7568$$

$$\text{Column SS} = \frac{(14.200^2 + \dots + 15.890^2)}{4} - \text{CF} = 0.7833$$

$$\text{Treatment SS} = \frac{(15.596^2 + \dots + 20.080^2)}{4} - \text{CF} = 9.6281$$

$$\begin{aligned} \text{Error SS} &= \text{Total SS} - \text{Row SS} - \text{Column SS} - \text{Treatment SS} \\ &= 23.2353 - 10.7568 - 0.7833 - 9.62 = 2.0671 \end{aligned}$$

Mean Square (MS)

$$\text{Row MS} = \frac{\text{Row SS}}{\text{Row df}} = \frac{10.7568}{3} = 3.5856$$

$$\text{Column MS} = \frac{\text{Column SS}}{\text{Column df}} = \frac{0.7833}{3} = 0.2611$$

$$\text{Treatment MS} = \frac{\text{Treatment SS}}{\text{Treatment df}} = \frac{9.6281}{3} = 3.2094$$

$$\text{Error MS} = \frac{\text{Error SS}}{\text{Error df}} = \frac{2.0671}{6} = 0.3445$$

F - Value

$$F = \frac{\text{Treatment MS}}{\text{Error MS}} = \frac{3.2094}{0.3445} = 9.32$$

4) เปิดตาราง F ที่ df (t - 1) และ (t - 1)(t - 2) ได้ค่า F(3,6 df) ที่ 5% และ 1% เป็น 4.76, 9.78 ตามลำดับ

5) คำนวณค่า C.V. ใส่ท้ายตารางสรุปผลความแปรปรวน

$$\begin{aligned} \text{C.V.} &= \frac{\sqrt{\text{Error MS}}}{\bar{X}} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{0.3445}}{3.7954} \times 100 \\ &= 15.46\% \end{aligned}$$

6) กรอกราค่าที่คำนวณได้ทั้งหมดลงในตารางสรุปผลความแปรปรวน (ANOVA)

SOV	DF	SS	MS	F – Value		
				Cal	5%	1%
Total	15	23.2353				
Row	3	10.7568	3.5856	10.41**		
Column	3	0.7833	0.2611	<1		
Treatment	3	9.6281	3.2094	9.32*	4.76	6.78
Error	6	2.0671	0.3445			

$$\text{C.V.} = 15.46\%$$

2. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์

เนื่องจากค่าของ F แสดง Significant ซึ่งหมายความว่า การทดลองนี้จะต้องมีวัสดุสำหรับเพาะอย่างน้อย 2 ตำรับ ที่ให้ผลผลิตของเห็ดแตกต่างกัน จึงต้องคำนวณค่าสถิติเพื่อใช้ตัดสินความแตกต่างของค่าเฉลี่ย แต่เนื่องจากทรีตเมนต์ที่กำหนดการทดลองมีเพียง 4 ทรีตเมนต์ จึงควรใช้ค่า LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 5% เป็นตัวตัดสิน ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{LSD } 5\% &= t_{.05} \times \sqrt{\frac{2 \times \text{Error MS}}{t}} \\ &= 2.447 \times \sqrt{\frac{2 \times 0.3445}{4}} \\ &= 1.0156 \end{aligned}$$

การแปลความหมาย

จากการทดลองปรับปรุงคุณภาพวัสดุเพาะเห็ด 4 ตำรับ ปรากฏผลว่า การเพาะเห็ดด้วยวัสดุตำรับที่ 4 ให้ผลผลิตสูงสุดและแตกต่างจากตำรับอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือให้ผลผลิตเฉลี่ย 5.0 กิโลกรัม ขณะที่ตำรับที่ 1, 2, 3 ให้ผลผลิตเฉลี่ย 3.9 3.0 และ 3.2 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งผลผลิตจากทั้ง 3 ตำรับหลังนี้ใกล้เคียงกันมากจนไม่ถือว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ LS กับ RCB และ CRD

กรณีที่หน่วยทดลองมีความแตกต่างกันด้วยสาเหตุอย่างเดียว เช่น มีความแปรปรวนไปในทิศทางเดียวกัน การจัดหน่วยทดลองให้เป็นกลุ่มทางวิธีการของการบล็อกในแผนการทดลองแบบ RCB ย่อมมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้แผนการทดลองแบบ CRD แต่สำหรับการทดลองกับหน่วยทดลองที่มีหรือคาดว่าจะมีความแปรปรวนด้วย 2 สาเหตุ หรือไม่รู้ความแปรปรวนการใช้แผนการทดลองแบบ LS ซึ่งทำบล็อก 2 ทิศทาง คือ บล็อกทางแนวนอนและทางแนวตั้ง ก็ควรจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการไม่มีบล็อก หรือทำบล็อกด้านเดียว โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ก่อนเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ LS กับ CRD และ RCB จะต้องตรวจดูค่าความแปรปรวนซึ่งเกิดขึ้นทางด้าน Row และ Column ก่อน

- คำนวณค่า F ของ Row และ Column

$$\begin{aligned} F(\text{row}) &= \frac{\text{Row MS}}{\text{Error MS}} \\ F(\text{Column}) &= \frac{\text{Column MS}}{\text{Error MS}} \\ \text{จากตัวอย่าง } F(\text{row}) &= \frac{3.5856}{0.3445} = 10.41 \\ F(\text{Column}) &= \frac{0.2611}{0.3445} = <1 \end{aligned}$$

- เปรียบเทียบค่า F จากการคำนวณค่า F จากตารางที่ df ของ Row หรือ Column กับ df ของ Error จากตัวอย่าง Row df = Column df = 3 และ Error df = 6 เปิดค่า F ที่ 5% และ 1% ได้ 4.76 และ 9.78 ตามลำดับ จากการคำนวณ F (Row) มีค่ามากกว่า F จากตารางทั้ง 5% และ 1% แต่ F (Column) มีค่าน้อยกว่า 1 จึงชี้ให้เห็นว่าการบล็อกทางแนวนอน ทำได้เหมาะสมสามารถลดความแปรปรวนของผลการทดลองได้แต่การบล็อกทางแนวตั้งไม่มีผล

2. คำนวณค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ LS กับ CRD และ RCB

- เปรียบเทียบ LS กับ CRD

$$\begin{aligned} RE(\text{CRD}) &= \frac{E_r + E_c + (t-1)E_e}{(t+1)E_e} \\ \text{เมื่อ } E_r &= \text{Row MS} \\ E_c &= \text{Column MS} \\ E_e &= \text{Error MS} \\ \text{จากตัวอย่าง } RE(\text{CRD}) &= \frac{3.5856 + 0.2611 + 3(0.3445)}{5 \times 0.3445} = 2.83 \end{aligned}$$

- เปรียบเทียบ LS กับ RCB

$$RE (RCB, Col) = \frac{E_c + (t-1)E_e}{t(E_e)}$$

$$RE (RCB, Row) = \frac{E_r + (t-1)E_e}{t(E_e)}$$

สำหรับการทดลองตามแผน LS ที่มีค่า Error df น้อยกว่า 20 จะต้องปรับค่าคงที่ k

$$\text{ตามสูตร} \quad k = \frac{((t-1)(t-2)+1)((t-1)^2+3)}{((t-1)(t-2)+3)((t-1)^2+1)}$$

จากตัวอย่างมีค่า Error df = 6 จึงต้องคูณด้วยค่า k ดังนี้

$$RE (RCB, Row) = \frac{(3.5856+3(0.3445))}{(4(0.3445))} \frac{(3 \times 2 + 1)(3^2 + 3)}{(3 \times 2 + 3)(3^2 + 1)} = 3.13$$

$$RE (RCB, Col) = \frac{(0.2661+3(0.3445))}{(4(0.3445))} \frac{(3 \times 2 + 1)(3^2 + 3)}{(3 \times 2 + 3)(3^2 + 1)} = 0.88$$

ผลการเปรียบเทียบชี้ให้เห็นว่าการใช้แผน LS โดยทำบล็อกทางแนวนอนและแนวตั้งในการทดลองนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้แผนการทดลองแบบ CRD ถึง 183% ซึ่งหมายความว่าถ้าทำการทดลองแบบ CRD จะต้องทำถึง 11 ซ้ำ จึงจะทดสอบความแตกต่างของทรีตเมนต์ได้ผลเช่นเดียวกับใช้แผนแบบ LS นอกจากนี้ยังชี้ให้เห็นอีกด้วยว่า ถ้าใช้แผนการทดลองแบบ LS โดยทำบล็อกทางแนวนอนเพิ่มขึ้นในการทดลองเดิมที่เป็น RCB และมี Column เป็น Block เพียงอย่างเดียวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทดลองขึ้นได้อีก 213% แต่ตรงกันข้ามถ้าเดิมทำ RCB ที่มีบล็อกทางแนวนอนอยู่แล้วไม่จำเป็นต้องทำ LS โดยบล็อกทางแนวตั้งอีก เพราะไม่ได้ช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพขึ้นแต่อย่างใด

การทดสอบมากกว่าปัจจัยเดียว

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นสัตว์หรือพืช มีการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ไม่เหมือนกัน ดังนั้นการทดลองที่ทำเกี่ยวกับปัจจัยเดียวในบางครั้งจึงไม่เพียงพอ เพราะว่าการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตต่อปัจจัยที่ทดสอบจะเปลี่ยนแปลงไปถ้ามีปัจจัยอื่น ๆ มาเกี่ยวข้องด้วย การทำการทดสอบมากกว่าปัจจัยเดียวพร้อม ๆ กันจะช่วยให้สามารถทราบเรื่องราวของสิ่งที่กำลังศึกษาให้กว้างขวางขึ้น

ปัจจัยต่าง ๆ ในทางเกษตรแบ่งได้เป็น 2 พวก

1. ปัจจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative factors) หมายถึงปัจจัยที่แต่ละระดับไม่มีความต่อเนื่องกัน เมื่อนำระดับเหล่านั้นมาเรียงกันบนแกนแนวนอน จะสลับที่กันได้ นั่นคือตำแหน่งบนแกนแนวนอนไม่ใช่ค่าของระดับนั้น ๆ อย่างแท้จริง แต่เป็นตัวแทนของระดับหนึ่ง ๆ เพียงชั่วขณะนั้น เช่น

- พันธุ์ข้าว กข 1 ชาวดอกมะลิ 105.....
 - พันธุ์ถั่วเหลือง สจ 1 สจ 2 สจ 4.....
 - สารเคมีกำจัดแมลง ฟุราดาน คาร์โบฟูราน.....
 - ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ แอมโมเนียมซัลเฟต ยูเรีย.....
- ฯลฯ

2. ปัจจัยเชิงปริมาณ (Quantitative factors) หมายถึงปัจจัยที่แต่ละระดับมีความต่อเนื่องกัน ตำแหน่งบนแกนแนวนอนคือ ค่าของระดับนั้น ๆ ไม่อาจจะสลับที่กันได้ เช่น

- ปุ๋ยไนโตรเจน 6, 12, 18 และ 24 กิโลกรัม/ไร่
- ฟุราดาน อัตรา 2, 3, 4 และ 8 กิโลกรัม/ไร่
- การปลูกพืชโดยใช้ระยะห่างระหว่างแถว 50 เซนติเมตร และใช้ระยะห่างระหว่างต้นในแถวเป็น 10, 15, 20 และ 25 เซนติเมตร
- การปลูกพืชจำนวน 25, 36, 80 ต้น/ไร่

ให้สังเกตว่าปัจจัยเชิงปริมาณนี้อาจจะมีระยะห่างระหว่างระดับ (space) ต่าง ๆ เท่ากันหรือไม่เท่ากันได้

การศึกษาสองปัจจัยพร้อม ๆ กัน เช่น

ปัจจัยที่ 1 คือ พันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ กข 5 และ กข 7

ปัจจัยที่ 2 คือ ปุ๋ยไนโตรเจน 2 ระดับ ได้แก่ ไม่ใส่ปุ๋ยและใส่ปุ๋ย 6 กิโลกรัม/ไร่

การรวมตัวระหว่างแต่ละระดับของ 2 ปัจจัย เป็น 4 แบบ ดังนี้

กข 5 ไม่ใส่ปุ๋ย

กข 5 ใส่ปุ๋ย 6 กิโลกรัม/ไร่

กข 7 ไม่ใส่ปุ๋ย

กข 7 ใส่ปุ๋ย 6 กิโลกรัม/ไร่

ทั้ง 4 แบบนี้เป็น 4 Treatment ที่จะทำการเปรียบเทียบ แต่เรียกชื่อใหม่ว่า Treatment Combination หรือ Factorial Combination และทั้งสองปัจจัยนี้ถือว่าเป็น factorial ซึ่งกันและกัน

การทำการศึกษาสองปัจจัยในการทดลองเดียวกัน นอกจากจะศึกษาถึงผลการตอบสนองของแต่ละปัจจัย (main effect) ที่ทดสอบแล้วยังสามารถจะศึกษาถึง Interaction ระหว่างปัจจัยทั้งสองนั้นด้วย ทั้งสองปัจจัยไม่มี Interaction ต่อกันเมื่อผลการตอบสนองต่อปัจจัยที่ 1 เหมือนกันไม่ว่าปัจจัยที่สองจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร แต่ถ้าการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่สองทำให้การตอบสนองต่อปัจจัยที่ 1 เปลี่ยนแปลงไป แสดงว่าทั้งสองปัจจัยมี Interaction ต่อกัน

ตารางที่ 1 ค่าสมมติเพื่อแสดงการตอบสนองของพันธุ์ข้าว กข 5 และ กข 7 ต่อปุ๋ยไนโตรเจน (ผลผลิต (ก/ไร่))

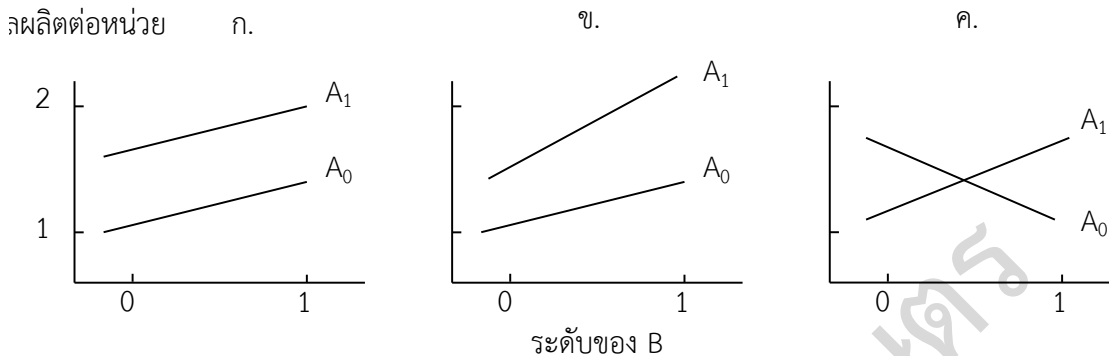
พันธุ์	ไนโตรเจน กก./ไร่		เฉลี่ย
	0	6	
ก. <u>ไม่มี Interaction</u>			
กข 5	10	30	20
กข 7	20	40	30
เฉลี่ย	15	35	
ข. <u>มี Interaction</u>			
กข 5	10	30	20
กข 7	20	20	20
เฉลี่ย	15	25	

ในตาราง 1 ก. จะเห็นว่า การเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจน 6 กิโลกรัม/ไร่ จะให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 20 หน่วย ทั้ง กข 5 และ กข 7 หรือถ้าจะพิจารณาอีกด้านหนึ่ง คือ พันธุ์ กข 7 จะให้ผลผลิตสูงกว่า กข 5 10 หน่วย ไม่ว่าจะใช้ปุ๋ยหรือไม่ แสดงว่าทั้งพันธุ์และปุ๋ยไม่มี Interaction ต่อกัน ในกรณีเช่นนี้สามารถจะเปรียบเทียบการตอบสนองของปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งได้โดยใช้ค่าเฉลี่ย นั่นคือ สามารถศึกษา main effect ได้

จากตาราง 1 ข. จะเห็นว่า การเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจน 6 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้ผลผลิตของ กข 5 เพิ่มขึ้น 10 หน่วย แต่ปุ๋ยจำนวนเดียวกัน ไม่สามารถเพิ่มผลผลิตของ กข 7 ได้ ดังนั้น ถ้าเราสรุปตามค่าเฉลี่ยของพันธุ์ทั้งสองว่าปุ๋ย 6 กิโลกรัม/ไร่ เพิ่มผลผลิตได้ 10 หน่วย จึงไม่เป็นความจริงสำหรับพันธุ์

ทั้งคู่ ในทำนองเดียวกัน ถ้าเปรียบเทียบผลผลิตของทั้งสองพันธุ์ เมื่อไม่มีการใส่ปุ๋ย จะเห็นว่าพันธุ์ กข 7 ให้ผลผลิตสูงกว่า กข 5 อยู่ 10 หน่วย แต่ถ้าใส่ปุ๋ย 6 กิโลกรัม/ไร่ พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงกว่ากลับเป็นพันธุ์ กข 5 แสดงว่าการตอบสนองต่อปุ๋ยของพันธุ์ทั้งสองไม่เหมือนกัน ดังนั้นจะสรุปผลตาม main effect ไม่ได้

เพื่อให้เข้าใจ Interaction ได้อย่างชัดเจนจึงใช้อธิบายด้วยรูปภาพ ดังนี้



ก. ไม่มี Interaction การเพิ่มของ A_0 เมื่อ B เปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 เหมือนกับการเพิ่มของ A_1

ข. มี Interaction เล็กน้อย การเพิ่มของ A_1 เมื่อ B เปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 มากกว่าการเพิ่มของ A_0 เมื่อ B เปลี่ยนแบบเดียวกัน

ค. มี Interaction มาก เมื่อเปลี่ยน B จาก 0 เป็น 1 A_1 เท่านั้นที่เพิ่ม ส่วน A_0 จะลดลง

ถึงแม้ว่าการศึกษาอิทธิพลของหลายปัจจัยพร้อม ๆ กัน รวมทั้ง Interaction ของแต่ละปัจจัยจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการทดลองด้านเกษตร แต่ก็ยังมีปัญหา กล่าวคือ นอกจากจะเกิดความยุ่งยากของการตีความหมายและแปลผลการทดลองมากกว่าการทดลองปัจจัยเดียวแล้ว อุปสรรคอีกประการหนึ่งคือ จำนวน Combination จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในรูปของผลคูณ ทำให้ต้องทำการทดลองขนาดใหญ่เป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณและขนาดการทดลองที่ใหญ่มาก อาจจะทำให้ดูแลการทดลองไม่ได้ดีเท่าที่ควร การทำการศึกษาลหลายปัจจัยจึงควรจะทำเมื่อปัจจัยเหล่านั้นได้รับการศึกษามาแล้วครั้งหนึ่งก่อน และเลือกเฉพาะระดับที่มีความสำคัญจริง ๆ เพื่อให้จำนวนของ Treatment Combination พอเหมาะกับการทำการทดลอง

การทดลองแฟคตอเรียล 2 ปัจจัย (2 – Factors Factorial Experiment)

เมื่อผู้ทดสอบมีความสนใจในปัจจัยทั้งสองเท่า ๆ กัน ต้องการทดสอบด้วยความเที่ยงตรงเท่า ๆ กัน หรือมีความสะดวกในการปฏิบัติเกี่ยวกับการทดลองไม่ต้องลงทุนจนมากเกินไป ก็อาจจะใช้การทดลองชนิดนี้ได้ แต่ก่อนอื่นต้องเข้าใจเสียก่อนว่า Factorial Experiment หมายถึง การทดลองที่มีกลุ่มของ treatment ที่ทำการทดลองเป็นการรวมตัวของปัจจัยที่ต้องการทดสอบ ตามที่อธิบายไว้ข้างต้น แต่ไม่ได้บ่งบอกถึงลักษณะของการจัด treatment เมื่อเวลาทำการทดลอง นั่นคือ ไม่ได้บอกให้ทราบว่า

เป็นแผนการทดลองแบบใด ดังนั้นจึงต้องทำการจัดกลุ่มของ treatment ที่ต้องการทดลองให้เข้าลักษณะของแผนการทดลองพื้นฐานอันใดอันหนึ่งใน 3 แบบ ได้แก่

Factorial Experiment ที่จัดในรูป Completely Randomized Design (CRD)

Factorial Experiment ที่จัดในรูป Randomized Complete Block Design (RCB)

Factorial Experiment ที่จัดในรูป Latin Square Design (LTS)

การจัดรูปของ Factorial Experiment จะเป็นแบบใดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหน่วยทดลองเหมือนกับใน Design พื้นฐานดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่ในงานวิจัยทางเกษตร Factorial Experiment ที่จัดในรูป RCB จะเป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุด

ตัวอย่าง 1 การทดลองแฟคทอเรียล 2 ปัจจัยที่วางแผนแบบ RCB

เรื่อง การศึกษาช่วงระยะเวลาปลูกข้าวสำหรับนาปรังในท้องที่มีสภาพหนาวเย็นในภาคเหนือ

วัตถุประสงค์ เพื่อหาช่วงเวลาเหมาะสมในการปลูกข้าวนาปรังในท้องที่มีสภาพหนาวเย็นที่จะได้ผลผลิตสูงสุดของพันธุ์ต่าง ๆ

สถานที่ทำการทดลอง สถานีทดลองข้าวแพร่

ฤดูปลูก พฤษภาคม 2523 – กุมภาพันธ์ 2524

ปัจจัยที่ทดสอบ - ปัจจัย A พันธุ์ข้าว 2 พันธุ์

A_1 กข 7

A_2 BKN 6625 – 109 – 4 – 3 – 1 – 3

- ปัจจัย B เวลาปักดำ 6 เวลา

B_1 ปักดำรุ่นที่ 1 (25 พ.ย. 2523)

B_2 ปักดำรุ่นที่ 2 (10 ธ.ค. 2523)

B_3 ปักดำรุ่นที่ 3 (25 ธ.ค. 2523)

B_4 ปักดำรุ่นที่ 4 (9 ม.ค. 2524)

B_5 ปักดำรุ่นที่ 5 (26 ม.ค. 2524)

B_6 ปักดำรุ่นที่ 6 (10 ก.พ. 2524)

Treatment ที่ทำการทดสอบ

$T_1 = A_1B_1$: กข 7 ปักดำรุ่นที่ 1 (กข 7/1)

$T_2 = A_1B_2$: กข 7 ปักดำรุ่นที่ 2 (กข 7/2)

$T_3 = A_1B_3$: กข 7 ปักดำรุ่นที่ 3 (กข 7/3)

$T_4 = A_1B_4$: กข 7 ปักดำรุ่นที่ 4 (กข 7/4)

$T_5 = A_1B_5$: กข 7 ปักดำรุ่นที่ 5 (กข 7/5)

$T_6 = A_1B_6$: กข 7 ปักดำรุ่นที่ 6 (กข 7/6)

$T_7 = A_2B_1$: BKN 6625 – ปักดำรุ่นที่ 1 (6625/1)

$T_8 = A_2B_2$: BKN 6625 – ปักดำรุ่นที่ 2 (6625/2)

$T_9 = A_2B_3$: BKN 6625 – ปักดำรุ่นที่ 3 (6625/3)

$T_{10} = A_2B_4$: BKN 6625 – ปักดำรุ่นที่ 4 (6625/4)

$T_{11} = A_2B_5$: BKN 6625 – ปักดำรุ่นที่ 5 (6625/5)

$T_{12} = A_2B_6$: BKN 6625 – ปักดำรุ่นที่ 6 (6625/6)

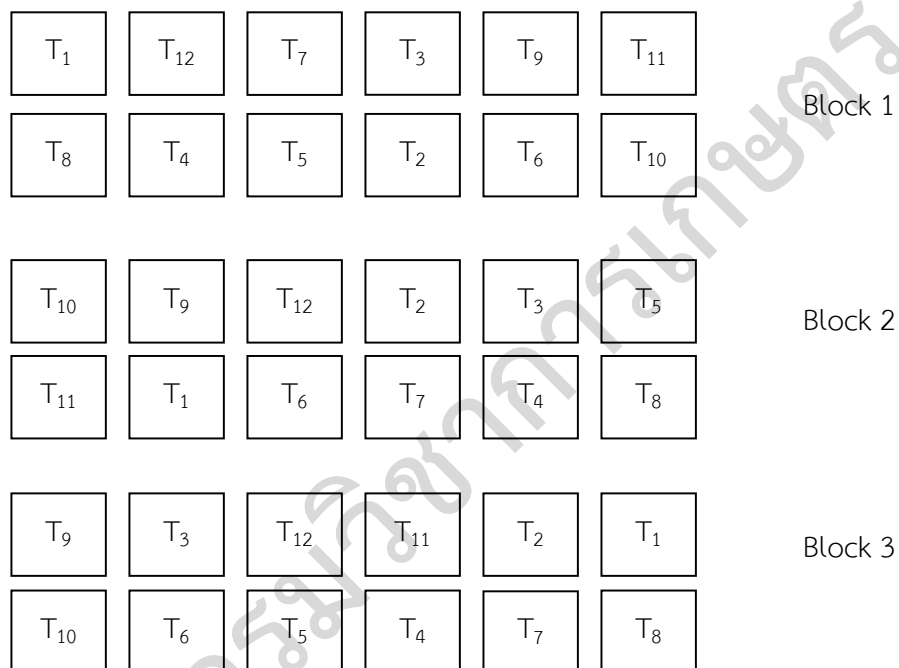
ขนาดแปลงปลูก 3 x 4 เมตร

ระยะปลูก 25 x 25 เซนติเมตร ปักดำ 3 ต้น/กอ

ขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยว 2 x 3 เมตร

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCB 3 ซ้ำ

แผนผังการทดลอง (Lay out)



ข้อสังเกต : ใช้หลักการสุ่ม เช่นเดียวกับ RCB

1. ตารางข้อมูล ผลผลิตข้าว (กิโลกรัม/ไร่)

ตารางที่ 1

Treatment	ปัจจัย	ปัจจัย	Block			ผลรวม
	A	B	1	2	3	
1	กข 7	รุ่นที่ 1	312	335	293	940
2		รุ่นที่ 2	368	324	368	1,060
3		รุ่นที่ 3	382	271	265	918
4		รุ่นที่ 4	531	438	493	1,462
5		รุ่นที่ 5	566	630	546	1,742
6		รุ่นที่ 6	493	540	508	1,541
7	BKN	รุ่นที่ 1	431	359	416	1,206
8	6625	รุ่นที่ 2	466	432	486	1,384
9		รุ่นที่ 3	479	478	414	1,371
10		รุ่นที่ 4	613	584	534	1,731
11		รุ่นที่ 5	649	462	508	1,619
12		รุ่นที่ 6	645	522	474	1,641
ผลรวม			5,935	5,375	5,305	16,615

ตารางที่ 2

A	B						ผลรวม (A)
	1	2	3	4	5	6	
กข 7	940	1,060	918	1,462	1,742	1,541	7,663
BKN 6625	1,206	1,384	1,371	1,731	1,619	1,641	8,952
ผลรวม	2,146	2,444	2,289	3,193	3,361	3,182	16,615

ข้อสังเกต : การเตรียมข้อมูล เพื่อส่งวิเคราะห์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ เตรียมเฉพาะข้อมูลดิบของตารางที่ 1 โดยไม่ต้องมีผลรวมทั้งด้านแนวนอนและแนวตั้ง

2. คำนวณ Degree of freedom (df)

ระดับปัจจัย A	=	2	
ระดับปัจจัย B	=	6	
จำนวน Block	=	3	
Total df	=	$(2 \times 6 \times 3) - 1$	= 35
Block df	=	$3 - 1$	= 2
A df	=	$2 - 1$	= 1
B df	=	$6 - 1$	= 5
(A x B) df	=	$(2 - 1)(6 - 1)$	= 5
Error df	=	$(12 - 1)(3 - 1)$	= 22

3. คำนวณค่า Sum of Square (SS)

จากตารางที่ 1

$$\begin{aligned}
 \text{Correction factor (CF)} &= \frac{16,615^2}{2 \times 6 \times 3} \\
 &= 7,668,284.03 \\
 \\
 \text{Total SS} &= 312^2 + 335^2 + \dots + 474^2 - \text{CF} \\
 &= 8,050,641 - 7,668,284.03 \\
 &= 382,356.97 \\
 \\
 \text{Block SS} &= \frac{5,935^2 + 5,375^2 + 5,305^2}{2 \times 6} - \text{CF} \\
 &= 7,688,156.25 - 7,668,284.03 \\
 &= 19,872.22 \\
 \\
 \text{Treatment SS} &= \frac{940^2 + 1,060^2 + \dots + 1,641^2}{3} - \text{CF} \\
 &= 7,985,516.34 - 7,668,284.03 \\
 &= 317,232.31
 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 2

$$\begin{aligned}
 A \text{ SS} &= \frac{7,663^2 + 8,952^2}{6 \times 3} - CF \\
 &= 7,714,437.39 - 7,668,284.03 \\
 &= 46,153.36 \\
 B \text{ SS} &= \frac{2,146^2 + 2,444^2 + \dots + 3,182^2}{2 \times 3} - CF \\
 &= 7,905,777.84 - 7,668,284.03 \\
 &= 237,493.81 \\
 A \times B \text{ SS} &= 317,232.31 - 46,153.36 - 237,493.81 \\
 &= 33,585.14 \\
 \text{Error SS} &= 382,356.97 - 19,872.22 - 317,232.31 \\
 &= 45,252.44
 \end{aligned}$$

4. คำนวณค่า Mean Square

$$\begin{aligned}
 \text{Block MS} &= \frac{19,872.22}{2} \\
 &= 9,936.11 \\
 A \text{ MS} &= 46,153.36 \\
 B \text{ MS} &= \frac{237,493.81}{5} \\
 &= 47,498.76 \\
 A \times B \text{ MS} &= \frac{33,585.14}{5} \\
 &= 6,717.03 \\
 \text{Error MS} &= \frac{45,252.44}{22} \\
 &= 2,056.93
 \end{aligned}$$

5. คำนวณค่า F

$$\begin{aligned}
 F_{\text{Block}} &= \frac{9,936.11}{2,056.93} \\
 &= 4.83 \\
 F_A &= \frac{46,153.36}{2,056.93} \\
 &= 22.43 \\
 F_B &= \frac{47,498.76}{2,056.93} \\
 &= 23.09 \\
 F_{AB} &= \frac{6,717.03}{2,056.93} \\
 &= 3.26
 \end{aligned}$$

6. เปิดค่า F จากตาราง F ดังนี้

$$\begin{aligned}
 F_{\text{Block}} ; \text{ df ของ Error} &= 22(f_2) & \text{ df ของ Block} &= 2(f_1) \\
 F_{.05} &= 3.44 \\
 F_{.01} &= 5.72
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_A ; \text{ df ของ Error} &= 22(f_2) & \text{ df ของ A} &= 1(f_1) \\
 F_{.05} &= 4.30 \\
 F_{.01} &= 7.94
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_B ; \text{ df ของ Error} &= 22(f_2) & \text{ df ของ B} &= 5(f_1) \\
 F_{.05} &= 2.66 \\
 F_{.01} &= 3.99
 \end{aligned}$$

F_{AB} ; เหมือน F ของ B เพราะว่าค่า df ของทั้งคู่เท่ากัน

7. การเปรียบเทียบค่า F ที่คำนวณได้กับค่า F ในตาราง

ค่า F ที่คำนวณได้ของ Block และของ A x B มีค่าสูงกว่า $F_{.05}$ จากตาราง แต่ไม่สูงกว่า $.01$ ให้ใส่ * ลงบนค่า F ที่คำนวณได้

ค่า F ที่คำนวณได้ของ A และ B มีค่าสูงกว่า $F_{.01}$ จากตาราง ดังนั้นให้ใส่ ** ลงบนค่า F ที่คำนวณได้

8. คำนวณค่า C.V.

$$\begin{aligned}\text{Mean} &= \frac{16,615}{36} \\ &= 461.5 \\ \text{C.V.} &= \frac{\sqrt{2,056.93}}{461.5} \times 100 \\ &= 9.8\%\end{aligned}$$

9. ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)

SOV	DF	SS	MS	F
Total	35	382,357		
Block	2	19,872	9,936.11	4.83*
A	1	46,153	46,153.36	22.43**
B	5	237,494	47,498.76	23.09**
A x B	5	33,585	6,717.03	3.26*
Error	22	45,252	2,056.93	

$$\text{C.V.} = 9.8\%$$

10. ทำตารางเสนอผลค่าเฉลี่ยของ Treatment จากตารางที่ 2 ในข้อ 1 คำนวณ

$$\begin{aligned}\text{ค่าเฉลี่ย A} &= \frac{7,663}{6 \times 3} = 426 \dots\dots\dots \\ \text{B} &= \frac{2,146}{2 \times 3} = 358 \dots\dots\dots \\ \text{A x B} &= \frac{940}{3} = 313 \dots\dots\dots\end{aligned}$$

ตารางค่าเฉลี่ย (เฉลี่ยจากค่าสังเกต 3 ซ้ำ)

ปัจจัย A	ปัจจัย B รุ่น						เฉลี่ย (A)
	1	2	3	4	5	6	
กข 7	313	353	306	487	581	514	426
BKN 6625	402	461	457	577	540	547	497
เฉลี่ย (B)	358	407	381	532	560	530	

11. การคำนวณค่าสถิติเพื่อใช้เทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

ดูตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนจะเห็นว่า A x B มีค่า F* แสดงว่าในการศึกษาครั้งนี้จะต้องเปรียบเทียบผลผลิตของข้าวตาม A x B นั่นคือ ข้าวทั้งสองพันธุ์ต้องการเวลาปลูกที่เหมาะสมที่จะให้ผลผลิตสูงสุดคนละเวลาหรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่าบางช่วงเวลาเหมาะสมสำหรับใช้พันธุ์ กข 7 แต่บางเวลา BKN 6625 เหมาะสมกว่า

ก. เพื่อศึกษาว่าพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์จะให้ผลผลิตสูงที่สุดในช่วงเวลาใด จะเห็นว่าการทดลองถึง 6 ช่วงเวลา คือ 6 รุ่น ดังนั้นควรจะใช้ DMRT ในการตัดสินใจ

$$\begin{aligned} \text{LSR} &= \text{SSR} \cdot S_{\bar{x}} \\ S_{\bar{x}} &= \sqrt{\frac{\text{Error MS}}{r}} \\ &= \sqrt{\frac{2,056.93}{3}} \\ &= 26.185 \\ \text{df ของ Error} &= 22 \end{aligned}$$

ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือที่ความเป็นไปได้ .05

P	2	3	4	5	6
SSR _p	2.93	3.08	3.17	3.24	3.29
LSR _p	76.7	80.6	83.0	84.8	86.2

การเปรียบเทียบให้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของรุ่นที่ปักดำต่าง ๆ ทีละพันธุ์ ดังนี้

รุ่นที่ปักดำ	กข 7
1	313 c
2	353 c
3	306 c
4	487 b
5	581 a
6	514 ab

รุ่นที่ปักดำ	BKN 6625 – 109 – 4 – 3 – 1 – 3
1	402 b
2	461 b
3	457 b
4	577 a
5	540 a
6	547 a

ข. เพื่อศึกษาว่าในการปักดำแต่ละเวลาพันธุ์ใดจะให้ผลผลิตดีกว่ากัน เนื่องจากว่ามีเพียง 2 พันธุ์ จึงใช้ LSD ได้

(df ของ Error = 22)

$$\begin{aligned}
 \text{LSD} &= t \cdot S_{\bar{d}} \\
 S_{\bar{d}} &= \sqrt{\frac{2 \times 2,056.93}{3}} \\
 &= 37.031 \\
 t_{.05} &= 2.074 \\
 t_{.01} &= 2.819 \\
 \text{LSD}_{.05} &= 76.8 \\
 \text{LSD}_{.01} &= 104.4
 \end{aligned}$$

จะเขียนค่า LSD ใส่ไว้ได้ตารางค่าเฉลี่ยก็ได้ แต่เพื่อให้เห็นชัดเจน อาจจะใช้เปรียบเทียบ

ดังนี้

รุ่นปักดำ	กข 7	BKN 6625	ค่าต่างกัน
1	313	402	89*
2	353	461	108**
3	306	457	151**
4	487	577	90*
5	581	540	41 ^{ns}
6	514	547	33 ^{ns}

ใช้ค่า LSD ที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับค่าที่แตกต่าง ถ้าลบกันแล้วผลต่างที่ได้

น้อยกว่าค่า	LSD _{.05}	ใส่ ns
มากกว่า	LSD _{.05}	ใส่ *
มากกว่า	LSD _{.01}	ใส่ **

12. ตารางเสนอผล อาจเสนอในรูปแบบ ดังนี้

การศึกษาช่วงระยะเวลาปลูกข้าวนาปรัง ในท้องที่ที่มีสภาพหนาวเย็นในภาคเหนือ แพร่ ถดู่แล้ง ปี 2524 (ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่))

	รุ่นที่ปักดำ	กข 7 ^{1/}	BKN 6625 ^{1/}	ค่าแตกต่าง ^{2/}
1.	25 พ.ย. 23	313 c	402 b	89*
2.	10 ธ.ค. 23	353 c	461 b	108**
3.	25 ธ.ค. 23	306 c	457 b	151**
4.	9 ม.ค. 24	487 b	577 b	90*
5.	26 ม.ค. 24	581 a	540 a	41 ^{ns}
6.	10 ก.พ. 24	514 ab	547 a	33 ^{ns}

^{1/} ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรเหมือนกันในแต่ละพันธุ์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{2/} ** แตกต่างกันโดยเทียบกับ LSD_{.01}

* แตกต่างกันโดยเทียบกับ LSD_{.05}

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

การแปลผล

ข้าวพันธุ์ กข 7 ช่วงปักดำที่ให้ผลผลิตดีที่สุด คือ ประมาณปลายเดือนมกราคม (581 กิโลกรัม/ไร่) ส่วนพันธุ์ BKN 6625 ปลูกได้ตั้งแต่ต้นมกราคม ถึง ต้นกุมภาพันธ์ โดยให้ผลผลิตตั้งแต่ 540 ถึง 577 กิโลกรัม/ไร่ ตั้งแต่ปลายมกราคมจะปลูกพันธุ์ใดในระหว่าง 2 พันธุ์ก็ได้ ผลผลิตจะไม่แตกต่างกัน แต่ระหว่างปลายเดือนพฤศจิกายน ถึงต้นเดือนมกราคม พันธุ์ BKN 6625 จะให้ผลผลิตดีกว่า กข 7 จาก 89 ถึง 151 กิโลกรัม/ไร่

ตัวอย่างที่ 2 การทดลองการตอบสนองของข้าวต่อปุ๋ยไนโตรเจนและอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ดำเนินการทดลองโดยแผนกดินปุ๋ย กองการข้าว

ปัจจัยที่ 1 คือ อินทรีย์วัตถุ 3 ชนิด ได้แก่

ไม่ใส่อินทรีย์วัตถุ ใส่ฟางข้าวและใส่ปุ๋ยเทศบาล

ปัจจัยที่ 2 คือ ปุ๋ยไนโตรเจน 4 ระดับ คือ 0, 6, 12 และ 18 กก./ไร่

Treatment ที่ 1 ใส่ฟางข้าวอย่างเดียว ($R - N_0$)

ที่ 2 ใส่ฟางข้าวและไนโตรเจน 6 กก./ไร่ ($R - N_6$)

ที่ 3 ใส่ฟางข้าวและไนโตรเจน 12 กก./ไร่ ($R - N_{12}$)

ที่ 4 ใส่ฟางข้าวและไนโตรเจน 18 กก./ไร่ ($R - N_{18}$)

ที่ 5 ปลุกข้าวโดยไม่ใส่ปุ๋ย (N_0)

ที่ 6 ใส่ไนโตรเจน 6 กก./ไร่ (N_6)

ที่ 7 ใส่ไนโตรเจน 12 กก./ไร่ (N_{12})

ที่ 8 ใส่ไนโตรเจน 18 กก./ไร่ (N_{18})

ที่ 9 ใส่ปุ๋ยเทศบาลอย่างเดียว ($C - N_0$)

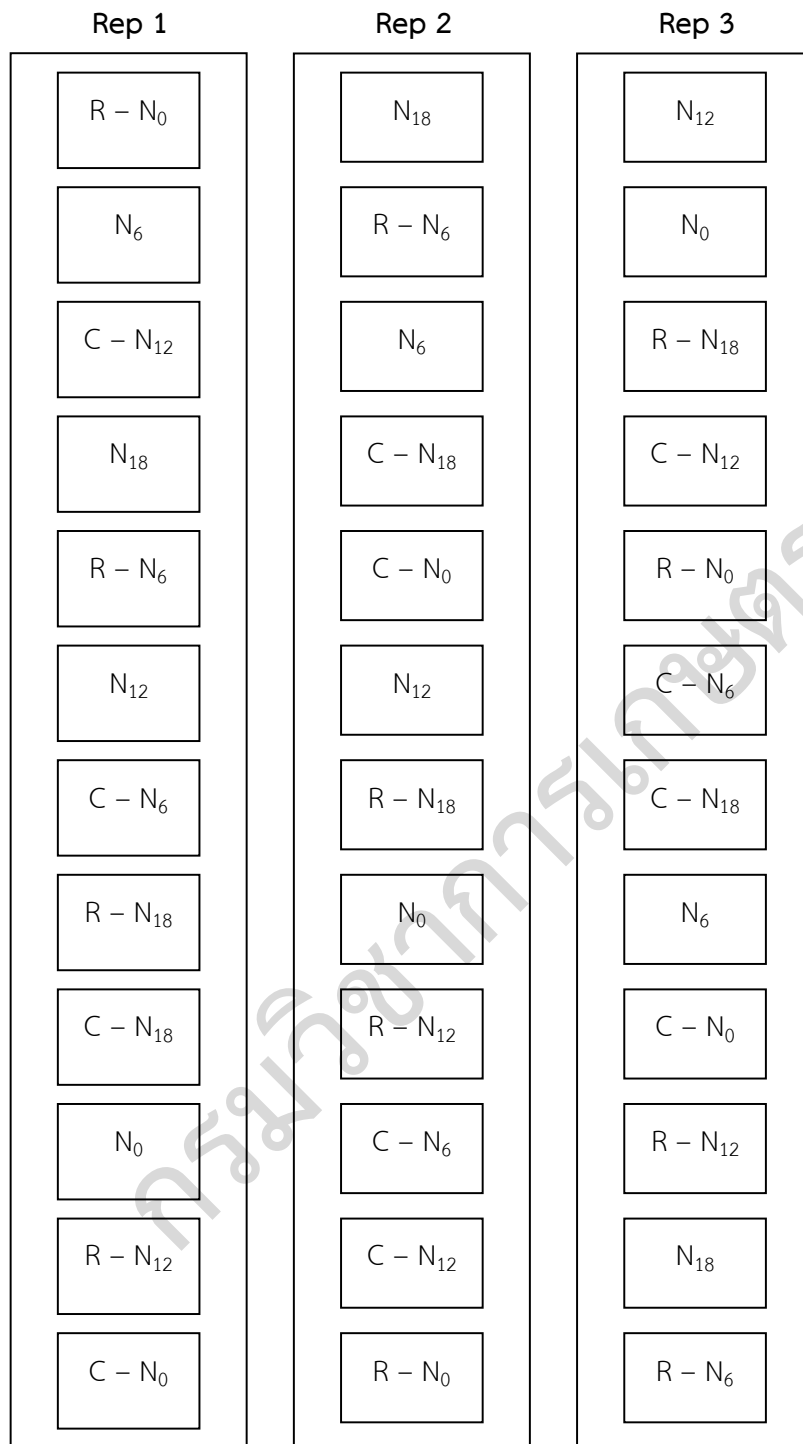
ที่ 10 ใส่ปุ๋ยเทศบาลและไนโตรเจน 6 กก./ไร่ ($C - N_6$)

ที่ 11 ใส่ปุ๋ยเทศบาลและไนโตรเจน 12 กก./ไร่ ($C - N_{12}$)

ที่ 12 ใส่ปุ๋ยเทศบาลและไนโตรเจน 18 กก./ไร่ ($C - N_{18}$)

ทั้ง 12 Treatment นี้ ทำการทดลองแบบ Randomized Complete block 3 ซ้ำ ดังแผนผังการทดลองต่อไปนี้

Lay Out



C = City compost
 R = Rice straw

800 กก./ไร่

ขนาดแปลงย่อย 4 x 5 เมตร

ขนาดแปลงเก็บเกี่ยว 2 x 3 เมตร

ตารางที่ 1 ข้อมูลผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)

Organic Matter	Nitrogen Level	Rep			Total
		1	2	3	
Rice Straw	0	541	595	519	1,655
	6	703	704	654	2,061
	12	763	844	721	2,328
	18	764	801	725	2,290
CK	0	520	503	537	1,560
	6	597	582	603	1,782
	12	686	696	701	2,083
	18	774	765	678	2,217
City Compost	0	473	389	427	1,289
	6	647	628	565	1,840
	12	770	600	681	2,051
	18	850	768	823	2,441

วิธีคำนวณ

$$CF = (541 + 595 + \dots + 823)^2 / 3 \times 4 \times 3$$

$$Total\ SS = (541^2 + 595^2 + \dots + 823^2) - CF$$

$$Block\ SS = ((541 + 703 + \dots + 850)^2 + (595 + 704 + \dots + 768)^2 + (519 + 654 + \dots + 823)^2) / 3 \times 4 - CF$$

$$Treatment\ SS = (1,655^2 + 2,061^2 + \dots + 2,441^2) / 3 - CF$$

$$Organic\ SS = ((1,655 + 2,061 + \dots + 2,290)^2 + (1,560 + 1,782 + \dots + 2,217)^2 + (1,289 + 1,840 + \dots + 2,441)^2) / 3 \times 4 - CF$$

$$Nitrogen\ SS = ((1,655 + 1,560 + 1,289)^2 + (2,061 + 1,782 + 1,840)^2 + \dots + (2,290 + 2,217 + 2,441)^2) / 3 \times 3 - CF$$

$$O \times N = Treatment\ SS - Organic\ SS - Nitrogen\ SS$$

$$Error = Total\ SS - Block\ SS - Treatment\ SS$$

ตารางที่ 2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)

SOV	DF	SS	MS	F
Total	35	488,526.97		
Block	2	8,599.06	4,299.53	2.45
Treatment	11	441,400.31	40,127.30	22.91**
Organic matter (O)	2	27,435.39	13,717.70	7.83**
Nitrogen (N)	3	378,894.53	126,298.17	72.12**
O x N	6	35,070.39	5,845.06	3.34*
Error	22	38,527.61	1,751.26	

C.V. = 6.3%

เพราะว่าผลของการวิเคราะห์ แสดงว่า Interaction มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น จะต้องศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนตามแต่ละชนิดของปุ๋ยอินทรีย์

ตารางที่ 3 Table of means (Kg/rai)

Organic Matter	Level of N (Kg/rai)				O – mean
	0	6	12	18	
Rice Straw	552	687	776	763	694
None (CK)	520	594	694	739	637
City Compost	430	613	984	814	635
N – Mean	500	631	718	772	655

For Comparison of 2 Treatment mean $LSD_{.05} = 71 \text{ Kg/rai}$

$LSD_{.01} = 96 \text{ Kg/rai}$

การแปลผล

จากตารางที่ 2 และ 3 แสดงให้เห็นว่า การใช้ฟางข้าวเป็นอินทรีย์วัตถุร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน จะทำให้ผลผลิตสูงกว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียว ทุกระดับ แต่มีความแตกต่างทางสถิติเพียง 2 ระดับ คือ เมื่อใส่ N_6 (687 VS 594) และ N_{12} (776 VS 694) เท่านั้น เมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยเทศบาล ซึ่งให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว ที่ระดับ N_{18} (814 VS 739) ถ้าใส่ปุ๋ยเทศบาล อย่างเดียวโดยไม่ใส่ไนโตรเจน ผลผลิตจะลดลงถึง 90 กิโลกรัม/ไร่ (430 VS 520)

Trend Comparison

เนื่องจากปัจจัยที่ศึกษา คือ ไนโตรเจน เป็นปัจจัยเชิงปริมาณ จึงควรทำการศึกษาว่าการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนของข้าว ในสภาพแวดล้อมทั้ง 3 สภาพ คือ ใช้ไนโตรเจนล้วน ๆ ใช้ปุ๋ยเทศบาลและใช้ฟางข้าว จะเป็นอย่างไร โดยวิธีแยกค่าของ Interaction SS ออกเป็นส่วน ๆ (Partitioning Sum of Square) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การตอบสนองต่อไนโตรเจนในปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิด (Contribution of nitrogen to Linear, Quadratic and Cubic Sum Square)

Condition	Linear	Quadratic	Cubic
Rice Straw	78,626**	16,428**	459
CK (N alone)	86,033**	645	1,009
City Compost	224,115**	2,160	4,489

วิธีคำนวณ

ใช้ค่า total จากตารางที่ 1 และเนื่องจากระยะระหว่างระดับเท่ากัน (Equal Space) จึงใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Orthogonal Polynomial จากตารางได้

	N ₀	N ₆	N ₁₂	N ₁₈	
Rice Straw	1,655	2,061	2,328	2,290	(รวมจาก 3 ซ้ำ)
CK	1,560	1,782	2,083	2,217	
City Compost	1,289	1,840	2,051	2,441	
สัมประสิทธิ์ (n = 4)					
Linear (X ₁)	-3	-1	+1	+3	ตัวหาร 20
Quadratic (X ₂)	+1	-1	-1	+1	ตัวหาร 4
Cubic (X ₃)	-1	+3	-3	+1	ตัวหาร 20

$$\begin{aligned}
 \text{Rice Straw N Linear} &= \frac{(1,655(-3)+2,061(-1)+2,328(+1)+2,290(+3))^2}{20 \times 3} \\
 &= 78626.4 \\
 \\
 \text{N Quadratic} &= \frac{(1,655(+1)+2,061(-1)+2,328(-1)+2,290(+1))^2}{4 \times 3} \\
 &= 16428.0 \\
 \\
 \text{N Cubic} &= \frac{(1,655(-1)+2,061(+3)+2,328(-3)+2,290(+1))^2}{20 \times 3} \\
 &= 459.3 \\
 &\text{ ฯลฯ }
 \end{aligned}$$

ข้อควรจำ ทั้ง L Q และ C SumSquare มี df ส่วนละ = 1 ฉะนั้น Sum Square จะมีค่าเท่ากับ Mean Square การทำ Significant Test ใช้ค่า Error (22 df) เป็นตัวทดสอบแล้วเทียบกับตาราง F เหมือนปกติ จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4 และใช้ค่าเฉลี่ยในตารางที่ 3 ไปคำนวณสมการได้ดังนี้

1. เมื่อใช้ฟางข้าว ข้าวจะตอบสนองต่อ N เป็นรูป Quadratic

$$\hat{Y} = 549.20 + 30.53 N - 1.0277 N^2 (R^2 = 0.998)$$
2. เมื่อใช้ N อย่างเดียว ไม่มีปุ๋ยอินทรีย์ การตอบสนองเป็นรูป Linear

$$\hat{Y} = 523.20 + 12.62 N (r^2 = 0.981)$$
3. ใช้ N ร่วมกับปุ๋ยเทศบาลการตอบสนองเป็นรูป Linear

$$\hat{Y} = 451.8 + 20.38 N (r^2 = 0.972)$$

Factorial ที่มีทริตเมนต์เพิ่มเติม

Factorial Experiment ที่กล่าวมาทั้ง 2 ตัวอย่าง เป็น Complete factorial คือ ทดลองเฉพาะทริตเมนต์ที่เกิดจากการรวมตัวของแต่ละระดับของสองปัจจัยที่ต้องการศึกษาเท่านั้น แต่บางครั้งอาจจะมีทริตเมนต์อื่น ๆ นอกเหนือจาก Complete factorial รวมอยู่ด้วยคือ เป็นทริตเมนต์เพิ่มเติม ซึ่งส่วนมากมักจะเป็นทริตเมนต์ที่เป็น Control หรือ Check เช่น การทดลองการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสเฟตอย่างละ 3 ระดับ Factorial combination ที่เกิดขึ้นเท่ากับ 9 คือ $N_1P_1, N_1P_2, N_1P_3, N_2P_1, N_2P_2, N_2P_3, N_3P_1, N_3P_2$ และ N_3P_3 แต่ผู้ทดลองมักจะเพิ่ม N_0P_0 ไม่ใช่ปุ๋ยทั้ง 2 ชนิด ถือว่าเป็น check เพื่อใช้วัดความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ทดลอง ถึงจะมีทริตเมนต์เพิ่มเติมก็ยังคงนับว่าเป็น Factorial experiment และ N_0P_0 ก็จะถูกสุ่มรวมไปกับส่วนที่เป็น Complete factorial การเพิ่มเติมนี้อาจจะเพิ่มมากกว่าหนึ่งทริตเมนต์ก็ได้ ถ้าใช้ทดลอง RCB กับตัวอย่างนี้ แผนผังการทดลองจะเป็นดังนี้

N_2P_2	N_3P_1
N_1P_1	N_3P_3
N_0P_0	N_1P_2
N_3P_2	N_2P_3
N_1P_3	N_2P_1

Block 1

N_1P_3	N_2P_3
N_3P_2	N_3P_1
N_1P_2	N_2P_1
N_3P_3	N_0P_0
N_2P_2	N_1P_1

Block 2

N_3P_2	N_1P_3
N_2P_1	N_0P_0
N_3P_1	N_2P_2
N_1P_2	N_1P_1
N_2P_3	N_3P_3

Block 3

3 x 3 + 1 Factorial Experiment ที่วางแผนแบบ RCB

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

SOV	DF	SS	MS	F
Total	29			
Block	2			
Treatment	9			
CK VS Treated	(1)			
N	(2)			
P	(2)			
N x P	(4)			
Error	18			

C.V. %

ตัวอย่าง 3 โครงการวิจัยศึกษาผลตอบสนองของปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตเส้นใยป่านรามี่

ทำการทดลองเมษายน 2530 – ตุลาคม 2531 ที่ไร่กสิกร อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย
วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสเฟตที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตเส้นใยของป่านรามี่

ปัจจัยที่ 1 ไนโตรเจน 3 ระดับ 0, 20, 40 กก./ไร่

ปัจจัยที่ 2 ฟอสเฟต 3 ระดับ 0, 10, 20 กก./ไร่

จำนวนทรีตเมนต์ = $3 \times 3 + 1$

(ทุกทรีตเมนต์ใส่โปแตช 20 กก./ไร่ ยกเว้น check)

ใช้แผนการทดลองแบบ RCB

แผนผังการทดลอง

40-0 26	0-0 27	CK 28	40-20 29	20-0 30	Rep 3
20-20 21	0-20 22	0-10 23	40-10 24	20-10 25	
0-10 16	20-0 17	20-10 18	CK 19	0-20 20	Rep 2
20-20 11	40-0 12	0-0 13	40-10 14	40-20 15	
20-0 6	0-10 7	0-20 8	20-20 9	40-20 10	Rep 1
20-10 1	CK 2	40-0 3	0-0 4	40-10 5	

ขนาดแปลงย่อย 4×6 เมตร ระยะปลูก $.80 \times .60$ เมตร

ขนาดแปลงเก็บเกี่ยว 2.4×3.6 เมตร

ตารางที่ 1 ความสูงของป่านรามีสณณะเก็บเกี่ยว (เซนติเมตร)

ไนโตรเจน	ฟอสเฟต	ซ้ำที่ 1	2	3
0	0	99	91	120
0	10	99	94	122
0	20	109	105	108
20	0	117	122	151
20	10	131	123	149
20	20	126	117	128
40	0	160	133	164
40	10	152	162	161
40	20	163	169	162
Check		114	94	108

การคำนวณค่าวิเคราะห์ความแปรปรวน คำนวณเหมือนแฟคตอเรียลในตัวอย่างที่ 2 ในส่วนของ Total SS Block SS Treatment และ Error SS แต่ส่วนของรายละเอียดในการแยกค่า Treatment SS ทำดังนี้

$$\begin{aligned}
 CF_1 &= (99 + 91 + \dots + 108)^2 / 3 \times 10 \\
 CF_2 &= (99 + 91 + \dots + 162)^2 / 3 \times 9 \\
 CK \text{ VS Treated} &= (114 + 94 + 108)^2 / 3 + CF_2 - CF_1 \\
 N \text{ SS} &= ((99 + 91 + 120 + \dots + 108)^2 + (117 + \dots + 128)^2 + \\
 &\quad (160 + \dots + 162)^2) / 3 \times 3 - CF_2 \\
 P \text{ SS} &= ((99 + 91 + 120 + 117 + 122 + 151 + 160 + 133 + 164)^2 + \\
 &\quad (99 + \dots + 161)^2 + (109 + \dots + 162)^2) / 3 \times 3 - CF_2 \\
 N \times P \text{ SS} &= ((99 + 91 + 120)^2 + (99 + 94 + 122)^2 + \dots + \\
 &\quad (163 + 169 + 162)^2) / 3 - CF_2 - N \text{ SS} - P \text{ SS}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงขณะเก็บเกี่ยว (เซนติเมตร)

SOV	DF	SS	MS	F
Total	29	17,857		
Block	2	1,359	679.50	
Treatment	9	14,988	1,665.34	19.85**
CK VS Treatment	1	1,779	1,779.00	21.20**
N	2	12,784	6,392.11	76.19**
P	2	83	41.33	<1
N x P	4	342	85.61	1.02 ^{ns}
Error	18	1,510	83.89	
C.V. = 7.13%				

ตารางที่ 3 ความสูงขณะเก็บเกี่ยว (เซนติเมตร)

ไนโตรเจน	ฟอสเฟต			ค่าเฉลี่ย N
	0	10	20	
0	103	105	107	105
20	130	134	124	129
40	152	158	165	158
ค่าเฉลี่ย P	129	133	132	131

ค่าเฉลี่ยของ Check 105

LSD_{0.5} (สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ N 2 ค่า) = 9 เซนติเมตร

การแปลผล

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าทรีตเมนต์ที่ทดลองมีความแตกต่างกัน แต่เมื่อแยกความแปรปรวนของทรีตเมนต์ออกมาเป็นส่วน ๆ แล้วจะเห็นว่าความแตกต่างเนื่องมาจาก

1. CK VS Treated นั่นคือ การใช้ปุ๋ยทุกตำรับจะทำให้ผลผลิตแตกต่างกับการไม่ใช้ปุ๋ย ดูจากตารางที่ 3 จะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยของ CK 105 เซนติเมตร ต่ำกว่าความสูงเฉลี่ยจากการใช้ปุ๋ย N P ร่วมกับ K ซึ่งวัดได้ 131 เซนติเมตร

2. ในกลุ่มของการใช้ปุ๋ย N และ P ร่วมกับ K ที่อัตราคงที่ (20 กิโลกรัม/ไร่) พบว่า N มีอิทธิพลต่อความสูงของป่านรามิ แต่ยังไม่หลักฐานชัดเจนว่าค่า P ทำให้ความสูงของป่านเปลี่ยนแปลงไป และเนื่องจาก N เป็นปัจจัยเชิงปริมาณ จึงทำการศึกษาการตอบสนองของป่านรามิต่อไนโตรเจนให้ผลดังนี้

N	0	20	40
ผลรวม	947	1,164	1,426
สัมประสิทธิ์ Linear	-1	0	+1 (ตัวหาร = 2)
N Linear SS	$= (-947 + 0 + 1,426)^2 / 2 \times 9 = 12,746.7$		
เมื่อใช้ค่า MS Error (83.89) ทดสอบได้ค่า F	$= 151.95^{**}$		

แสดงว่าการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนในช่วงระยะที่ศึกษายังเป็นเส้นตรงไม่ถึงจุดตอบสนองสูงสุด และเมื่อใช้ค่าเฉลี่ย N จากตารางที่ 3 ไปคำนวณสมการได้ดังนี้

$$\hat{Y} = 104.17 + 1.325^{**}N \quad (r^2 = 0.997^*)$$

Split plot Design

Two – Factors Factorial Experimental ที่กล่าวมาแล้ว ถ้านำมาจัดรูปร่างหรือตำแหน่งเสียใหม่ให้เป็นหน่วยของการทดลอง (plot size) 2 ขนาด ก็จะกลายเป็น Design ใหม่ที่เรียกว่า Split plot design มีหน่วยทดลอง 2 ขนาดสำหรับปัจจัย 2 ชนิด ที่ทำการศึกษา หน่วยทดลองอันที่มีขนาดใหญ่เรียกว่า Main plot ในหนึ่งซ้ำจำนวน Main plot จะต้องเท่ากับจำนวนระดับของปัจจัยแรก หน่วยทดลองที่มีขนาดเล็กกว่าเรียกว่า Sub plot จำนวน Sub plot ในแต่ละ Main plot จะต้องเท่ากับจำนวนระดับของปัจจัยหลัง

การมีหน่วยทดลอง 2 ขนาด จะทำให้ความแม่นยำในการวัดการตอบสนองของแต่ละปัจจัยไม่เท่ากัน ปัจจัยที่มีขนาดของหน่วยทดลองเล็กจะถูกวัดอย่างละเอียดกว่าปัจจัยที่มีหน่วยทดลองขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงมีความแม่นยำสูงกว่า

จะเลือกใช้ Design นี้เมื่อ

1. ในเชิงปฏิบัติหน่วยทดลองของปัจจัยหนึ่งต้องใหญ่กว่าอีกปัจจัยหนึ่ง เช่น การทดสอบจำนวนวันของการให้น้ำแก่ฝ้ายพันธุ์ต่าง ๆ ควรจะใช้การให้น้ำเป็น Main plot และสายพันธุ์ของฝ้ายเป็น Sub plot หรือ

2. เมื่อเรามีความสนใจที่จะทดสอบปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่ง และเป็นไปได้ในทางปฏิบัติก็ให้ใช้ปัจจัยที่สนใจน้อยกว่าเป็น Main plot และปัจจัยที่ต้องการจะศึกษาอย่างละเอียดเป็น Sub plot

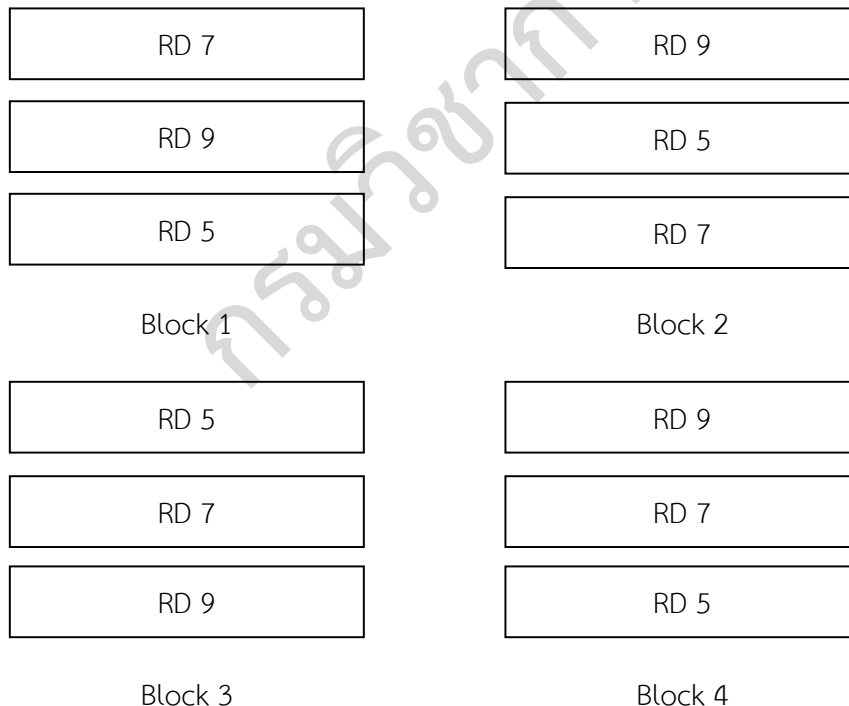
Randomization และ Layout

การ Random สำหรับ Design นี้ ต้องทำ 2 ครั้ง ครั้งแรกทำการสุ่มสำหรับ Main plot ด้วยวิธีการแบบเดียวกับ Design พื้นฐานแบบใดแบบหนึ่งใน 3 แบบ คือ CRD, RCB และ LS หลังจากนั้นจึงทำการสุ่มครั้งที่สอง สำหรับการสุ่ม Sub plot นั้น ใช้วิธีการสุ่มเช่นเดียวกับ RCB คือต้องสุ่ม Sub plot ในแต่ละ Main plot อย่างเป็นอิสระซึ่งกันและกันเหมือนกับการสุ่ม Treatment ในแต่ละ Block และทุก Main plot จะต้องมีการสุ่ม Sub plot ให้ครบ

ตัวอย่าง	ศึกษาการตอบสนองของข้าว 3 พันธุ์ ต่อปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตระยะยาว
วัตถุประสงค์	เพื่อศึกษาว่าข้าวพันธุ์ กข 5, กข 7, และ กข 9 มีการตอบสนองต่อปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตอย่างไร
Main plot	พันธุ์ข้าว กข 5, กข 7, กข 9 วางแผนแบบ RCB 4 ซ้ำ
Sub plot	ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 6 ระดับ 0, 3, 6, 9, 12 และ 18 กก./ไร่ (มี P และ K รองพื้นอย่างละ 6 กก./ไร่) และ Check คือ ไม้ใส่ปุ๋ยรวมเป็น 7 treatment

Randomization

ขั้นที่ 1 ทำการสุ่ม Main plot ทั้ง 3 ลงในแต่ละ Block อย่างเป็นอิสระกัน



ขั้นที่ 2 ในแต่ละ Main plot แบ่งเป็น 7 Sub plot เพื่อบรรจุ Sub plot treatment ด้วย วิธีสุ่ม
เป็นอิสระกันทุก Main plot

Treatment	ที่ 1	Check	
Treatment	ที่ 2	N – P – K	0 – 6 – 6
Treatment	ที่ 3	N – P – K	3 – 6 – 6
Treatment	ที่ 4	N – P – K	6 – 6 – 6
Treatment	ที่ 5	N – P – K	9 – 6 – 6
Treatment	ที่ 6	N – P – K	12 – 6 – 6
Treatment	ที่ 7	N – P – K	18 – 6 – 6

6	5	2	3	1	4	7	RD 7	3	1	5	2	6	7	4	RD 9
2	1	5	6	7	3	4	RD 9	5	7	6	4	1	2	3	RD 5
3	6	7	4	5	2	1	RD 5	3	6	7	4	5	2	1	RD 7
Block 1								Block 2							
4	3	1	2	5	7	6	RD 5	3	6	5	1	4	2	7	RD 9
7	6	2	5	3	4	1	RD 7	5	3	6	2	7	1	4	RD 7
6	7	3	4	2	1	5	RD 9	2	7	4	3	1	5	6	RD 5
Block 3								Block 4							

ตัวอย่างที่ 1

การศึกษาการตอบสนองของข้าวต่อการใช้ซิลิกอนไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ (SiO₂, ZnO)

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาว่าพันธุ์ข้าวที่ทดลอง 6 พันธุ์ มีการตอบสนองต่อซิลิกอนและสังกะสี
อย่างไร

สถานที่ทำการทดลอง สถานีทดลองข้าวสุรินทร์

ฤดูปลูก ก.ค. – ต.ค. 2524

ปัจจัยที่ทดลอง Main plot 4 ระดับ (ทุกระดับใส่ NPK 6 – 6 – 6 กก./ไร่)

ระดับ	SiO ₂	ZnO	
M ₁	0	0	กก./ไร่
M ₂	5	0	กก./ไร่
M ₃	0	3	กก./ไร่
M ₄	50	3	กก./ไร่

Sub plot 6 พันธุ์

S ₁	NSPT	เหนียวสันป่าตอง
S ₂	KDML 105	ขาวดอกมะลิ 105
S ₃	RD 1	กข 1
S ₄	RD 7	กข 7
S ₅	BKN – 6721 – 5 – 39 – 1	(สายพันธุ์)
S ₆	RD 8	กข 8

ขนาดแปลงย่อย ปลุก 3 x 5 เมตร ระยะปลุก 25 x 25 เซนติเมตร

ขนาดแปลงเก็บเกี่ยว 2 x 4 เมตร

วางแผนการทดลองแบบ Split plot โดย Main plot จัดในรูป RCB 4 ซ้ำ

แผนผังแปลงทดลอง

M ₁	M ₃	M ₂	M ₄	M ₂	M ₄	M ₃	M ₁
S ₃	S ₄	S ₆	S ₁	S ₁	S ₄	S ₅	S ₆
S ₅	S ₂	S ₄	S ₃	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
S ₂	S ₃	S ₅	S ₂	S ₅	S ₁	S ₃	S ₄
S ₄	S ₁	S ₂	S ₅	S ₃	S ₆	S ₁	S ₂
S ₁	S ₆	S ₃	S ₄	S ₆	S ₂	S ₆	S ₃
S ₆	S ₅	S ₁	S ₆	S ₄	S ₅	S ₂	S ₁
Block 1				Block 2			
M ₃	M ₂	M ₁	M ₄	M ₃	M ₁	M ₄	M ₂
S ₂	S ₁	S ₃	S ₅	S ₃	S ₆	S ₅	S ₁
S ₁	S ₆	S ₄	S ₄	S ₆	S ₂	S ₃	S ₆
S ₅	S ₂	S ₆	S ₃	S ₂	S ₅	S ₆	S ₄
S ₃	S ₄	S ₁	S ₂	S ₅	S ₁	S ₄	S ₂
S ₆	S ₃	S ₅	S ₁	S ₄	S ₃	S ₁	S ₅
S ₄	S ₅	S ₂	S ₆	S ₁	S ₄	S ₂	S ₃
Block 3				Block 4			

1.1 เตรียมข้อมูล (ผลผลิต กิโลกรัม/ไร่)

ตารางที่ 1

Main plot	Sub plot	Block				ผลรวม
A	B	1	2	3	4	
1	1	430	371	349	359	1,509
	2	412	439	444	442	1,737
	3	472	500	475	463	1,910
	4	318	423	426	380	1,547
	5	263	375	420	395	1,453
	6	408	498	455	434	1,795
2	1	439	407	361	383	1,590
	2	415	450	504	442	1,811
	3	462	503	485	451	1,901
	4	452	312	437	331	1,532
	5	414	487	537	392	1,830
	6	482	440	494	452	1,868
3	1	374	380	378	371	1,503
	2	384	464	480	469	1,797
	3	495	454	475	491	1,915
	4	453	405	409	449	1,716
	5	421	443	474	461	1,799
	6	409	432	447	431	1,719
4	1	412	477	402	433	1,724
	2	491	490	473	472	1,926
	3	531	500	489	532	2,052
	4	352	445	501	455	1,753
	5	479	509	472	483	1,943
	6	492	519	501	483	1,995
ผลรวม		10,260	10,723	10,888	10,454	42,325

ตารางที่ 2 (A x B)

Main plot	Sub plot (B)						ผลรวม
(A)	1	2	3	4	5	6	
1	1,509	1,737	1,910	1,547	1,453	1,795	9,951
2	1,590	1,811	1,901	1,532	1,830	1,868	10,532
3	1,503	1,797	1,915	1,716	1,799	1,719	10,449
4	1,724	1,926	2,052	1,753	1,943	1,995	11,393
ผลรวม	6,326	7,271	7,778	6,548	7,025	7,377	42,325

ตารางที่ 3

Main plot	Block				ผลรวม
(A)	1	2	3	4	
1	2,303	2,606	2,569	2,473	9,951
2	2,664	2,599	2,818	2,451	10,532
3	2,536	2,578	2,663	2,672	10,449
4	2,757	2,940	2,838	2,858	11,393
ผลรวม	10,260	10,723	10,888	10,454	42,325

ข้อสังเกต ถ้าใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ เตรียมเฉพาะข้อมูลดิบของตารางที่ 1 (โดยไม่ต้องมีผลรวมทั้งแนวตั้ง และแนวนอน) เพียงตารางเดียว

1.2 คำนวณ Degree of freedom (df)

Total df	=	$4 \times 6 \times 4 - 1$
	=	95
Block df	=	$4 - 1$
	=	3
A df	=	$4 - 1$
	=	3
Error a df	=	$(4 - 1)(4 - 1)$
	=	9
B df	=	$6 - 1$
	=	5

$$\begin{aligned}
 A \times B \text{ df} &= (4 - 1)(6 - 1) \\
 &= 15 \\
 \text{Error df} &= 4(6 - 1)(4 - 1) \\
 &= 60
 \end{aligned}$$

1.3 คำนวณ Sum of Square (SS) ต่าง ๆ

จากตารางที่ 1

$$\begin{aligned}
 \text{Correction Factor (CF)} &= \frac{42,325^2}{4 \times 6 \times 4} \\
 &= 18,660,475.26 \\
 \text{Total SS} &= (430^2 + 371^2 + \dots + 483^2) - \text{CF} \\
 &= 18,923,037.00 - 18,660,475.26 \\
 &= 262,561.70 \\
 \text{Block SS} &= \frac{10,260^2 + \dots + 10,454^2}{4 \times 6} - \text{CF} \\
 &= 18,670,207.88 - 18,660,475.26 \\
 &= 9,732.62
 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 2

$$\begin{aligned}
 A \text{ SS} &= \frac{9,951^2 + \dots + 11,393^2}{6 \times 4} - \text{CF} \\
 &= 18,705,311.46 - 18,660,475.26 \\
 &= 44,836.20 \\
 B \text{ SS} &= \frac{6,326^2 + \dots + 7,377^2}{4 \times 4} - \text{CF} \\
 &= 18,751,878.69 - 18,660,475.26 \\
 &= 91,403.43 \\
 A \times B \text{ SS} &= \frac{1,509^2 + 1,737^2 + \dots + 1,995^2}{4} - \text{CF} - A \text{ SS} - B \text{ SS} \\
 &= 18,821,965.75 - 18,660,475.26 - 44,836.20 - 91,403.43 \\
 &= 25,250.86
 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 3

$$\begin{aligned}\text{Error (a) SS} &= \frac{2,303^2 + \dots + 2,858^2}{6 \times 4} - \text{CF} - \text{A SS} - \text{Block SS} \\ &= 18,731,057.84 - 18,660,475.26 - 44,836.20 - 9,732.62 \\ &= 16,013.76\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Error (b) SS} &= \text{Total SS} - (\text{Block SS}) - (\text{A SS}) - (\text{B SS}) - (\text{A} \times \text{B SS}) \\ &\quad - (\text{Error a SS}) \\ &= 262,561.74 - 9,732.62 - 44,836.20 - 91,403.43 \\ &\quad - 25,250.86 - 16,013.76 \\ &= 75,324.88\end{aligned}$$

คำนวณค่า Mean Square (MS)

$$\begin{aligned}\text{Block MS} &= \frac{9,732.62}{3} \\ &= 3,244.20 \\ \text{A MS} &= \frac{44,836.20}{3} \\ &= 14,945.40 \\ \text{B MS} &= \frac{91,403.43}{5} \\ &= 18,280.69 \\ \text{A} \times \text{B MS} &= \frac{25,250.86}{15} \\ &= 1,683.39 \\ \text{Error (a) MS} &= \frac{16,013.76}{9} \\ &= 1,779.31 \\ \text{Error (b) MS} &= \frac{75,324.88}{60} \\ &= 1,255.42\end{aligned}$$

1.5 คำนวณค่า F

$$F_{\text{Block}} = \frac{3,244.20}{1,779.31} = 1.82$$

$$F_A = \frac{14,945.40}{1,779.31} = 8.40$$

$$F_B = \frac{18,280.69}{1,255.42} = 14.56$$

$$F_{A \times B} = \frac{1,683.39}{1,255.42} = 1.34$$

1.6 เปิดค่า F จากตาราง

F_{Block} และ F_A ดูที่ $f_2 = 9$ และ $f_1 = 3$

$$F_{.05} = 3.86$$

$$F_{.01} = 6.99$$

F_B และ F_{AB} ดูที่ $f_2 = 60$ $f_1 = 5$ และ 15 ตามลำดับ

$$B : F_{.05} = 2.37$$

$$F_{.01} = 3.34$$

$$AB : F_{.05} = \text{ระหว่าง } 1.86 \text{ และ } 1.81$$

$$F_{.01} = \text{ระหว่าง } 2.40 \text{ และ } 2.32$$

1.7 เปรียบเทียบค่า F จากตารางและ F จากการคำนวณ

F_{Block} คำนวณได้น้อยกว่า F จากตารางใส่ ns

F_A คำนวณได้มากกว่า $F_{.01}$ จากตารางใส่ **

F_B คำนวณได้มากกว่า $F_{.01}$ จากตารางใส่ **

F_{AB} คำนวณได้น้อยกว่า F จากตารางใส่ ns

1.8 คำนวณค่า C.V.

$$\begin{aligned}\text{mean} &= \frac{42,325}{96} \\ &= 440.89 \\ \\ \text{C.V. (a)} &= \frac{\sqrt{1,779.31}}{440.89} \times 100 \\ &= 9.6\% \\ \\ \text{C.V. (b)} &= \frac{\sqrt{1,225.42}}{440.89} \times 100 \\ &= 8.0\%\end{aligned}$$

1.9 ทำตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยกรอกตัวเลขที่คำนวณได้ทั้งหมดลงในตาราง ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)

SOV	DF	SS	MS	F
Total	95	262,562		
Block	3	9,733	3,244.20	1.83 ^{ns}
A	3	44,836	14,945.41	8.40**
Error (a)	9	16,014	1,779.31	
B	5	91,403	18,280.69	14.56**
A x B	15	25,251	1,683.39	1.34 ^{ns}
Error (b)	60	75,325	1,255.42	
C.V. (a)	=	9.6%		
C.V. (b)	=	8.0%		

1.10 ทำตารางค่าเฉลี่ยจากตารางที่ 2 ในข้อ 1

$$\begin{aligned}A_1 &= \frac{9,951}{6 \times 4} = 414.6\ldots \\ B_1 &= \frac{6,326}{4 \times 4} = 395.4\ldots \\ A_1B_1 &= \frac{1,509}{4} = 377.2\ldots\end{aligned}$$

ตารางค่าเฉลี่ยของผลผลิต (เฉลี่ยจาก 4 ซ้ำ)

Sub plot	Main plot				เฉลี่ย (B)
	1	2	3	4	
1 NSPT	377	398	376	431	395
2 KDML 105	434	453	449	482	454
3 RD 1	478	475	479	513	486
4 RD 7	387	383	429	438	409
5 BKN – 6721	363	458	450	486	439
6 RD 8	449	467	430	499	461
เฉลี่ย (A)	415	439	435	475	

1.11 คำนวณตัวสถิติที่จะใช้เปรียบเทียบ

จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเห็นว่า ส่วนที่มีนัยสำคัญทางสถิติ คือ A และ B เท่านั้น ส่วน Interaction ไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่าระดับสารเคมีมีอิทธิพลต่อผลผลิตและอิทธิพลนี้จะคล้ายคลึงกันในแต่ละพันธุ์ นั่นคือ ศึกษาเพียงอิทธิพลของสารเคมีและพันธุ์ก็เพียงพอแล้ว

และเนื่องจากพันธุ์ที่ใช้ในการทดสอบมีถึง 6 พันธุ์ จึงควรใช้ Duncan Multiple Range Test (DMRT) เป็นตัวตัดสิน ซึ่งควรใช้สถิติตัวเดียวกันนี้ในการเปรียบเทียบระดับสารเคมีด้วย

$$LSR_p = SSR_p \times S_{\bar{x}}$$

ก. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ (main plot) ระดับสารเคมี

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1,779.31}{4 \times 6}}$$

$$= 8.61$$

สารเคมีทั้งหมด 4 ระดับ

P	2	3	4 (df = 9)
SSR _p	3.20	3.34	3.41
LSR _p	27.55	28.76	29.36

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับสารเคมีตามวิธีเปรียบเทียบของ DMRT ได้ผลดังนี้

ระดับ	SiO ₂	ZnO	ค่าเฉลี่ย
1	0	0	415 b
2	5	0	439 b
3	0	3	435 b
4	50	3	475 a

ข. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ Sub plot สายพันธุ์

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1,255.42}{4 \times 4}}$$

$$= 8.86$$

พันธุ์ทั้งหมดมี 6 พันธุ์

P	2	3	4	5	6 (df = 60)
SSR _p	2.83	2.98	3.08	3.14	3.20
LSR _p	25.1	26.4	27.3	27.8	28.3

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพันธุ์

พันธุ์	ค่าเฉลี่ย
1 NSPT	395 c
2 KDML 105	454 b
3 RD 1	486 a
4 RD 7	409 c
5 BKN 6721	439 b
6 RD 8	461 b

1.12 การทำตารางเสนอผลการทดลอง

การศึกษาการตอบสนองของข้าวต่อการใช้ซิลิกอนไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์

สุรินทร์ ก.ค. – ต.ค. 2524

ผลผลิต^{1/} กิโลกรัม/ไร่ (เฉลี่ยจาก 4 ซ้ำ)

สายพันธุ์	ระดับสารเคมี (SiO ₂ – ZnO)				เฉลี่ย – พันธุ์
	1	2	3	4	
1 NSPT	377	398	376	431	395 c
2 KDML 105	434	453	449	482	454 b
3 RD 1	478	475	479	513	486 a
4 RD 7	387	383	429	438	409 c
5 BKN 6721	363	458	450	486	439 b
6 RD 8	449	467	430	499	461 b
เฉลี่ย – สารเคมี	415 b	439 b	435 b	475 a	

^{1/} ตัวเลขที่ตามหลังด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่ต่างกันทางสถิติ โดยใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การแปลผล

ระดับสารเคมีมีอิทธิพลต่อผลผลิต กล่าวคือ การใช้ SiO₂ ร่วมกับ ZnO ระดับ 50 และ 3 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ จะให้ผลผลิตสูงที่สุดถึง 475 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนการไม่ใช้สารทั้งสองหรือใช้เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งจะได้ผลผลิตที่ไม่แตกต่างกัน 415, 439 และ 435 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ

ในด้านของพันธุ์ที่ใช้ทดสอบทั้ง 6 สายพันธุ์ แบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้ RD 1 ให้ผลผลิตสูงที่สุด 486 กิโลกรัม/ไร่ รองลงมาคือ KDM L105 และ RD 8 ได้ 454 และ 461 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ สองพันธุ์นี้ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกับ BKN 6721 (439 กิโลกรัม/ไร่) ส่วน RD 7 และ NSPT ให้ผลผลิตต่ำที่สุด (409 และ 395 กิโลกรัม/ไร่)

ตัวอย่างที่ 2 Top dressing of Nitrogen and compound fertilizers for rice. Wet season
1973. สถานีทดลองข้าวควนกุฎ พัทลุง

Main plot – Variety : RD 1 and RD 5 (จัดในรูป RCB)

Sub plot – ปุ๋ย 10 ตำรับ ดังนี้

Basal + Topdress	Active Ingredient	
	N	P ₂ O ₅
1 Check	–	–
2 AP 10 + AS 4	(1.6 + 0.8)	2.0
3 AP 20 + AS 8	(3.2 + 1.6)	4.0
4 AP 30 + AS 12	(4.8 + 2.4)	6.0
5 AP 10 + U 1.8	(1.6 + 0.8)	2.0
6 AP 20 + U 3.6	(3.2 + 1.6)	4.0
7 AP 30 + U 5.4	(4.8 + 2.4)	6.0
8 AP 10 + AP 5	(1.6 + 0.8)	3.0
9 AP 20 + AP 10	(3.2 + 1.6)	6.0
10 AP 30 + AP 15	(4.8 + 2.4)	9.0

Replication : 4

ตารางที่ 1 Grain Yield (Kg/rai)

Mainplot Subplot	Rep				Total
	1	2	3	4	
RD1					
1. ไม่ใส่ปุ๋ย	251	201	235	217	904
2. AP 10 + AS 4	331	283	326	289	1,229
3. AP 20 + AS 8	396	360	361	368	1,485
4. AP 30 + AS 12	416	400	468	385	1,669
5. AP 10 + U 1.8	302	295	338	256	1,191
6. AP 20 + U 3.6	440	347	375	334	1,496
7. AP 30 + U 5.4	496	359	428	389	1,672
8. AP 10 + AP 5	335	313	285	233	1,166
9. AP 20 + AP 10	452	406	370	356	1,584
10. AP 30 + AP 15	417	406	503	376	1,702
Sub Total	3,836	3,370	3,689	3,203	14,098
RD5					
1. ไม่ใส่ปุ๋ย	243	235	291	232	1,001
2. AP 10 + AS 4	233	236	277	254	999
3. AP 20 + AS 8	350	268	271	261	1,150
4. AP 30 + AS 12	309	294	319	338	1,260
5. AP 10 + U 1.8	308	314	265	282	1,169
6. AP 20 + U 3.6	298	260	296	309	1,163
7. AP 30 + U 5.4	294	295	330	308	1,227
8. AP 10 + AP 5	366	309	265	264	1,204
9. AP 20 + AP 10	316	235	273	267	1,091
10. AP 30 + AP 15	372	320	297	353	1,342
Sub total	3,089	2,766	2,884	2,867	11,606
Total	6,925	6,136	6,573	6,070	25,704

วิธีการคำนวณ

$$\begin{aligned}
 \text{Correction factor (CF)} &= (25,704)^2 / 80 \\
 \text{Total SS} &= (251^2 + \dots + 353^2) - \text{CF} = 345,232.80 \\
 \text{Rep SS} &= (6,925^2 + \dots + 6,070^2) / 10 \times 2 - \text{CF} = 24,072.30 \\
 \text{Var SS} &= (14,098^2 + 11,606^2) / 4 \times 10 - \text{CF} = 77,625.80 \\
 \text{Error (a)} &= (3,836^2 + \dots + 2,867^2) / 10 - \text{CF} - \text{Rep SS} - \text{Var SS} = 6,561.50 \\
 \text{Fert SS} &= (904 + 1,001)^2 + \dots + (1,702 + 1,342)^2 / 4 \times 2 - \text{CF} = 141,032.05 \\
 \text{Var x Fert SS} &= (904^2 + \dots + 1,342^2) / 4 - \text{CF} - \text{Fert SS} - \text{Var SS} = 50,537.45 \\
 \text{Error (b)} &= \text{Total SS} - \text{Rep SS} - \text{Var SS} - \text{E(a)} - \text{Fert SS} - \text{Var x Fert SS} \\
 &= 45,403.70
 \end{aligned}$$

แล้วจึงนำค่าที่คำนวณได้ไปสร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไป

ตารางที่ 2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)

SOV	DF	SS	MS	F
Total	79	345,232.80		
Rep	3	24,072.30	8,024.10	
Var	1	77,625.80	77,625.80	35.49**
Error (a)	3	6,561.50	2,187.17	
Fertilizer	9	141,032.05	15,670.33	18.63**
Var x Fert	9	50,537.45	5,615.27	6.67**
Error (b)	54	45,403.70	840.81	
C.V. (a) = 14.5%				
C.V. (b) = 9.0%				

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่)

Fert	Var		Fert – mean
	RD1	RD5	
1 (CK)	226	250	238
2	307	250	278
3	371	287	329
4	417	315	366
5	298	292	295
6	374	291	332
7	418	307	362
8	291	301	296
9	396	273	334
10	425	335	380
Var – mean	352	290	

$LSD_{.05}$ (สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับปุ๋ย 2 ระดับที่ใช้พันธุ์เดียวกัน) = 41 กก./ไร่

$LSD_{.01}$ (สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับปุ๋ย 2 ระดับที่ใช้พันธุ์เดียวกัน) = 55 กก./ไร่

$LSD_{.05}$ (สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ 2 พันธุ์ ที่อยู่ในปุ๋ยระดับเดียวกันหรือต่างระดับ) = 50 กก./ไร่

$LSD_{.01}$ (สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ 2 พันธุ์ ที่อยู่ในปุ๋ยระดับเดียวกันหรือต่างระดับ) = 75 กก./ไร่

เนื่องจากจำนวนของ Sub plot มีหลายระดับ การใช้เทคนิคของ Partitioning SS มาช่วยในการศึกษา main effect ของปุ๋ยและ Interaction ระหว่างพันธุ์กับปุ๋ยจะช่วยให้เข้าใจดียิ่งขึ้น โดยแยก treatment ออกเป็น 4 กลุ่ม เพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม (Group Comparison) ดังนี้

กลุ่มของ CK คือ Treatment ที่ 1

กลุ่มของพวกใส่ปุ๋ย AP รองพื้น 10 กก. ได้แก่ Treatment 2, 5, 8

กลุ่มของพวกใส่ปุ๋ย AP รองพื้น 20 กก. ได้แก่ Treatment 3, 6, 9

กลุ่มของพวกใส่ปุ๋ย AP รองพื้น 30 กก. ได้แก่ Treatment 4, 7, 10

สัมประสิทธิ์สำหรับใช้ในการเปรียบเทียบแสดงไว้ในตารางต่อไปนี้

Group Comparison (ของปุ๋ย)

Comparison	Coefficient of Comparison										Divisor
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	
1. Check VS Treated	-9	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	90
2. Among AP ₁₀											
(T ₂ & T ₅) VS T ₈	0	+1	0	0	+1	0	0	-2	0	0	6
T ₂ VS T ₅	0	+1	0	0	-1	0	0	0	0	0	2
3. Among AP ₂₀											
(T ₃ & T ₆) VS T ₉	0	0	+1	0	0	+1	0	0	-2	0	6
T ₃ VS T ₆	0	0	+1	0	0	-1	0	0	0	0	2
4. Among AP ₃₀											
(T ₄ & T ₇) VS T ₁₀	0	0	0	+1	0	0	+1	0	0	-2	6
T ₄ VS T ₇	0	0	0	+1	0	0	-1	0	0	0	2

สำหรับการคำนวณทั้ง Main effect (ปุ๋ย) และ Interaction (พันธุ์ x ปุ๋ย) ใช้สัมประสิทธิ์ชุดเดียวกัน เพียงแต่มีตัวหารต่างกัน ใช้ค่าผลรวมของ Treatment จากตารางที่ 1 มาคำนวณดังนี้

Main plot	Sub plot										รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
RD 1	904	1,229	1,485	1,669	1,191	1,496	1,672	1,166	1,584	1,702	14,098
RD 5	1,001	999	1,150	1,260	1,169	1,163	1,227	1,204	1,091	1,342	11,606
รวม	1,905	2,228	2,635	2,929	2,360	2,659	2,899	2,370	2,675	3,044	25,704

วิธีคำนวณ

Main effect

$$\text{CK VS Treated SS} = \frac{((-9)(1,905)+(1)(2,228)+\dots+(1)(3,044))^2}{90 \times 4 \times 2}$$

$$= 61,494.05$$

$$(\text{T}_2 \text{ \& T}_5) \text{ VS T}_8 \text{ SS} = \frac{((1)(2,228)+(1)(2,360)+(-2)(2,370))^2}{6 \times 4 \times 2}$$

$$= 481.33$$

ฯลฯ

Interaction

$$\begin{aligned} \text{Var x (CK VS Treated) SS} &= \frac{((-9)(904)+(1)(1,229)+\dots+(1)(1,702))^2}{90 \times 4} \\ &+ \frac{((-9)(1,001)+(1)(999)+\dots+(1)(1,342))^2}{90 \times 4} \\ &- (\text{CK VS treated}) \text{ SS} \end{aligned}$$

$$= 16,646.45$$

ฯลฯ

ตารางที่ 4 Fertilizer (main effect ของ Sub plot จากตารางที่ 2)

SOV	DF	SS	MS	F
Fert	9	141,032.05	15,670.23	18.63**
CK VS treated	(1)	61,494.05	61,494.05	73.14**
Among treated	(8)	79,538.00	9,942.25	11.82**
Among AP _{10,20,30})	2	76,401.75	38,200.88	45.43**
Among AP ₁₀				
T ₂ &T ₅ VS T ₈	1	481.33	481.33	<1
T ₂ VS T ₅	1	1,089.00	1,089.00	1.29 ^{ns}
Among AP ₂₀				
T ₃ &T ₆ VS T ₉	1	65.33	65.33	<1
T ₃ VS T ₆	1	36.00	36.00	<1
Among AP ₃₀				
T ₄ &T ₇ VS T ₁₀	1	1,408.33	1,408.33	1.67 ^{ns}
T ₄ VS T ₇	1	56.25	56.25	<1

ตารางที่ 5 Variety x Fertilizer (มาจากตารางที่ 2)

SOV	DF	SS	MS	F
Var x Fert	9	50,537.45	5,615.27	6.67**
Var x (CK VS treated)	(1)	16,646.45	16,646.45	19.80**
Var x (Among treated)	(8)	33,891.00	4,236.38	5.04**
Var x (Among AP _{10,20,30})	2	26,383.58	13,191.79	15.69**
Var x (Among AP ₁₀)	2			
Var x (T ₂ & T ₅ VS T ₈)	(1)	2,241.33	2,241.33	2.67 ^{ns}
Var x (T ₂ VS T ₅)	(1)	2,704.00	2,704.00	3.21 ^{ns}
Var x (Among AP ₂₀)	2			
Var x (T ₃ & T ₆ VS T ₉)	(1)	2,106.75	2,106.75	2.50 ^{ns}
Var x (T ₃ VS T ₆)	(1)	0.25	0.25	<1
Var x (Among AP ₃₀)	2			
Var x (T ₄ & T ₇ VS T ₁₀)	(1)	374.08	374.08	<1
Var x (T ₄ VS T ₇)	(1)	81.00	81.00	<1
Error (b)	54	45,403.70	840.81	

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่) (จากตารางที่ 3)

Variety	Fertilizer			Fertilizer – mean	CK – mean
	AP ₁₀	AP ₂₀	AP ₃₀		
RD 1	299	378	420	366	226
RD 5	281	284	319	295	250
Variety – mean	290	331	370	330	238

LSD_{.05} (สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากปุ๋ย 2 ระดับในพันธุ์เดียวกัน) = 24 kg/rai

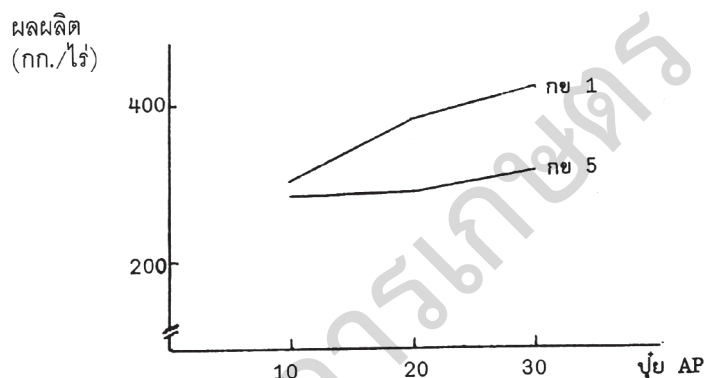
LSD_{.01} (สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากปุ๋ย 2 ระดับในพันธุ์เดียวกัน) = 32 kg/rai

การแปลผล โดยพิจารณาตารางที่ 4, 5 และ 6 พร้อม ๆ กัน

เพราะว่า Var x Fert significant จึงต้องศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยของแต่ละพันธุ์

1. CK VS Treated** (ตารางที่ 4) หมายความว่า การใส่ปุ๋ยทำให้ผลผลิตเปลี่ยนแปลงและ Var(CK VS Treated)** (ตารางที่ 5) แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงนั้น ต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ ดูที่ ค่าเฉลี่ย (ตารางที่ 6) จะพบว่า กข 1 ตอบสนองต่อปุ๋ยทุกตำรับโดยเฉลี่ยถึง 140 กิโลกรัม (366 VS 226) และ กข 5 ตอบสนองเพียง 45 กิโลกรัม (295 VS 250)

2. Among AP 10, 20, 30** (ตารางที่ 4) แสดงว่าการรองพื้นด้วยปุ๋ย AP อัตราต่าง ๆ กัน ทำให้ผลผลิตของข้าวแตกต่างกัน ยิ่งกว่านั้น Var x Among AP 10, 20, 30** (ตารางที่ 5) แสดงให้เห็นว่า ความแตกต่างของการตอบสนองต่อปุ๋ยดังกล่าวไม่เหมือนกันในสองพันธุ์ที่ทำการทดลอง จาก ตารางเฉลี่ย (ตารางที่ 6) จะเห็นว่า กข 1 มีการตอบสนองสูงกว่า กข 5 ดังรูป



กข 1 มีการตอบสนองต่อปุ๋ยที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($378 - 299 = 79^{**}$ และ $420 - 378 = 42^{**}$) ส่วน กข 5 นั้นไม่มีการตอบสนองที่มีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มปุ๋ยระดับกลาง ($284 - 281 = 3$ และ $319 - 284 = 35^{**}$)

3. ในแต่ละหมู่ของปุ๋ยรองพื้นคือหมู่ 10, 20, 30 พบว่าไม่ว่าจะ Top dress ด้วย N ล้วน ๆ หรือ N + P ไม่ทำให้ผลผลิตของทั้งสองสายพันธุ์เปลี่ยนแปลงเลย เช่น

Among AP₁₀ (จากตาราง 4 และ ตาราง 5)

T₂ & T₅ VS T₈^{ns} และ Var x (T₂ & T₅ VS T₈)^{ns} นั่นคือการ Top dress ด้วย N ล้วน ๆ ไม่แตกต่างกับ Top dress ด้วย N + P ทั้งสองสายพันธุ์

T₂ VS T₅^{ns} และ Var x (T₂ VS T₅)^{ns} นั่นคือการ Top dress ด้วย N ล้วน ๆ ไม่ว่าจะเป็น N จากปุ๋ยชนิดใดก็ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตทั้งสองพันธุ์

สรุปผล

ข้าวพันธุ์ กข 1 ตอบสนองต่อปุ๋ยได้ดีกว่า กข 5 โดยเฉลี่ยประมาณ 3 เท่า (140 VS 45) และไม่ว่าจะใส่ปุ๋ยรองพื้นเพิ่มจาก 10 เป็น 20 หรือเป็น 30 กิโลกรัม กข 1 ก็เพิ่มผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญ คือ เพิ่มระหว่าง 79 – 121 กิโลกรัม/ไร่ ส่วน กข 5 ผลผลิตจะเพิ่มเมื่อใช้ปุ๋ยรองพื้นระดับสูง ๆ

เท่านั้นและเพิ่มเพียง 38 กิโลกรัม/ไร่ การใช้ปุ๋ยแต่งงานั้น ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยประเภทไนโตรเจนล้วน ๆ หรือมีฟอสเฟตด้วย ก็ไม่ทำให้ผลผลิตของข้าวทั้ง กข 1 และ กข 5 มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด

ตัวอย่างที่ 3 ผลการตอบสนองของข้าวต่อการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียซัลเฟตระยะยาว สถานีทดลองข้าว ชัยนาท นาปี 2519 (ดูแผนผังจากตัวอย่างการสุ่ม)

ตารางที่ 1 ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)

Variety	Tr.No.	Fertilizer	Replication				Total
			1	2	3	4	
RD 5	1	CK	731	621	692	620	2,664
	2	0 - 6 - 6	686	663	711	693	2,753
	3	3 - 6 - 6	636	695	725	724	2,780
	4	6 - 6 - 6	744	720	813	708	2,985
	5	9 - 6 - 6	706	777	822	711	3,016
	6	12 - 6 - 6	657	709	739	751	2,856
	7	18 - 6 - 6	536	529	603	724	2,392
RD 7	1	CK	692	792	678	593	2,755
	2	0 - 6 - 6	785	705	602	622	2,714
	3	3 - 6 - 6	794	838	737	729	3,098
	4	6 - 6 - 6	856	868	819	754	3,297
	5	9 - 6 - 6	838	836	825	882	3,381
	6	12 - 6 - 6	899	904	916	833	3,552
	7	18 - 6 - 6	1,021	944	952	913	3,830
RD 9	1	CK	567	599	600	573	2,339
	2	0 - 6 - 6	689	610	650	694	2,643
	3	3 - 6 - 6	735	719	785	656	2,895
	4	6 - 6 - 6	784	763	788	737	3,072
	5	9 - 6 - 6	838	685	893	797	3,213
	6	12 - 6 - 6	868	798	807	835	3,308
	7	18 - 6 - 6	880	819	832	832	3,363
Mean	Total		15,942	15,594	15,989	15,381	62,906

ตารางที่ 2 Two – way table (Variety x Fertilizer)

Fertilizer	Variety			Total
	RD 5	RD 7	RD 9	
CK	2,664	2,755	2,339	7,758
0 – 6 – 6	2,753	2,714	2,643	8,110
3 – 6 – 6	2,780	3,098	2,895	8,773
6 – 6 – 6	2,985	3,297	3,072	9,354
9 – 6 – 6	3,016	3,381	3,213	9,610
12 – 6 – 6	2,856	3,552	3,308	9,716
18 – 6 – 6	2,392	3,830	3,363	9,585
Total	19,446	22,627	20,833	62,906

ตารางที่ 3 สำหรับคำนวณ Error (a)

Variety	Block				Total
	1	2	3	4	
RD 5	4,696	4,714	5,105	4,931	19,446
RD 7	5,885	5,887	5,529	5,326	22,627
RD 9	5,361	4,993	5,355	5,124	20,833
Total	15,942	15,594	15,989	15,381	62,906

ใช้ค่าในตารางที่ 1, 2 และ 3 คำนวณค่าต่าง ๆ ดังนี้

วิธีคำนวณ

$$\begin{aligned}
 \text{Correction factor CF} &= (62,906)^2 / 84 = 47,109,105.1904 \\
 \text{Total SS} &= (731^2 + \dots + 832^2) - \text{CF} = 885,257 \\
 \text{Replication SS} &= \frac{1}{21} (15,942^2 + \dots + 15,381^2) - \text{CF} = 12,013.00 \\
 \text{Variety SS} &= \frac{1}{28} (19,466^2 + \dots + 20,833^2) - \text{CF} = 181,678.17 \\
 \text{Error (a)} &= \frac{1}{7} (4,696^2 + \dots + 5,124^2) - \text{CF} - \text{Rep SS} - \text{Variety SS} \\
 &= 51,186.49 \\
 \text{Fertilizer SS} &= \frac{1}{12} (7,758^2 + \dots + 9,585^2) - \text{CF} = 311,435.64
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Var x Fert SS} &= \frac{1}{4}(2,664^2 + \dots + 3,363^2) - \text{CF} - \text{Var SS} - \text{Fert SS} \\
 &= 217,822.51 \\
 \text{Error (b)} &= \text{Total SS} - \text{Rep SS} - \text{Var SS} - \text{E(a)} - \text{Fert SS} - \\
 &\quad (\text{Var x Fert}) \text{ SS} \\
 &= 111,121.00
 \end{aligned}$$

แล้วคำนวณค่า Degree of freedom และ Mean square ของแต่ละส่วนและค่า C.V. ทำเป็นตาราง ดังนี้

ตารางที่ 4 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)

SOV	DF	SS	MS	F
Total	83	885,257		
Replication	3	12,013	4,004.33	
Variety	2	181,678	90,839.00	10.64**
Error (a)	6	51,186	8,531.00	
Fertilizer	6	311,436	51,906.00	25.22**
Variety x Fert	12	217,823	18,151.92	8.82**
Error (b)	54	111,121	2,057.80	
C.V. (a) = 12%				
C.V. (b) = 6%				

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)

Fertilizer	Variety			Fert – mean
	RD5	RD7	RD9	
CK	666	689	585	646
0 – 6 – 6	688	678	661	676
3 – 6 – 6	695	774	724	731
6 – 6 – 6	746	824	768	780
9 – 6 – 6	754	845	803	801
12 – 6 – 6	714	888	827	810
18 – 6 – 6	598	958	841	799
Var – mean	694	808	744	
For Comparison of			LSD _{.05}	LSD _{.01}
2 Fert. means of the same var.			64	86 Kg/rai
2 Var. mean at same or different level of fert.			84	120 Kg/rai

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าพันธุ์และปุ๋ยมี Interaction ต่อกัน นั่นคือพันธุ์ข้าวที่ทดลองทั้ง 3 พันธุ์มีการตอบสนองต่อปุ๋ยแตกต่างกัน แต่เนื่องจากปุ๋ยที่ใช้ทดลองมีถึง 7 ตำรับ การแปลผลการทดลองจึงควรจะใช้เทคนิคทางสถิติช่วยให้การแปลผลสะดวกและถูกต้องยิ่งขึ้น แทนที่จะใช้ค่า LSD อย่างเดียว โดยใช้ทั้ง Group และ Trend comparison สำหรับตัวอย่างนี้การพิจารณาของเรื่องทราบว่าในกลุ่มของสายพันธุ์ที่ทำการทดลอง ข้าวพันธุ์ กข 7 และ กข 9 มีอายุใกล้เคียงกันมาก (128 และ 120 วัน ตามลำดับ) ส่วนพันธุ์ กข 5 เป็นข้าวอายุค่อนข้างหนัก (150 วัน) จึงจะทำการแยก SS ของ Main plot ออกเป็นกลุ่มของ กข 7 และ 9 กลุ่มหนึ่งกับ กข 5 อีกกลุ่มหนึ่ง ส่วน Sub plot นั้น เป็นการเปรียบเทียบปุ๋ยไนโตรเจนระดับต่าง ๆ ซึ่งเป็นลักษณะเชิงปริมาณ (Quantitative) สามารถแยกการเปรียบเทียบได้ดังนี้

1. เปรียบเทียบระหว่างการไม่ใส่ปุ๋ยและการใส่ปุ๋ย
2. ในพวกที่ใส่ปุ๋ยเทียบว่ามีแนวโน้มของการตอบสนองต่อปุ๋ยเป็นอย่างไร (ในขั้นนี้ต้องระวังว่าระดับของปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้ในการทดลอง มีระยะที่ห่างเท่ากันหรือไม่ นั่นคือการเพิ่มปริมาณของปุ๋ย จากระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่งเท่ากันหรือไม่ ถ้าระยะห่างไม่เท่ากันจะต้องคำนวณสัมประสิทธิ์ที่จะใช้เอง ใช้สัมประสิทธิ์จากตารางไม่ได้ สัมประสิทธิ์ที่ใช้ครั้งนี้ คือ

ตำรับปุ๋ย	N _L	N _Q
0	-8	5
3	-5	0
6	-2	-3
9	1	-4
12	4	-3
18	10	5
ตัวหาร	210	84

และเพราะว่าการทดลองครั้งนี้ Interaction มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงต้องทำการแบ่งแยก SS ของ Interaction ออกเป็นส่วน ๆ ตาม Main effect ซึ่งอาจจะแบ่งตามตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้งสองตัวก็ได้ สำหรับตัวอย่างนี้ทำตามแบบหลัง

เมื่อได้คำนวณ SS แต่ละส่วนตามที่วางแผนไว้แล้วก็จะได้ผลเป็นตารางที่ 6 ดังนี้

ตารางที่ 6 Partitioning Treatment SS

SOV	DF	MS	F
1. Variety	2	90,839.00	10.64**
RD 5 VS (RD 7 & RD 9)	(1)	124,206.00	14.56**
RD 7 VS RD 9	(1)	57,472.00	6.74**
Error	6	8,531.00	
2. Fertilizer	6	51,906.00	25.22**
CK VS treated	(1)	146,746.00	71.31**
N Linear	(1)	112,949.00	54.89**
N Quadratic	(1)	51,072.00	24.82**
N Cubic	(1)	317.00	<1
Residual	(2)	176.00	<1

3. Variety x Fertilizer	12	18,151.92	8.82**
V x CK VS treated	(2)	20,964.50	10.19**
(RD 5 VS RD 7 & RD 9) x N _L	(1)	149,755.00	72.77**
(RD 7 VS RD 9) x N _L	(1)	8,510.00	4.14*
(RD 5 VS RD 7 & RD 9) x N _O	(1)	9,651.00	4.69*
(RD 7 VS RD9) x N _O	(1)	556.00	<1
V x N _C	(2)	1,936.00	<1
V x Residual	(4)	887.50	<1
Error (b)	54	2,057.80	

จากตารางที่ 6 จะเห็นว่าแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของ Main effect (1) , (2) และส่วนของ Interaction (3) ซึ่งเป็นส่วนที่จะต้องเอาใจใส่มากกว่า 2 ส่วนแรก

ส่วนที่ 1 แสดงว่าโดยเฉลี่ยของทุกระดับปุ๋ยพันธุ์ทั้งสามให้ผลผลิตแตกต่างกัน

ส่วนที่ 2 แสดงว่าโดยเฉลี่ยจากทุกสายพันธุ์ การใส่ปุ๋ยทุกตำรับ เฉลี่ยแล้วทำให้ผลผลิตแตกต่างจากการไม่ใส่ปุ๋ย และการตอบสนองต่อปุ๋ยเป็นไปในรูป Quadratic คือ เมื่อใส่ปุ๋ยผลผลิตเพิ่ม อัตราคงที่ระยะหนึ่งแล้วอัตราการเพิ่มจะค่อย ๆ ลดลง เป็นผลให้การตอบสนองต่อปุ๋ยเป็นเส้นโค้ง

ส่วนที่ 3 แสดงว่าการศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยต้องกระทำแยกกันในแต่ละสายพันธุ์โดยที่การแปลผลนี้ต้องใช้ตารางที่ 5 ควบคู่ไปด้วย

V x CK VS Treated มีนัยสำคัญแสดงว่า การใส่ปุ๋ยจะทำให้ผลผลิตทั้งสามสายพันธุ์เพิ่มไม่เท่ากัน จากตารางที่ 5 คำนวณได้ ดังนี้

ปุ๋ย	สายพันธุ์		
	กข 5	กข 7	กข 9
ไม่ใส่ปุ๋ย	666	689	585
ใส่ปุ๋ย	699	828	770
เพิ่ม	33	139	185

นั่นคือ ปุ๋ยทุกตำรับทำให้ผลผลิตของ กข 9 เพิ่มขึ้นจากการไม่ใส่ปุ๋ยมากที่สุดถึง 185 กิโลกรัม/ไร่ รองลงมา ได้แก่ กข 7 และ กข 5 เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด

(RD 5 VS RD 7 & RD 9) $\times N_L$ และ (RD 5 VS RD 7 & RD 9) $\times N_Q$ มีนัยสำคัญแสดงว่าเมื่อเฉลี่ยผลผลิตของ กข 7 และ กข 9 แล้ว เปรียบเทียบกับผลผลิตของ กข 5 การตอบสนองต่อปุ๋ยจะแตกต่างกันทั้งในช่วงที่เป็นเส้นตรงและเส้นโค้ง

(RD 7 VS RD 9) $\times N_L^*$ และ (RD 7 VS RD 9) $\times N_Q^{ns}$
แสดงให้เห็นว่าช่วงการตอบสนองต่อปุ๋ยที่เป็นเส้นตรงของทั้งสองพันธุ์ต่าง ๆ กัน
เพื่อให้เห็นการตอบสนองชัดเจนจึงได้ทำการคำนวณดังต่อไปนี้

Contribution to Linear and Quadratic

Variety	N_L	N_Q
RD 5	14,868*	44,390**
RD 7	529,660**	5,432 ^{ns}
RD 9	82,246**	11,457*

จากตารางข้างต้น ทำให้เห็นได้ว่าการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนช่วงระยะ 1 – 18 กิโลกรัม/ไร่ ของ กข 7 เป็นเส้นตรง ส่วนของ กข 5 และ กข 9 เป็นเส้นโค้ง แสดงว่า กข 7 มีการตอบสนองต่อปุ๋ยได้สูงกว่าอีก 2 สายพันธุ์ ดังสมการ ดังต่อไปนี้

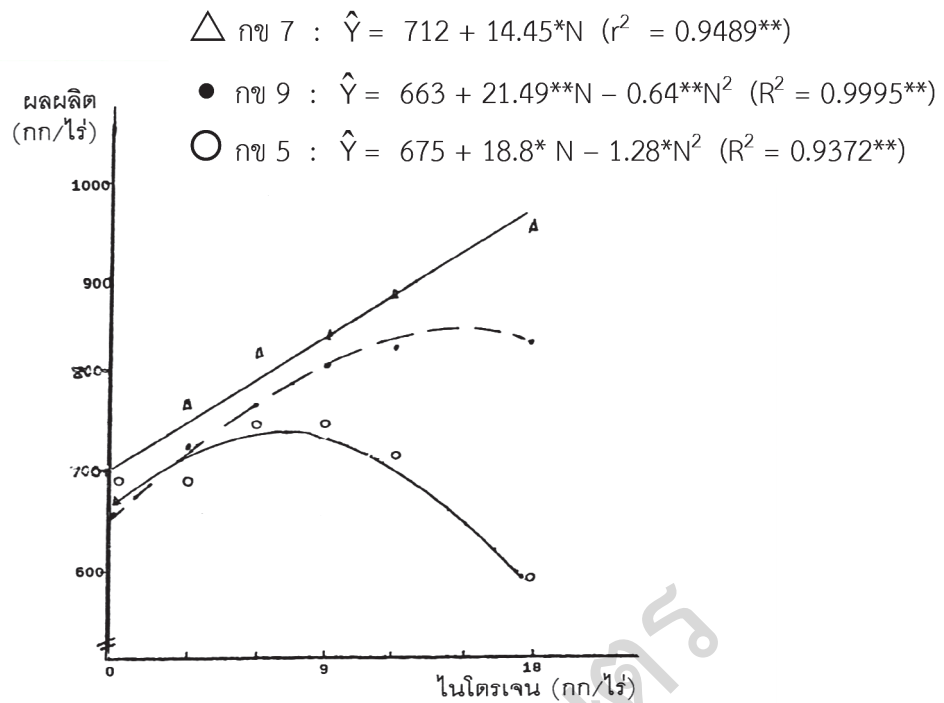
$$\text{กข 7 : } \hat{Y} = 712 + 14.45 \times N \quad (r^2 = 0.9489^{**})$$

$$\text{กข 5 : } \hat{Y} = 675 + 18.8 \times N - 1.28 \times N^2 \quad (R^2 = 0.9372^{**})$$

$$\text{กข 9 : } \hat{Y} = 663 + 21.49^{**} \times N - 0.64^{**} \times N^2 \quad (R^2 = 0.9995^{**})$$

สรุปผล

กข 5, กข 7 และ กข 9 มีการตอบสนองต่อปุ๋ยต่างกัน การใส่ปุ๋ยตำรับต่าง ๆ ที่ทำการทดลองจะทำให้ กข 9 เพิ่มผลผลิตสูงกว่าการไม่ใช้ปุ๋ยแตกต่างกับอีกสองสายพันธุ์ คือ เฉลี่ยแล้ว กข 9 เพิ่มถึง 185 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับ กข 7 เพิ่ม 139 กิโลกรัม/ไร่ และ กข 5 เพิ่มเพียง 30 กิโลกรัม/ไร่ แต่การตอบสนองต่อปุ๋ยของ กข 7 จะเป็นการตอบสนองในเชิงเส้นตรง สำหรับช่วง จาก 0 – 18 กิโลกรัม/ไร่ กข 7 จะให้ผลผลิตเพิ่มคงที่ในอัตรา 14.45 กิโลกรัม/ไร่ ในขณะที่พันธุ์ กข 5 และ กข 9 จะมีการตอบสนองเป็นเส้นโค้งดังรูป



รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปุ๋ยไนโตรเจนและผลผลิตของข้าว กข 5 กข 7 และ กข 9

วิธีคำนวณสัมประสิทธิ์ค่ารับ Trend Comparison ที่มีระยะระหว่างระดับไม่เท่ากัน

ค่ารับปุ๋ย	Coded (X_1)	สัมประสิทธิ์ Linear (L)	สัมประสิทธิ์ Quadratic (Q)
0	0	a	a
3	1	a + 1	a + b + 1
6	2	a + 2	a + 2b + 4
9	3	a + 3	a + 3b + 9
12	4	a + 4	a + 4b + 16
18	6	a + 6	a + 6b + 36

สมการ Linear $a + X_i$

สมการ Quadratic $a + bX_i + X_i^2$

กฎที่ 1 สัมประสิทธิ์ Linear รวมกันมีค่าเท่ากับ 0

$$\begin{aligned}
 a + (a + 1) + (a + 2) + (a + 3) + (a + 4) + (a + 6) &= 0 \\
 6a + 16 &= 0 \\
 a &= \frac{-16}{6}
 \end{aligned}$$

แทนค่า a ในสัมประสิทธิ์ Linear

ตำรับปุ๋ย	สัมประสิทธิ์	Linear (L)	(X ₆)	(÷2)
0	-16/6	= -16/6	= -16	-8
3	-16/6 + 1	= -10/6	= -10	-5
6	-16/6 + 2	= -4/6	= -4	-2
9	-16/6 + 3	= 2/6	= 2	1
12	-16/6 + 4	= 8/6	= 8	4
18	-16/6 + 6	= 20/6	= 20	10

กฎที่ 2 1) สัมประสิทธิ์ Quadratic รวมกันเท่ากับ 0 และ

2) สัมประสิทธิ์ Linear x สัมประสิทธิ์ Quadratic รวมกัน เท่ากับ 0 ดังนั้น

$$1. a + (a + b + 1) + (a + 2b + 4) + \dots + (a + 6b + 36) = 0$$

$$6a + 16b + 66 = 0$$

$$2. -8(a) + (-5)(a + b + 1) + \dots + 10(a + 6b + 36) = 0$$

$$70b + 420 = 0$$

$$b = -6$$

แทนค่า b ใน 1 $6a + 16(-6) + 66 = 0$

$$a = 5$$

แทนค่า a และ b ในสัมประสิทธิ์ Quadratic (Q)

สัมประสิทธิ์

ตำรับปุ๋ย	Quadratic (Q)		
0	a	= 5	= 5
3	a + b + 1	= 5 + (-6) + 1	= 0
6	a + 2b + 4	= 5 + 2(-6) + 4	= -3
9	a + 3b + 9	= 5 + 3(-6) + 9	= -4
12	a + 4b + 16	= 5 + 4(-6) + 16	= -3
18	a + 6b + 36	= 5 + 6(-6) + 36	= 5

Split plot แบบพิเศษ จากตัวอย่างของ Split plot ที่ได้กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าเป็นการนำเอา Factorial Experiment มาจัดรูปใหม่ Sub plot ในทุก Main plot จะต้องเหมือนกัน แต่ในบางครั้ง Sub plot อาจจะไม่ใช่ Factorial combination ก็ได้ เช่น การเปรียบเทียบสายพันธุ์พืชที่มาจาก กลุ่มผสมต่าง ๆ กัน เปรียบเทียบพันธุ์ข้าวที่สามารถแบ่งเป็นกลุ่ม ๆ โดยใช้ลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ความสูง หรืออายุเป็นตัวแบ่งกลุ่มโดยมีข้อแม้ว่า จำนวนสายพันธุ์ หรือพันธุ์ในแต่ละกลุ่มหรือแต่ละกลุ่มต้องมี จำนวนเท่ากัน ดังนี้

(ก) กลุ่มสูง		(ค) กลุ่มเตี้ย	(ข) กลุ่มปานกลาง	Block 1
พันธุ์	1	16	7	
	2	17	11	
	4	13	9	
	5	15	12	
	3	18	8	
	6	14	10	

(ค)	(ข)	(ก)	Block 2
18	9	3	
14	7	1	
15	12	5	
13	10	6	
16	11	4	
17	8	2	

(ข)	(ก)	(ค)	Block 3
9	2	14	
12	5	16	
11	4	15	
8	1	17	
10	6	18	
7	3	13	

(ข)	(ค)	(ก)	Block 4
8	13	4	
10	18	6	
12	15	5	
7	17	2	
11	14	3	
9	16	1	

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนจะเป็นดังนี้

SOV	DF
Total (3 x 4 x 6 – 1)	71
Block (4 – 1)	3
Group (3 – 1)	2
E (a)	6
Within Group ก (6 – 1)	5
Within Group ข (6 – 1)	5
Within Group ค (6 – 1)	5
E (b)	45
C.V. (a) %	
C.V. (b) %	

ตารางค่าเฉลี่ยจะมีลักษณะดังนี้

กลุ่ม ก.		กลุ่ม ข.		กลุ่ม ค.	
สายพันธุ์	ค่าเฉลี่ย	สายพันธุ์	ค่าเฉลี่ย	สายพันธุ์	ค่าเฉลี่ย
1		7		13	
2		8		14	
3		9		15	
.		.		.	
.		.		.	
.		.		.	
6		12		18	
ค่าเฉลี่ย ก		ข		ค	

$$S_{\bar{d}} \text{ ของสายพันธุ์ในกลุ่มเดียวกัน} = \sqrt{2Eb/r}$$

$$S_{\bar{d}} \text{ ของสายพันธุ์ที่ต่างกลุ่มกัน} = \sqrt{\frac{2}{br}(Ea+(b-1)Eb)}$$

$$S_{\bar{d}} \text{ ของกลุ่ม} = \sqrt{2Ea/br}$$

(r = จำนวนซ้ำ b = จำนวนสายพันธุ์ในกลุ่ม)

Split Block (or Strip Plot) Design

เป็นการทดลองแบบหนึ่งที่ดัดแปลงไปจาก Split plot design ที่มี Main plot จัดในรูปแบบ RCB โดยการจัด Sub plot เดียวกันของแต่ละ Main plot ให้ตรงกันเป็น Strip ดังนี้

A_1	B_2	B_4	B_3	B_1
A_2	B_2	B_4	B_3	B_1
A_3	B_2	B_4	B_3	B_1

Block 1

ด้วยการจัดแบบนี้จะทำให้เกิดขนาดของแปลง (plot size) ขึ้น 3 ขนาด คือ แปลงสำหรับปัจจัย A แปลงสำหรับปัจจัย B และ แปลงสำหรับการทดสอบ Interaction $A \times B$

เมื่อเทียบกับ Design แบบ Split plot จะมีความแตกต่างกันดังนี้

1. ความสำคัญของปัจจัยที่ทดสอบ ทั้งปัจจัย A และ B จะถูกทดสอบด้วยน้ำหนักเท่ากัน และต่างก็ได้รับพิจารณาเหมือนว่าเป็น Main plot ทั้งคู่

2. Randomization ของ Lay Out ใน Block หนึ่ง จะทำการสุ่มปัจจัย A ล่วงก่อนแล้วสุ่มปัจจัย B ครั้งเดียว ไม่เหมือนกับ Split plot ที่ต้องสุ่ม Sub plot ในทุก Main plot แต่ยังคงต้องสุ่มใหม่ทุก Block เหมือนกันทั้งสอง Design

3. ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ Split Block design จะมี Mean Square Error 3 ตัว เนื่องจากมีขนาดแปลง 3 ขนาด ดังนั้นจึงมี C.V. ทั้งหมด 3 ค่า C.V. (a) และ C.V. (b) จะมีขนาดใหญ่กว่า C.V. (c) ถ้าเป็นการวางแผนอย่างมีประสิทธิภาพ ระหว่าง C.V. (a) และ C.V. (b) ค่าใดจะใหญ่กว่าขึ้นอยู่กับลักษณะของปัจจัยที่ทดสอบ

Design นี้ จะถูกใช้เมื่อ

1. ปัจจัยที่ทดสอบทั้งสองต้องทำในแปลงขนาดใหญ่ทั้งคู่
2. เป็นไปได้ในทางปฏิบัติ
3. ในระหว่างการทดลองต้องการจะแสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างระดับต่าง ๆ ของแต่ละปัจจัยอย่างชัดเจน

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของ Split Block Design ที่มีจำนวนระดับปัจจัย $A = a$ ระดับปัจจัย $B = b$ และทำการทดลอง r Block จะเป็นดังนี้

ANOVA

SOV	DF	SS	MS	F
Total	abr - 1			
Block	r - 1			
A	a - 1			
Error (a)	(a - 1)(r - 1)			
B	b - 1			
Error (b)	(b - 1)(r - 1)			
A x B	(a - 1)(b - 1)			
Error (c)	(a - 1)(b - 1)(r - 1)			

$$\text{C.V. (a)} = \frac{\sqrt{\text{MS Error (a)}}}{\text{mean}} \times 100\%$$

$$\text{C.V. (b)} = \frac{\sqrt{\text{MS Error (b)}}}{\text{mean}} \times 100\%$$

$$\text{C.V. (c)} = \frac{\sqrt{\text{MS Error (c)}}}{\text{mean}} \times 100\%$$

ตัวอย่าง การทดลองการแบ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสองระดับกับข้าวสามสายพันธุ์ที่สถานีทดลองข้าว
สุพรรณบุรี ในฤดูนาปี 2516

ปัจจัยที่ 1 ข้าว 3 พันธุ์

ปัจจัยที่ 2 วิธีการใส่ปุ๋ย 12 ตำรับ

A = LPT 123

Tr 1 = $\frac{6}{0} - 12 - 6$

Tr 7 = $\frac{12}{0} - 12 - 6$

B = RD 5

2 = $\frac{4}{2} - 12 - 6$

8 = $\frac{8}{4} - 12 - 6$

C = KDML 105

3 = $\frac{3}{3} - 12 - 6$

9 = $\frac{6}{6} - 12 - 6$

4 = $\frac{2}{4} - 12 - 6$

10 = $\frac{4}{8} - 12 - 6$

5 = $\frac{0}{6} - 12 - 6$

11 = $\frac{0}{12} - 12 - 6$

6 = 0 - 0 - 0

12 = 0 - 12 - 6

แผนผังแปลงทดลอง

A	B	C
	Tr ₅	
	Tr ₆	
	Tr ₈	
	Tr ₁₂	
	Tr ₂	
	Tr ₃	
	Tr ₇	
	Tr ₉	
	Tr ₁	
	Tr ₁₀	
	Tr ₁₁	
	Tr ₄	

Block 1

C	A	B
	Tr ₂	
	Tr ₆	
	Tr ₈	
	Tr ₁	
	Tr ₉	
	Tr ₁₀	
	Tr ₃	
	Tr ₇	
	Tr ₁₂	
	Tr ₁₁	
	Tr ₄	
	Tr ₅	

Block 2

B	A	C
	Tr ₈	
	Tr ₁	
	Tr ₂	
	Tr ₁₂	
	Tr ₁₀	
	Tr ₄	
	Tr ₅	
	Tr ₁₁	
	Tr ₆	
	Tr ₉	
	Tr ₃	
	Tr ₇	

Block 3

C	B	A
	Tr ₁₂	
	Tr ₈	
	Tr ₃	
	Tr ₁₀	
	Tr ₆	
	Tr ₅	
	Tr ₁₁	
	Tr ₄	
	Tr ₂	
	Tr ₁	
	Tr ₇	
	Tr ₉	

Block 4

ตารางที่ 1 ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)

Treatment	Variety	Block			
		1	2	3	4
(6,0) – 12 – 6	KDML 105	583	557	537	603
	RD 5	580	568	534	576
	LPT 123	594	531	508	596
(4,2) – 12 – 6	KDML 105	613	621	573	742
	RD 5	576	573	623	762
	LPT 123	592	611	582	716
(3,3) – 12 – 6	KDML 105	430	579	629	569
	RD 5	590	593	673	502
	LPT 123	583	593	612	570
(2,4) – 12 – 6	KDML 105	545	535	614	586
	RD 5	558	617	557	590
	LPT 123	543	637	609	713
(0,6) – 12 – 6	KDML 105	608	618	692	649
	RD 5	616	649	766	660
	LPT 123	579	690	760	779
0 – 0 – 0(CK)	KDML 105	385	224	277	574
	RD 5	330	227	278	580
	LPT 123	321	269	370	605
(12,0) – 12 – 6	KDML 105	647	598	620	650
	RD 5	582	611	546	639
	LPT 123	489	544	496	571
(8,4) – 12 – 6	KDML 105	769	716	760	715
	RD 5	665	773	752	604
	LPT 123	643	672	612	709
(6,6) – 12 – 6	KDML 105	730	686	689	698
	RD 5	661	662	782	634
	LPT 123	694	651	658	728
(4,8) – 12 – 6	KDML 105	782	720	678	688
	RD 5	763	741	637	684
	LPT 123	759	750	653	670
(0,12) – 12 – 6	KDML 105	562	543	587	547
	RD 5	677	579	830	764
	LPT 123	605	725	777	756
0 – 12 – 6	KDML 105	507	435	364	531
	RD 5	480	405	381	488
	LPT 123	472	512	457	541

1. จากตารางที่ 1 คำนวณตารางต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 2 A × B

ปุ๋ย (B)	พันธุ์ (A)			รวม (B)
	KDML 105	RD 5	LPT 123	
(6,0) – 12 – 6	2,280	2,258	2,229	6,767
(4,2) – 12 – 6	2,549	2,534	2,501	7,584
(3,3) – 12 – 6	2,207	2,358	2,358	6,923
(2,4) – 12 – 6	2,280	2,322	2,502	7,104
(0,6) – 12 – 6	2,567	2,691	2,808	8,066
0 – 0 – 0	1,460	1,415	1,565	4,440
(12,0) – 12 – 6	2,515	2,378	2,100	6,993
(8,4) – 12 – 6	2,960	2,794	2,636	8,390
(6,6) – 12 – 6	2,803	2,699	2,731	8,233
(4,8) – 12 – 6	2,868	2,825	2,832	8,525
(0,12) – 12 – 6	2,239	3,030	2,863	8,132
0 – 12 – 6	1,837	1,754	1,982	5,573
รวม (A)	28,565	29,058	29,107	86,730

ตัวอย่าง KDML 105 ระดับ (6,0) – 12 – 6 = 583 + 557 + 537 + 603 = 2,280

ตารางที่ 3 A × Block

พันธุ์ (A)	Block				รวม (A)
	1	2	3	4	
KDML 105	7,161	6,832	7,020	7,552	28,565
RD 5	7,078	7,138	7,359	7,483	29,058
LPT 123	6,874	7,185	7,094	7,954	29,107
รวม (Block)	21,113	21,155	21,473	22,989	86,730

ตัวอย่าง KDML 105 Block 1 = 583 + 613 + 430 + ... + 507 = 7,161

ตารางที่ 4 B x Block

ปุ๋ย (B)	Block				รวม (B)
	1	2	3	4	
(6,0) – 12 – 6	1,757	1,656	1,579	1,775	6,767
(4,2) – 12 – 6	1,781	1,805	1,778	2,220	7,584
(3,3) – 12 – 6	1,603	1,765	1,914	1,641	6,923
(2,4) – 12 – 6	1,646	1,789	1,780	1,889	7,104
(0,6) – 12 – 6	1,803	1,957	2,218	2,088	8,066
0 – 0 – 0	1,036	720	925	1,759	4,440
(12,0) – 12 – 6	1,718	1,753	1,662	1,860	6,993
(8,4) – 12 – 6	2,077	2,161	2,124	2,028	8,390
(6,6) – 12 – 6	2,085	1,959	2,129	2,060	8,233
(4,8) – 12 – 6	2,304	2,211	1,968	2,042	8,525
(0,12) – 12 – 6	1,844	2,027	2,194	2,067	8,132
0 – 12 – 6	1,459	1,352	1,202	1,560	5,573
รวม (Block)	21,113	21,155	21,473	22,989	86,730

ตัวอย่าง (6,0) – 12 – 6 Block 1 = $583 + 580 + 594 = 1,757$

2. คำนวณค่าวิเคราะห์ความแปรปรวนต่าง ๆ จากตารางที่ 1 – 4 ดังนี้

$$\text{Mean} = 86,730 / 3 \times 12 \times 4 = 602$$

$$\text{Correction Factor (CF)} = (86,730)^2 / 3 \times 12 \times 4$$

จากตารางที่ 1

$$\begin{aligned} \text{Total SS} &= 583^2 + 557^2 + \dots + 541^2 - \text{CF} \\ &= 2,050,354 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 3

$$\begin{aligned} \text{Block SS} &= ((21,113^2 + 21,155^2 + 21,473^2 + 22,989^2) / 3 \times 12) - \text{CF} \\ &= 65,373 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(A) SS} &= ((28,565^2 + 29,058^2 + 29,107^2) / 4 \times 12) - \text{CF} \\ &= 3,745 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Error (a) SS} &= ((7,161^2 + 6,832^2 + \dots + 7,954^2) / 12) - \text{CF} - \text{(A) SS} - \text{Block SS} \\ &= 67,547 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 4

$$\begin{aligned}
 (B) \text{ SS} &= ((6,767^2 + 7,584^2 + \dots + 5,573^2) / 3 \times 4) - CF \\
 &= 1,381,399 \\
 \text{Error (b) SS} &= ((1,757^2 + 1,656^2 + \dots + 1,560^2) / 3) - CF - (B) \text{ SS} - \text{Block SS} \\
 &= 338,924
 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 2

$$\begin{aligned}
 (A \times B) \text{ SS} &= (2,280^2 + 2,258^2 + \dots + 1,982^2) / 4 - CF - (A) \text{ SS} - (B) \text{ SS} \\
 &= 148,599 \\
 \text{Error (c)} &= \text{Total SS} - \text{Block SS} - (A) \text{ SS} - (B) \text{ SS} - (A \times B) \text{ SS} - \\
 &\quad \text{Error (a)} - \text{Error (b)} \\
 &= 44,767
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 5 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)

SOV	DF	SS	MS	F
Total	143	2,050,354		
Block	3	65,373	21,791	
พันธุ์ (A)	2	3,745	1,872	<1
Error (a)	6	67,547	11,258	
ปุ๋ย (B)	11	1,381,399	125,582	12.23**
Error (b)	33	338,924	10,270	
A x B	22	148,599	6,755	9.96**
Error (c)	66	44,767	678	

คำนวณ C.V.

$$\begin{aligned}
 \text{C.V. (a)} &= (\sqrt{11,258 / 602}) \times 100 \\
 &= 17.6\% \\
 \text{C.V. (b)} &= (\sqrt{10,270 / 602}) \times 100 \\
 &= 16.8\% \\
 \text{C.V. (c)} &= (\sqrt{678 / 602}) \times 100 \\
 &= 4.3\%
 \end{aligned}$$

3. ทำตารางค่าเฉลี่ยจากตารางที่ 2 และ คำนวณค่า LSD สำหรับเปรียบเทียบปัจจัย B และ Interaction ดังนี้

1. สำหรับเปรียบเทียบปัจจัย A ในปัจจัย B เดียวกัน

$$\begin{aligned}
 S_{\bar{d}} &= \sqrt{2((b-1)E_c + E_a)/rb} \\
 t' &= \frac{(b-1)E_c t_c + E_a t_a}{(b-1)E_c + E_a} \\
 df6 : t_{.05, (6)} &= 2.447, (3.707) \\
 df66 : t_{.05, (66)} &= 1.998, (2.656) \\
 t'_{.05} &= \frac{(12-1)(678)(1.998) + (11,258)(2.447)}{(12-1)(678) + 11,258} \\
 &= 2.268 \\
 t'_{.01} &= \frac{(12-1)(678)(2.656) + (11,258)(3.707)}{(12-1)(678) + 11,258} \\
 &= 3.288 \\
 S_{\bar{d}} &= \sqrt{2((12-1)(678) + 11,258)/4 \times 12} \\
 &= 27.9255 \\
 LSD &= t' \times S_{\bar{d}}
 \end{aligned}$$

สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเนื่องจากปัจจัย A ในปัจจัย B เดียวกัน

$$\begin{aligned}
 LSD_{.05} &= 27.9255 \times 2.268 \\
 &= 63.34 \\
 LSD_{.01} &= 27.9255 \times 3.288 \\
 &= 91.819
 \end{aligned}$$

2. สำหรับเปรียบเทียบปัจจัย B ในปัจจัย A เดียวกัน

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{2((a-1)E_c + E_b)/ra}$$

$$t' = \frac{(a-1)E_c t_c + E_b t_b}{(a-1)E_c + E_b}$$

$$df_{33} : t_{.05, (33)} = 2.036, (2.736)$$

$$df_{66} : t_{.05, (66)} = 1.998, (2.656)$$

$$t'_{.05} = \frac{(3-1)(678)(1.998) + (10,270)(2.036)}{(3-1)(678) + 10,270}$$

$$= 2.032$$

$$t'_{.01} = \frac{(3-1)(678)(2.656) + (10,270)(2.736)}{(3-1)(678) + 10,270}$$

$$= 2.727$$

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{(2(3-1)(678) + 10,270)/4 \times 3}$$

$$= 44.0189$$

สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเนื่องจากปัจจัย B ในปัจจัย A เดียวกัน

$$LSD_{.05} = 2.032 \times 44.0189$$

$$= 89.45$$

$$LSD_{.01} = 2.727 \times 44.0189$$

$$= 120.04$$

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)

Fert N – P – K	Variety			Fert – mean
	KDML 105	RD 5	LPT 123	
(6,0) – 12 – 6	570	564	557	564
(4,2) – 12 – 6	637	633	625	632
(3,3) – 12 – 6	551	589	589	577
(2,4) – 12 – 6	570	580	625	592
(0,6) – 12 – 6	642	673	702	672
CK(0 – 0 – 0)	365	354	391	370
(12,0) – 12 – 6	629	594	525	583
(8,4) – 12 – 6	740	698	659	699
(6,6) – 12 – 6	701	675	683	686
(4,8) – 12 – 6	717	706	708	710
(0,12) – 12 – 6	560	757	716	678
0 – 12 – 6	459	438	495	464
Var – mean	595	605	606	

LSD_{.05} (สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพันธุ์ 2 พันธุ์ ที่ใช้ปุ๋ยระดับเดียวกัน) = 63 กก./ไร่

LSD_{.01} (สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพันธุ์ 2 พันธุ์ ที่ใช้ปุ๋ยระดับเดียวกัน) = 92 กก./ไร่

LSD_{.05} (สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับปุ๋ย 2 ระดับในพันธุ์เดียวกัน) = 89 กก./ไร่

LSD_{.01} (สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับปุ๋ย 2 ระดับในพันธุ์เดียวกัน) = 120 กก./ไร่

จากตารางที่ 5 จะเห็นว่า F ของ B และ AxB มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่เนื่องจากทั้งสองส่วน มี df สูง คือ 11 และ 22 จึงทำให้การแปลผลการทดลองในตารางที่ 6 ยาก ควรจะแยก df และ SS ของทั้งสองส่วนออกเป็นส่วนย่อย ๆ ตามลักษณะที่ต้องการเปรียบเทียบ เมื่อพิจารณาระดับปุ๋ยที่ทดสอบอาจจะแยกได้ดังนี้

1. การเปรียบเทียบระหว่างการใช้และไม่ใช้ไนโตรเจนกลุ่ม (0 – 0 – 0) และ (0 – 12 – 6) VS (กลุ่ม N₆ และกลุ่ม N₁₂) เพื่อดูว่าการใช้ไนโตรเจนจะทำให้ผลผลิตต่างกับการไม่ใช้ไนโตรเจนเท่าใด
2. ในกลุ่มของ Treatment ที่ไม่ใช้ไนโตรเจน เปรียบเทียบ 0 – 0 – 0 และ 0 – 12 – 6 เพื่อดูอิทธิพลของ P และ K
3. เปรียบเทียบ Treatment กลุ่มที่ใช้ไนโตรเจนระดับ 6 และ กลุ่มที่ใช้ไนโตรเจนระดับ 12 ว่าจะทำให้ผลผลิตต่างกันอย่างไร

4. ในกลุ่มของ Treatment ที่ใช้ไนโตรเจนเท่ากัน (คือกลุ่มของ 6 หรือกลุ่มของ 12) การแบ่งใส่ไนโตรเจนเป็นอัตราส่วนต่างกันจะทำให้ผลผลิตต่างกันหรือไม่

จากการแยก df และ SS ตามที่อธิบายไว้ข้างต้นจะให้ผลดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 7 และตารางค่าเฉลี่ยอีก 1 ตาราง คือ ตารางที่ 8 ดังนี้

ตารางที่ 7 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)

SOV	DF	SS	MS	F
Total	143	2,050,354		
Block	3	65,373	21,791	1.94 ^{ns}
Variety (V)	2	3,745	1,872	<1
Error (a)	6	67,547	11,258	
Fertilizer (F)	11	1,381,399	125,582	12.23**
(CK+0 – 12 – 6) VS (N ₆ + N ₁₂)	1	896,568	896,568	87.30**
CK VS 0 – 12 – 6	1	53,487	53,487	5.21**
N ₆ VS N ₁₂	1	122,177	122,177	11.90**
Among N ₆	4	94,285	23,571	2.30 ^{ns}
Among N ₁₂	4	124,882	31,220	3.04*
Error (b)	33	338,924	10,270	
Variety x Fertilizer (V x F)	22	148,599	6,755	9.96**
V x (CK+0 – 12 – 6) VS (N ₆ + N ₁₂)	2	10,322	5,161	7.61**
V x CK VS 0 – 12 – 6	2	380	190	<1
V x N ₆ VS N ₁₂	2	9,890	4,945	7.29**
V x Among N ₆	8	11,998	1,500	2.21*
V x Among N ₁₂	8	116,009	14,501	21.39**
Error (c)	66	44,767	678	

C.V. (a) = 17.6% C.V. (b) = 16.8% C.V. (c) = 4.3%

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)

Fertilizer	Variety			Mean
	KDML 105	RD 5	LPT 123	
N ₆	594	615	620	609
N ₁₂	669	684	658	670
CK (0 – 0 – 0)	365	354	391	370
0 – 12 – 6	459	438	495	464

LSD_{.05} (For comparison of N₆ to N₁₂ within the same Variety) = 40 kg/rai

LSD_{.01} (For comparison of N₆ to N₁₂ within the same Variety) = 54 kg/rai

การแปลผล

จากตารางที่ 7 ให้พิจารณาส่วนของ F และ V x F พร้อม ๆ กัน

1. (CK+0 – 12 – 6) VS (N₆ + N₁₂) ค่า F = 87.30** แสดงว่าการใช้ปุ๋ยไม่ว่าจะเป็น N₆ หรือ N₁₂ จะให้ผลผลิตเฉลี่ยต่างกับการไม่ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนจากตารางที่ 8 จะเห็นว่าผลผลิตของการใช้ปุ๋ย N₆

และ N₁₂ เฉลี่ยได้ = $\frac{1}{2}(609 + 670)$ ส่วนการไม่ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้ผลผลิตเฉลี่ย = $\frac{1}{2}(370 + 464)$

V x (CK+0 – 12 – 6) VS (N₆ + N₁₂) ค่า F = 7.61** แสดงว่า การใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (N₆ กับ N₁₂) กับการไม่ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (CK กับ 0 – 12 – 6) จะทำให้ผลผลิตแตกต่างกันและความแตกต่างกันนี้ต่างกันระหว่างพันธุ์ที่ใช้ทดสอบ

จากตารางที่ 8

KDML 105	ใช้ปุ๋ยได้ผลผลิตเฉลี่ย	=	$\frac{1}{2} (594 + 669)$	=	632
	เทียบกับไม่ใช้ปุ๋ย N	=	$\frac{1}{2} (365 + 459)$	=	412
RD 5	ใช้ปุ๋ย N	=	$\frac{1}{2} (615 + 684)$	=	650
	ไม่ใช้ปุ๋ย N	=	$\frac{1}{2} (354 + 438)$	=	396
LPT 123	ใช้ปุ๋ย N	=	$\frac{1}{2} (620 + 658)$	=	639
	ไม่ใช้ปุ๋ย N	=	$\frac{1}{2} (391 + 495)$	=	443

2. CK VS 0 – 12 – 6 ค่า F = 5.21* แสดงว่า การใช้ P และ K จะทำให้ผลผลิตต่างกับการใช้ (370 ต่างกับ 464)

V x CK VS 0 – 12 – 6 ค่า F น้อยกว่า 1

แสดงว่าทุกพันธุ์จะให้การตอบสนองต่อ P และ K ไม่ต่างกัน

KDML 105 ; 365 น้อยกว่า 459

RD 5 ; 354 น้อยกว่า 438

LPT 123 ; 391 น้อยกว่า 495

3. N₆ VS N₁₂ ค่า F = 11.90** แสดงว่าการใช้ไนโตรเจนระดับ 6 ทำให้ผลผลิตต่างกับระดับ 12 (609 น้อยกว่า 670)

V x N₆ VS N₁₂ ค่า F = 7.29** แสดงว่าผลผลิตที่ได้จากการใช้ N₆ และ N₁₂ ในทุกพันธุ์มีความแตกต่างไม่เหมือนกัน

KDML 105 ; 594 เทียบกับ 669

RD 5 ; 615 เทียบกับ 684

LPT 123 ; 620 เทียบกับ 658

เมื่อนำค่าเปรียบเทียบกับค่า LSD ที่ให้ไว้ในตารางที่ 8 นี้ จะเห็นว่า LPT 123 ใช้ N₆ และ N₁₂ ผลผลิตไม่มีความแตกต่างกัน

4. ในกลุ่มของ Treatment ที่ใช้ไนโตรเจนเท่ากัน

4.1 Among N₆ ค่า F = 2.30^{ns} แสดงว่าในการแบ่งใส่ไนโตรเจน 6 กิโลกรัม/ไร่ ด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ไม่ทำให้ผลผลิตโดยเฉลี่ยต่างกัน แต่ V x Among N₆ F = 2.21* แสดงว่าที่ว่าโดยเฉลี่ย ไม่ต่างกันนั้นไม่จริงเสมอไป บางพันธุ์ อาจจะตอบสนองต่ออัตราส่วนของการใช้ปุ๋ยต่าง ๆ ในขณะที่บางพันธุ์อาจจะไม่มีการตอบสนอง ดูค่าเฉลี่ยในตารางที่ 6 5 Treatment แรก คือ (6 + 0), (4 + 2), (3 + 3), (2 + 4), (0 + 6)

	KDML 105	RD 5	LPT 123
6 + 0	570	564	557
4 + 2	637	633	625
3 + 3	551	589	589
2 + 4	570	580	625
0 + 6	642	673	702

โดยใช้ค่า LSD ที่แสดงไว้ท้ายตารางที่ 6

LSD สำหรับเปรียบเทียบผลผลิตของตำรับปุ๋ย 2 ตำรับ ในพันธุ์เดียวกัน (89,120 กิโลกรัม/ไร่)
เป็นตัวเปรียบเทียบ

4.2 Among N_{12} และ $V \times$ Among N_{12} จะแปลผลและใช้ค่าต่าง ๆ ในการ
ประกอบการแปลผลเช่นเดียวกับ 4.1

เตือนความจำ

สำหรับการทดลอง 2 ปัจจัย ที่มีปัจจัย A มีจำนวนระดับ = a

ปัจจัย B มีจำนวนระดับ = b

ทำการทดลองด้วยจำนวนซ้ำ = r

ก. Factorial Experiment

ในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์แต่ละคู่ ใช้ Standard Error of
Difference ($S_{\bar{d}}$) ดังนี้

$$A : S_{\bar{d}} = \sqrt{2E/br}$$

$$B : S_{\bar{d}} = \sqrt{2E/ar}$$

$A \times B$: (A ในแต่ละระดับของ B หรือ B ในแต่ละระดับของ A)

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{2E/r}$$

(E = Error)

ข. Split Plot Design ที่มี A เป็น main plot

$$A : S_{\bar{d}} = \sqrt{2E_a/br}$$

$$B : S_{\bar{d}} = \sqrt{2E_b/ar}$$

$A \times B$: มี $S_{\bar{d}}$ 2 ตัว

B ใน A ระดับเดียวกัน $S_{\bar{d}} = \sqrt{2E_b/r}$

A ใน B ระดับเดียวกันหรือคนละระดับ

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{2}{br}((b-1)E_b + E_a)}$$

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

ค. Strip plot Design

$$\begin{array}{lcl} A & : & S_d = \sqrt{2E_a/br} \\ B & : & S_d = \sqrt{2E_b/ar} \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} A \text{ ใน } B \text{ ระดับเดียวกัน } S_d & = & \sqrt{\frac{2}{br}((b-1)E_c + E_a)} \\ B \text{ ใน } A \text{ ระดับเดียวกัน } S_d & = & \sqrt{\frac{2}{ar}((a-1)E_c + E_b)} \end{array}$$

3 Factors Factorial Experiment

ทำการทดลอง 3 ปัจจัยพร้อม ๆ กัน เช่น การศึกษาการตอบสนองของข้าว กข 7 ต่อปุ๋ย ไนโตรเจน (N) ฟอสเฟต (P) และ โพแทช (K) อย่างละ 3 ระดับ (N 3, 6, 12 กิโลกรัม/ไร่ P 0, 6, 12 กิโลกรัม/ไร่ K 0, 6, 12 กิโลกรัม/ไร่)

Treatment Combination ที่ใช้ในการทดสอบจะมีจำนวน $3 \times 3 \times 3 = 27$

Treatment คือ	<u>N – P – K</u>		<u>N – P – K</u>		<u>N – P – K</u>
T ₁	3 – 0 – 0	T ₁₀	6 – 0 – 0	T ₁₉	12 – 0 – 0
T ₂	3 – 0 – 6	T ₁₁	6 – 0 – 6	T ₂₀	12 – 0 – 6
T ₃	3 – 0 – 12	T ₁₂	6 – 0 – 12	T ₂₁	12 – 0 – 12
T ₄	3 – 6 – 0	T ₁₃	6 – 6 – 0	T ₂₂	12 – 6 – 0
T ₅	3 – 6 – 6	T ₁₄	6 – 6 – 6	T ₂₃	12 – 6 – 6
T ₆	3 – 6 – 12	T ₁₅	6 – 6 – 12	T ₂₄	12 – 6 – 12
T ₇	3 – 12 – 0	T ₁₆	6 – 12 – 0	T ₂₅	12 – 12 – 0
T ₈	3 – 12 – 6	T ₁₇	6 – 12 – 6	T ₂₆	12 – 12 – 6
T ₉	3 – 12 – 12	T ₁₈	6 – 12 – 12	T ₂₇	12 – 12 – 12

เหมือนกับ 2 Factors Factorial Experiment คือ จำนวน Treatment Combination เหล่านี้จะจัดการทดลองตามแบบการทดลองพื้นฐานแบบใดแบบหนึ่งใน 3 แบบ คือ CRD หรือ RCB หรือ LS ก็ได้ โดยใช้หลักและวิธีการ Random เหมือนกับหลักของ Design นั้น ๆ

เมื่อทำการทดลอง 3 ปัจจัยพร้อม ๆ กัน จะทำการศึกษา :-

Main effect คือ การตอบสนองต่อปัจจัยหนึ่ง หรือการเปลี่ยนแปลงของผลผลิต เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของแต่ละปัจจัย main effect ในที่นี้มี 3 ตัวคือ N P และ K

Interaction การศึกษา 3 ปัจจัยจะมี Interaction 2 หมู่

First order interaction ได้แก่ interaction ที่เกิดระหว่างสองปัจจัยคู่ใดคู่หนึ่ง คือ $N \times P$, $N \times K$ และ $P \times K$ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Two – factor interaction

Second order interaction ได้แก่ interaction ที่เกิดระหว่างสามปัจจัยนั้น ๆ คือ $N \times P \times K$ หรือ three – factor interaction

ตัวอย่าง 3 factor Factorial Experiment

โครงการ	วิธีการใช้ปุ๋ยแบบผสมผสานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยเคมี
เรื่อง	การใช้ปุ๋ยกับข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกต่อเนื่องกันในสภาพดินไร่ที่มีการชลประทาน
สถานที่ทดลอง	ไร่นาสีกร จังหวัดราชบุรี
ปัจจัยที่ศึกษา	
	A 2 ระดับ - ตัดต้นออกจากแปลง
	- สับกลบลงดิน
	B 2 ระดับ - ไม่ใส่มูลวัว
	- ใส่มูลวัว 1 ตัน/ไร่/ปี
	C 3 ระดับ - ปุ๋ย N 0, 10, 12 กก./ไร่ (โดยใส่ P, K คงที่อย่างละ 5 กก./ไร่)
วัตถุประสงค์	เพื่อศึกษาถึงสัดส่วนของปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยคอกที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวโพดฝักอ่อนระยะยาวโดยมีการสับกลบต้นข้าวโพดลงดินและตัดทิ้ง

แผนผังแปลงทดลอง

$A_1B_1C_3$ 6	$A_1B_2C_2$ 12	$A_1B_2C_3$ 18	$A_1B_1C_1$ 24	$A_2B_1C_1$ 30	$A_1B_1C_3$ 36
$A_2B_2C_1$ 5	$A_2B_2C_2$ 11	$A_2B_1C_3$ 17	$A_1B_2C_1$ 23	$A_2B_2C_2$ 29	$A_2B_2C_1$ 35
$A_2B_1C_1$ 4	$A_2B_1C_2$ 10	$A_2B_2C_3$ 16	$A_2B_1C_1$ 22	$A_1B_1C_1$ 28	$A_2B_2C_3$ 34
$A_1B_1C_2$ 3	$A_1B_1C_1$ 9	$A_2B_2C_1$ 15	$A_2B_2C_2$ 21	$A_2B_1C_2$ 27	$A_1B_2C_3$ 33
$A_2B_2C_3$ 2	$A_1B_2C_1$ 8	$A_1B_1C_2$ 14	$A_2B_1C_2$ 20	$A_1B_2C_1$ 26	$A_1B_2C_2$ 32
$A_2B_1C_3$ 1	$A_1B_2C_3$ 7	$A_1B_2C_2$ 13	$A_1B_1C_3$ 19	$A_2B_1C_3$ 25	$A_1B_1C_2$ 31

ขนาดแปลงย่อย 5 × 6 เมตร (10 แถว ๆ ละ 12 ต้น)

ขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยว 3 × 4 เมตร (6 แถว ๆ ละ 8 ต้น)

การทดลองนี้ทำต่อเนื่องกันปีละ 4 ครั้ง ผลของการปลูกครั้งที่ 3 น้ำหนักฝักข้าวโพด (กิโลกรัม/ไร่) เป็นดังนี้

DATA SET NO.13

OPERATOR NAME : TATSANEE

FACTORIAL 3 FACTORS IN RCB

NO. OF A = 2 NO. OF B = 2 NO. OF C = 3 NO. OF REPLICATION = 3

RAW DATA

			R1	R2	R3
A1	B1	C1	265.0000	89.0000	269.0000
		C2	1,009.0000	1,289.0000	788.0000
		C3	1,085.0000	1,111.0000	941.0000
	B2	C1	660.0000	347.0000	447.0000
		C2	908.0000	1,117.0000	916.0000
		C3	1,153.0000	988.0000	1,029.0000
A2	B1	C1	775.0000	592.0000	743.0000
		C2	1,125.0000	1,147.0000	1,047.0000
		C3	1,123.0000	1,139.0000	1,164.0000
	B2	C1	1,063.0000	847.0000	489.0000
		C2	1,071.0000	1,057.0000	1,132.0000
		C3	1,243.0000	1,269.0000	863.0000

ANALYSIS OF VARIANCE

SOV	DF	SS	MS	F
REPLICATION	2	120,059.5555	60,029.777	
A	1	336,013.4444	336,013.4444	16.88**
B	1	22,400.1111	22,400.1111	1.12
C	2	2,195,246.8888	1,097,623.4444	55.14*
AB	1	8,100.0000	8,100.0000	0.40
AC	2	202,600.2222	101,300.1111	5.08*
BC	2	85,628.2222	42,814.1111	2.15 ^{ns}
ABC	2	17,584.6666	8,792.3333	0.44
ERROR	22	437,909.1111	19,904.9595	
TOTAL	35	3,425,542.2222		

C.V. = 15.7%

LEVEL OF SIGNIFICANCE	5%	1%
T – VALUE	2.0739	2.8188
LSD FOR		
A	97.5320	132.5634
B	97.5320	132.5634
C	119.4518	162.3563
AB	137.9311	187.4729
AC	168.9304	229.6065
BC	168.9304	229.6065
ABC	238.9036	324.7127

ABC – MEANS	C1	C2	C3
A1 B1	207.6666	1,028.6666	1,045.6666
B2	484.6666	980.3333	1,056.6666
A2 B1	703.3333	1,106.3333	1,142.0000
B2	799.6666	1,086.6666	1,125.0000

AB – MEANS	B1	B2
A1	760.6666	840.5555
A2	983.8888	1,003.7777

AC – MEANS	C1	C2	C3
A1	346.1666	1,004.5000	1,051.1666
A2	751.5000	1,096.5000	1,133.5000

BC – MEANS	C1	C2	C3
B1	455.5000	1,067.5000	1,093.8333
B2	642.1666	1,033.5000	1,090.8333

A – MEANS	
A1	800.6111
A2	993.8333

B – MEANS	C1
B1	872.2777
B2	922.1666
C – MEANS	
C1	548.8333
C2	1,050.5000
C3	1,092.3333

GRAND MEAN = 897.2222

** END OF PROGRAM **

การแปลผล

จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ปัจจัย A, C และ A x C มีนัยสำคัญแต่ B คือมูลวัว และ Interaction ระหว่างมูลวัวกับปัจจัยอื่น ๆ ให้ค่า F ที่น้อยกว่า F ในตารางข้างต้น แสดงว่าในการทดลองครั้งนี้ยังไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะกล่าวได้ว่า การใช้มูลวัวมีอิทธิพลต่อผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนหรือไม่ แต่การสับกลบดินข้าวโพดลงในแปลงและการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนจะทำให้ผลผลิตของข้าวโพดฝักอ่อนเปลี่ยนแปลง สำหรับกรณีนี้จะต้องดูค่าเฉลี่ยที่ AC – MEANS พร้อมทั้งใช้ค่า LSD ที่โปรแกรมคำนวณไว้ให้เป็นตัวเปรียบเทียบดังนี้

ตาราง AC – MEANS

	C1	C2	C3
A1	346.2	1,004.5	1,051.2
A2	751.5	1,096.5	1,131.5
LSD FOR			
AC	168.9	229.6	

ถ้าเปรียบเทียบผลผลิตของข้าวโพดเมื่อไม่ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเลย (C_1) พบว่าการสับกลบดิน (A_2) จะให้ผลผลิตสูงกว่าการตัดต้นทั้ง (A_1) ($751.5 - 346.2 = 405.3^{**}$) แต่ถ้ามีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนไม่ว่าจะเป็น 10 หรือ 20 กิโลกรัม/ไร่ ร่วมกับการใช้ต้นสับกลบไม่ทำให้ผลผลิตข้าวโพดเปลี่ยนแปลง ($1,096.5 - 1,004.5 = 92^{ns}$ หรือ $1,131.5 - 1,051.2 = 80.3^{ns}$)

3 – factor factorial combination นี้อาจจะนำไปจัดเป็นแผนการทดลองแบบต่าง ๆ ได้ อีก ตามวัตถุประสงค์ของผู้ทดลอง เช่น

1. Split – Split Plot Design ถ้าผู้ทดลองสนใจปัจจัยทั้ง 3 ไม่เท่ากัน หรือในทางปฏิบัติ บางปัจจัยอาจจะต้องการขนาดแปลงย่อยที่ใหญ่กว่าปัจจัยอื่น ๆ

- ถ้า A เป็นปัจจัยที่ผู้ทดลองสนใจน้อยที่สุด
 B เป็นปัจจัยที่สนใจมากกว่า A
 C เป็นปัจจัยที่สนใจและอยากจะทราบรายละเอียดที่สุด เช่นนี้ก็ควรจัด 3

factor factorial ให้อยู่ในรูปของ Split – split plot Design โดยให้

- A เป็น Main plot (หน่วยทดลองใหญ่)
 B เป็น Sub plot (หน่วยทดลองกลาง)
 C เป็น Sub sub plot (หน่วยทดลองเล็ก)

A อาจจัดในรูปของ Design พื้นฐานแบบใดก็ได้ ปกติทางเกษตรมักจะใช้ RCB ถ้า A B และ C มี 3, 4 และ 2 ระดับตามลำดับ แบบแผนการทดลองจะเป็นดังนี้

A ₂	B ₄ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₂	B ₃ C ₁
	B ₄ C ₂	B ₁ C ₁	B ₂ C ₁	B ₃ C ₂
A ₁	B ₃ C ₂	B ₄ C ₁	B ₁ C ₁	B ₂ C ₂
	B ₃ C ₁	B ₄ C ₂	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁
A ₃	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₄ C ₂	B ₃ C ₁
	B ₁ C ₁	B ₂ C ₂	B ₄ C ₁	B ₃ C ₂

Block 1

A ₁	B ₃ C ₁	B ₂ C ₁	B ₁ C ₁	B ₄ C ₂
	B ₃ C ₂	B ₂ C ₂	B ₁ C ₂	B ₄ C ₁
A ₃	B ₂ C ₂	B ₄ C ₁	B ₃ C ₁	B ₁ C ₁
	B ₂ C ₁	B ₄ C ₂	B ₃ C ₂	B ₁ C ₂
A ₂	B ₃ C ₁	B ₁ C ₂	B ₄ C ₂	B ₂ C ₁
	B ₃ C ₂	B ₁ C ₁	B ₄ C ₁	B ₂ C ₂

Block 2

ถ้าทำการทดลอง 4 ซ้ำ ตารางวิเคราะห์เป็นดังนี้

SOV	DF
Total	$(3 \times 4 \times 2 \times 4) - 1 = 95$
Block	$4 - 1 = 3$
A	$3 - 1 = 2$
E (a)	$(4 - 1)(3 - 1) = 6$
B	$4 - 1 = 3$
AB	$(3 - 1)(4 - 1) = 6$
E (b)	$3(4 - 1)(4 - 1) = 27$
C	$2 - 1 = 1$
AC	$(3 - 1)(2 - 1) = 2$
BC	$(4 - 1)(2 - 1) = 3$
ABC	$(3 - 1)(4 - 1)(2 - 1) = 6$
E (c)	$3 \times 4(4 - 1)(2 - 1) = 36$
C.V. (a)	
C.V. (b)	
C.V. (c)	

2. Split plot ที่มีปัจจัยเดียวเป็น main plot และ 2 factor factorial เป็น Sub plot หรือ กลับกันแล้วแต่วัตถุประสงค์ของผู้ทำการทดลอง เช่น

ถ้าผู้ทดลองสนใจ B และ C เท่า ๆ กัน แต่สนใจ A น้อยที่สุด ก็อาจจะวางแผนการทดลองแบบ Split Plot โดยมี A เป็น main plot และ B $\times$ C เป็น Sub plot ดังนี้

A ₂	B ₃ C ₁	B ₄ C ₁	B ₂ C ₂	B ₁ C ₁
	B ₁ C ₂	B ₃ C ₂	B ₄ C ₂	B ₂ C ₁
A ₁	B ₂ C ₂	B ₁ C ₁	B ₃ C ₁	B ₄ C ₂
	B ₄ C ₁	B ₂ C ₁	B ₃ C ₂	B ₁ C ₂
A ₃	B ₄ C ₂	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₃ C ₂
	B ₁ C ₁	B ₃ C ₁	B ₄ C ₁	B ₂ C ₂
Block 1				
A ₁	B ₁ C ₁	B ₂ C ₁	B ₁ C ₂	B ₃ C ₂
	B ₃ C ₁	B ₄ C ₂	B ₂ C ₂	B ₄ C ₁
A ₃	B ₁ C ₂	B ₂ C ₂	B ₂ C ₁	B ₃ C ₁
	B ₄ C ₁	B ₁ C ₁	B ₃ C ₂	B ₄ C ₂
A ₂	B ₁ C ₂	B ₃ C ₁	B ₄ C ₂	B ₄ C ₁
	B ₃ C ₂	B ₂ C ₂	B ₁ C ₁	B ₂ C ₁
Block 2				
Block 3...				

ตารางวิเคราะห์

SOV	DF
Total	95
Block	3
A	2
E (a)	6
(Sub plot 7)	
B	3
C	1
BC	3
(Interaction 14)	
AB	6
AC	2
ABC	6
E (b)	63
C.V. (a)	
C.V. (b)	

นอกจากนี้ยังมีแผนการทดลองแบบอื่น ๆ ซึ่งจะใช้ศึกษา 3 factor factorial combination กลุ่มนี้ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ทำการวิจัย

จะเห็นว่าการศึกษาหลาย ๆ ปัจจัยพร้อม ๆ กัน ทำได้ด้วยการใช้แบบแผนการทดลองแบบต่าง ๆ และผลที่ได้จากการวิจัยเป็นผลที่กว้างและผู้ที่ทำการวิจัยก็จะได้ผลที่กว้างกว่าการศึกษาปัจจัยเดียว

สหสัมพันธ์ และรีเกรสชัน

(Correlation and Regression)

นอกจากการวิเคราะห์ และทดสอบสมมติฐานของแต่ละตัวแปรแล้ว บางครั้งเราอาจสนใจตัวแปร (Variables) ที่มีอยู่ซึ่งมีความสัมพันธ์ (Relationship) กันอย่างไร และจะช่วยตัดสินใจในการคาดคะเน (Prediction) และวางแผนงานได้อย่างไร จะเห็นว่าเราต้องการ หลักการบางอย่างมาช่วยวิเคราะห์เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล 2 ชุดหรือมากกว่า วิธีการทางสถิติที่สามารถนำมาแก้ไขปัญหาเหล่านี้ก็คือ Regression and Correlation Analysis

Regression Analysis

Regression เป็นวิธีการหนึ่งที่จะใช้ช่วยตรวจหาลักษณะ (Nature) ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่สองตัวขึ้นไป ตัวแปรเหล่านี้แยกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ **ตัวแปรอิสระ** (Independent variable) ซึ่งสามารถกำหนดค่าได้ตามที่ต้องการ เช่น ปริมาณปุ๋ยที่ใส่ต่อ 1 ไร่ ของข้าวโพด หรือ ตัวแปรซึ่งมีค่าตามที่สังเกตได้โดยที่ไม่ถูกควบคุม เช่น ความชื้น ผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระนี้จะกระทบกระเทือนตัวแปรอีกตัวหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า **ตัวแปรตาม** (Dependent variable) ตัวอย่าง เช่น ปริมาณปุ๋ยที่ใส่ต่อไร่ อาจจะมีผลทำให้ผลผลิตข้าวโพดเพิ่มขึ้นหรือลดลง ผลผลิตข้าวโพดจะถือว่าเป็นตัวแปรตามในกรณีนี้

ถ้าพิจารณาแต่เพียงปัจจัยเดียว คือ ตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียวที่มีผลต่อตัวแปรตามแล้ว เราเรียก Regression นั้นว่า **“Simple Regression”** เช่น ปริมาณปุ๋ยต่อไร่ (X) ซึ่งมีผลต่อผลผลิตข้าวโพด (Y) ตามความเป็นจริงแล้วผลผลิตข้าวโพดมิได้ขึ้นอยู่กับปุ๋ย (X_1) เพียงอย่างเดียว ยังมีอิทธิพลของตัวแปรอิสระอื่น ๆ เช่น พันธุ์ (X_2) การดูแลรักษา (X_3) ฯลฯ เข้ามาเกี่ยวข้อง และเมื่อเราพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยมากกว่าหนึ่งตัว Regression นั้นเรียกว่า **“Multiple Regression”**

ความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y อาจเป็นรูปเส้นตรง (Linear) หรือไม่ใช่เส้นตรง (Non linear) ก็ได้ ดังนั้นรูปแบบของ Regression Analysis แบ่งออกได้เป็น 4 แบบ ดังนี้

1. Simple Linear Regression
2. Multiple Linear Regression
3. Simple NonLinear Regression
4. Multiple NonLinear Regression

Simple Linear Regression เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ชุด คือ ตัวแปรอิสระ X และตัวแปรตาม Y โดยเราจะศึกษาว่า ถ้า X เปลี่ยนไป 1 หน่วย จะทำให้ค่า Y เปลี่ยนไปกี่หน่วย

ในการวิเคราะห์ Simple Linear Regression สมการแสดงรูปแบบความสัมพันธ์ ระหว่าง X และ Y ของประชากร (Population) คือ

$$Y = \alpha + \beta x + \varepsilon$$

เมื่อ α = intercept หรือ จุดตัดของเส้นตรงบนแกน Y

β = Slope หรือ ความชันของเส้น

ε = ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ประมาณค่า α ด้วย a β ด้วย b และ ε ด้วย e แล้ว จะได้รูปสมการเป็น

$$Y = a + bX + e$$

ให้ $y - e$ เป็น $\hat{Y}$ หมายถึงค่าประมาณของ Y แล้ว

$$\hat{Y} = a + bX$$

ซึ่งก็คือสมการของ Simple Linear Regression

ถ้ามีข้อมูลจำนวน n คู่ คือ $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$ โดย X เป็นตัวแปรอิสระ และ Y เป็นตัวแปรตาม และ X กับ Y มีความสัมพันธ์กันในรูปเส้นตรง ($Y = a + bX$) แล้ว โดยวิธี least square (วิธีที่ถือหลักว่าผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดหรือ $\sum \varepsilon^2$ มีค่าน้อยที่สุด) จะคำนวณ a และ b ได้ดังนี้

$$b = \frac{\sum xy}{\sum x^2}$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

$$\text{เมื่อ } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

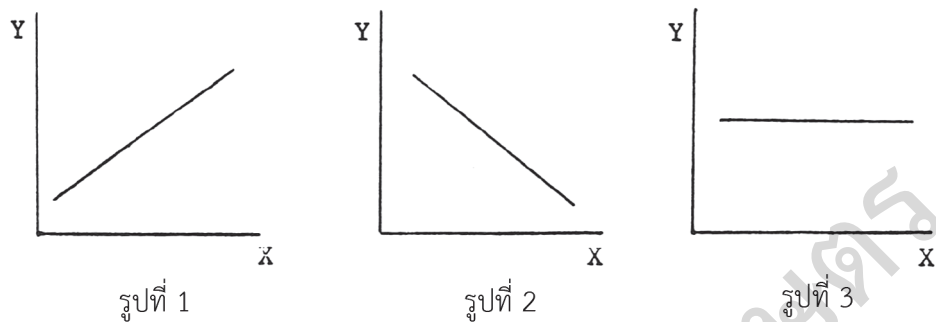
$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}$$

$$\sum x^2 = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 / n$$

$$\sum y^2 = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 / n$$

$$\sum xy = \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right) / n$$

ค่า a เป็นค่า Y - Intercept และ b เป็นค่า Slope ของเส้น regression ค่า b นี้เรียกว่า **“Coefficient of Regression”** ซึ่งอาจจะเป็นทั้งบวก ลบ หรือศูนย์ ถ้า b มีค่าเป็นบวก แสดงว่าค่าของ X มีผลทำให้ Y มีค่าเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ ถ้า X เพิ่มขึ้น Y ก็เพิ่มตาม (รูปที่ 1) ถ้า b มีค่าเป็นลบ แสดงว่าค่าของ X มีผลทำให้ Y มีค่าเปลี่ยนแปลงไปในทางตรงข้าม กล่าวคือ ถ้า X มีค่าเพิ่ม Y จะมีค่าลด (รูปที่ 2) แต่ถ้า b เท่ากับศูนย์ แสดงว่า X จะไม่มีผลต่อ Y เลย เส้น regression จะเป็นดังรูปที่ 3



จากเส้น regression ; $\hat{Y} = a + bX$ เมื่อต้องการประมาณค่า $Y(\hat{Y})$ จะทำได้โดยแทนค่า X ลงในสมการ และจากสมการนี้จะสรุปได้ว่า เมื่อ X เปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วย Y จะเปลี่ยนแปลงไป b หน่วย

ค่าความแปรปรวน จาก regression ($S_{y,x}^2$) คำนวณได้โดย

$$S_{y,x}^2 = \frac{\sum y^2 - \frac{(\sum xy)^2}{\sum x^2}}{n - 2}$$

ความแปรปรวนของ b คือ

$$S_b^2 = \frac{S_{y,x}^2}{\sum x^2}$$

และความแปรปรวนของค่าประมาณของ $Y(\hat{Y})$ คือ

$$V(\hat{Y}) = S_{y,x}^2 \left[\frac{1}{n} + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{\sum x^2} \right]$$

การทดสอบสมมติฐาน เพื่อทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง X กับ Y โดยสมมติฐานเป็นดังนี้

$H_0 : \beta = 0$ (X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงต่อกัน)

$H_a : \beta \neq 0$ (X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงต่อกันจริง)

ตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบจะเป็น t หรือ F ก็ได้

ก. ทดสอบโดยใช้ t - test ค่าสถิติ t คำนวณได้โดย

$$t = \frac{b - \beta_0}{S_b}$$

เปรียบเทียบกับค่า t ที่คำนวณได้จากค่า t จากตารางที่ (n-2) degree of freedom และ $\alpha/2$

เมื่อ α คือ ระดับนัยสำคัญที่กำหนด

ข. ทดสอบโดยใช้ F - test สูตรการคำนวณแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOV)

SOV	DF	SS	MS	F
Due to regression	1	$b\sum xy$	$MSR = b\sum xy$	$\frac{MSR}{S_{y,x}^2}$
residual	$n - 2$	$\sum y^2 - b\sum xy$	$S_{y,x}^2 = \frac{\sum y^2 - b\sum xy}{n - 2}$	
Total	$n - 1$	$\sum y^2$		

เปรียบเทียบกับค่า F ที่คำนวณได้จากค่า F จากตารางที่ (1, n - 2) df และระดับนัยสำคัญที่กำหนด

ช่วงเชื่อมั่นสำหรับค่าประมาณ

ก. สำหรับค่าประมาณของ $Y(\hat{Y})$

$$(1 - \alpha) \%CI = \hat{Y} \pm t_{\alpha/2, (n-2)} \sqrt{S_{y,x}^2 \left(\frac{1}{n} + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{\sum x^2} \right)}$$

ข. สำหรับค่าประมาณของ $\beta(b)$

$$(1 - \alpha) \%CI = b \pm t_{\alpha/2, (n-2)} S_b$$

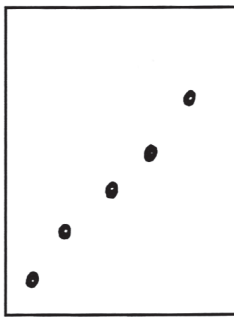
Correlation Analysis

Correlation เป็นวิธีการวัดขนาดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ โดยจะถือตัวแปรใดเป็นตัวแปรอิสระหรือตัวแปรตามก็ได้ Correlation ของตัวแปรมีหลายแบบอาจจะเป็นแบบเส้นตรงหรือเส้นโค้งก็ได้

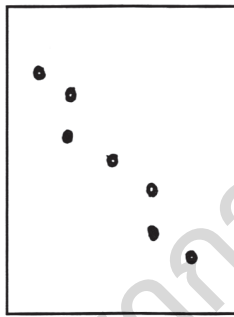
Simple Linear Correlation เป็นการวัดขนาดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว เมื่อตัวแปร 2 ตัวนี้มีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง ขนาดของความสัมพันธ์วัดได้จากค่า **สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์** (Correlation Coefficient) ซึ่งใช้สัญลักษณ์ ρ แทน Population Correlation Coefficient และ r แทน sample correlation coefficient ค่า r นี้จะคำนวณได้โดย

$$r = \frac{\Sigma xy}{\sqrt{(\Sigma x^2)(\Sigma y^2)}}$$

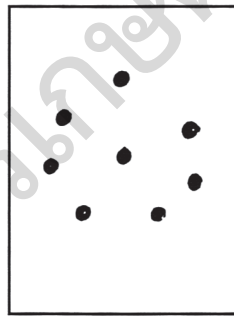
r จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 และ $+1$ ($-1 \leq r \leq +1$) ถ้าหาก r มีค่า $= +1$ หรือเกือบเท่ากับ $+1$ หมายความว่าข้อมูลทั้งสอง (X, Y) มีความสัมพันธ์กันมากแสดงว่าถ้าข้อมูล X เปลี่ยนไป ข้อมูล Y จะเปลี่ยนตามไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ X เพิ่ม Y เพิ่ม X ลด Y ก็ลดตาม (รูปที่ 4) แต่ถ้า r มีค่าเท่ากับ -1 หรือเกือบเท่ากับ -1 ข้อมูล X และ Y มีความสัมพันธ์กันมากแต่เป็นไปในทางตรงข้ามกัน กล่าวคือ ถ้า Variable หนึ่งเพิ่มจะเป็นผลให้อีก Variable หนึ่งลด (รูปที่ 5) และถ้าหาก r มีค่า $= 0$ หรือเกือบเท่ากับศูนย์ แสดงให้เห็นว่าข้อมูล 2 ชุดนั้นไม่มีความสัมพันธ์กันเลยหรือเกือบไม่มีความสัมพันธ์กันเลย (รูปที่ 6)



รูปที่ 4



รูปที่ 5



รูปที่ 6

การทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ($H_0 : \rho = 0$ VS $H_a : \rho \neq 0$) ทำได้โดยคำนวณค่า r แล้วเทียบค่าที่คำนวณได้กับค่าจากตาราง r ที่ $(n - 2)$ degree of freedom และระดับนัยสำคัญที่กำหนดโดยที่ n คือ จำนวนคู่ของค่าสังเกต

Coefficient of Determination

คือ กำลังสอง Coefficient of Correlation ค่า Coefficient of Determination แบบ Simple Linear ใช้สัญลักษณ์ r^2 แสดงให้เห็นว่าสมการ regression ที่ได้นั้นเหมาะสมกับข้อมูลเพียงใด

ตัวอย่างที่ 1 ข้อมูลผลผลิตและจำนวนรวงต่อกอของข้าวนาสวน ปี 2531 จำนวน 9 แปลง เป็นดังนี้

แปลงที่	จำนวนรวงต่อกอ (X)	ผลผลิตข้าว (กก./ไร่) (Y)
1	10.0	287.8
2	9.3	286.8
3	13.0	358.0
4	10.5	278.3
5	11.8	344.8
6	11.5	292.5
7	12.0	317.5
8	10.8	313.5
9	15.5	440.3

$$n = 9$$

$$\Sigma X = 104.4 \quad \bar{X} = \frac{\Sigma X}{n} = \frac{104.4}{9} = 11.6$$

$$\Sigma Y = 2,919.5 \quad \bar{Y} = \frac{\Sigma Y}{n} = \frac{2,919.5}{9} = 324.4$$

$$\Sigma X^2 = 1,238.12 \quad \Sigma Y^2 = 968,093.85 \quad \Sigma XY = 34,574.23$$

$$\Sigma x^2 = \Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{n} = 1,238.12 - \frac{(104.4)^2}{9} = 27.0800$$

$$\Sigma y^2 = \Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{n} = 968,093.85 - \frac{(2,919.5)^2}{9} = 21,040.4889$$

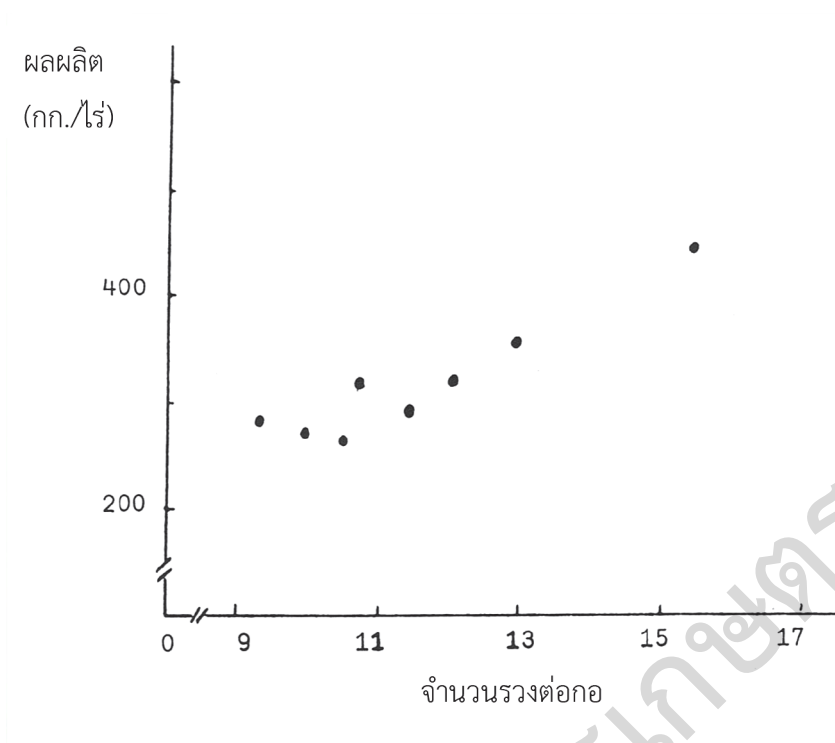
$$\Sigma xy = \Sigma XY - \frac{(\Sigma X)(\Sigma Y)}{n} = 34,574.23 - \frac{(104.4)(2,919.5)}{9} = 708.0269$$

$$S_{yx}^2 = \frac{\Sigma y^2 - \frac{(\Sigma xy)^2}{\Sigma x^2}}{n-2} = \frac{21,040.4889 - \frac{(708.0269)^2}{27.0800}}{9-2} = 361.2278$$

$$S_b^2 = \frac{S_{yx}^2}{\Sigma x^2} = \frac{361.2278}{27.0800} = 13.3393$$

$$S_b = \sqrt{S_b^2} = \sqrt{13.3393} = 3.6523$$

รูปที่ 7 Scatter diagram ระหว่างผลผลิตกับจำนวนรวงต่อกอ



จาก **Scatter diagram** จะเห็นว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรวงต่อกอ (X) และผลผลิต (Y) มีแนวโน้มจะเป็นเส้นตรงซึ่งมีรูปแบบสมการ

$$\hat{Y} = a + bX$$

คำนวณค่า a และ b

$$b = \frac{\sum xy}{\sum x^2} = \frac{708.0269}{27.0800} = 26.15$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} = 324.4 - (26.15)(11.6) = 21.06$$

สมการเส้นตรงที่ประมาณได้ คือ

$$\hat{Y} = 21.06 + 26.15X$$

ทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์

$$H_0 : \beta = 0 \text{ VS } H_a : \beta \neq 0$$

ก. ใช้ t - test

$$t = \frac{b - \beta_0}{S_b}$$

$$t = \frac{26.15 - 0}{3.65} = 7.164^{**}$$

$$t_{.025,7} = 2.365 \text{ และ } t_{.005,7} = 3.499$$

ข. ใช้ F - test

ANALYSIS OF VARIANCE				
SOV	DF	SS	MS	F
Regression	1	18,511.9	18,511.9	51.25**
Residual	7	2,528.4	361.2	
Total	8	21,040.3		
F _{.05,(1,7)} = 5.59 และ F _{.01,(1,7)} = 12.25				

นั่นคือ ปฏิเสธสมมติฐานที่ว่า $\beta = 0$ แสดงว่าจำนวนรวงเพิ่มขึ้นจะเป็นผลทำให้ได้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นในรูปเส้นตรง โดยที่เมื่อจำนวนรวงต่อกอเพิ่มขึ้น 1 รวงจะเป็นผลทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นประมาณ 26.15 กิโลกรัมต่อไร่

ช่วงความเชื่อมั่น (Confidence interval) ของ β

$$\begin{aligned} 95\% \text{ C.I.} &= b \pm t_{\alpha/2, (n-2)} S_b \\ &= 26.15 \pm (2.365)(3.6521) \\ &= 26.15 \pm 8.64 \\ &= (17.51, 34.79) \end{aligned}$$

แสดงว่าที่ความเชื่อมั่น 95% เมื่อจำนวนรวงต่อกอเพิ่มขึ้น 1 รวง ปริมาณผลผลิตข้าวจะเพิ่มขึ้นระหว่าง 17.51 ถึง 34.79 กิโลกรัมต่อไร่

การประมาณค่า Y ถ้าจำนวนรวงต่อกอ (X) เป็น 12 รวง แล้วน่าจะได้ผลผลิตข้าว

$$\begin{aligned}\hat{Y} &= 21.06 + (26.15)(12) \\ &= 334.9 \text{ กิโลกรัมต่อไร่}\end{aligned}$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง X กับ Y

$$\begin{aligned}r &= \frac{\Sigma xy}{\sqrt{(\Sigma x^2)(\Sigma y^2)}} \\ &= \frac{708.0269}{\sqrt{(27.0800)(21,040.4889)}} = 0.938^{**}\end{aligned}$$

$$r_{.05,7} = 0.666 \text{ และ } r_{.01,7} = 0.798$$

แสดงว่า จำนวนรวงมีความสัมพันธ์กับผลผลิตข้าว

Coefficient of Determination

$$r^2 = (0.938)^2 = 0.88$$

แสดงว่า เส้น regression $Y = 21.06 + 26.15X$ สามารถอธิบาย Variation ที่เกิดขึ้นทั้งหมดใน Y ได้ 88% หรืออีกนัยหนึ่งคือ 88% ของความแปรปรวนทั้งหมด อธิบายได้ด้วยเส้น regression นี้

เอกสารอ้างอิง

เอกสารประกอบคำบรรยายการฝึกอบรมสถิติ หลักสูตร การวางแผนงานทดลอง (2527) ดำเนินงาน
โดยฝ่ายวิเคราะห์ทางสถิติ กองแผนงานและวิชาการ การวางแผนงานทดลองสำหรับหลาย
ปัจจัย (หน้า 55 – 139)

Anderson, R.L. and T.A. Bancroft (1952) Statistical theory in Research. Mc Graw-Hill
Book Co, Inc. New york. 399pp.

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

Federer., W.T. (1955) Experimental Design. The Macmillan Company, New york.
543pp.

Gomez., K.A. and A.A. Gomez. (1984) Statistical Procedures for Agricultural Research.
(2nd Ed.) John Wiley and Sons, Inc. USA. 680pp.

Snedecor, G.W. and W.G. Cochran (1969) Statistical Method (6th Ed. 3rd Printing). The
Iowa State University Press Ames, Iowa. 592pp.

หลักวิชาการสถิติ

หลักสำคัญในการวางแผนการทดลอง

แบบแผนการทดลองปัจจัยเดียว

การทดสอบมากกว่าปัจจัยเดียว

สหสัมพันธ์และรีเกรสชัน

ผู้จัดทำ

วิจิตรา พลเยี่ยม

สง่า ดวงรัตน์

สุทธิราภรณ์ สิริสิงห์

เสาวนีย์ พิสิษฐพันธ์

วิจิตรา พลเยี่ยม

กรมวิชาการเกษตร



กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
เลขที่ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

www.doa.go.th