บทที่ 8
การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองแฟกทอเรียล

1. การทดลองแฟกทอเรียล

1.1 การทดลองแฟกทอเรียลที่มี 2 ปัจจัย ออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

ถ้าการทดลองหนึ่งมีตัวแปรที่เราสนใจมากกว่า 1 ตัวแปร ซึ่งมักจะเรียกตัวแปรที่สนใจในการทดลองว่าปัจจัย (factors) การทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปนี้เรียกว่า การทดลองแฟกทอเรียล มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัย เราแบ่งปัจจัยออกเป็น 2 แบบ คือ ปัจจัยกำหนด (fixed factor) และปัจจัยสุ่ม (random factor) ถ้ามีปัจจัยเดียวทรีทเมนต์คือ ระดับของปัจจัย ถ้ามีหลายปัจจัยแต่ละปัจจัยมีหลายระดับ จำนวนทรีทเมนต์คำนวณได้จากจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยคูณกัน คิดเป็นทรีทเมนต์คอมบิเนชัน

ตัวอย่างเช่น การศึกษาเรื่องอิทธิพลของการจัดการน้ำที่มีผลต่อผลผลิตของข้าว ผู้วิจัยสนใจศึกษาอิทธิพลของปัจจัย 2 ปัจจัยคือ ระดับน้ำและระยะเวลาการให้น้ำ ระดับน้ำที่เลือกใช้ในการทดลองมี 3 ระดับ คือ 5 ซม. 10 ซม. และ 15 ซม. ส่วนระยะเวลาในการให้น้ำมี 2 ระดับคือ ให้ตลอดฤดูปลูก และอีกวิธีหนึ่งรักษาน้ำในระดับผิวดินจนกระทั่งต้นข้าวมีการแตกกอสูงสุดแล้วให้น้ำและรักษาไว้ในระดับต่าง ๆ จนกระทั่งเก็บเกี่ยว คิดเป็นทรีทเมนต์คอมบิเนชันเท่ากับ $2 \times 3 = 6$ ทรีทเมนต์คอมบิเนชัน ทำการทดลอง 4 ซ้ำ หน่วยทดลองคือ แปลงขนาด 5×7 ตารางเมตร มีหน่วยทดลองทั้งหมด 24 แปลง ออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยสุ่มแปลงให้ทรีทเมนต์แต่ละแปลงจะได้รับทรีทเมนต์ใด ๆ เป็นไปโดยสุ่ม ทรีทเมนต์ละ 4 แปลง เรียกการออกแบบการทดลองนี้ว่า การทดลอง 2×3 แฟกทอเรียล (2×3 facforial experiment) ออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ วัตถุประสงค์ของการสุ่มแปลงให้ทรีทเมนต์ก็เพื่อจะกำจัดอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม ซึ่งควบคุมไม่ได้และอาจมีผลต่อผลการทดลอง เมื่อต้นข้าวมีอายุครบ 130 วัน ทำการชั่งผลผลิตข้าววัดหน่วยเป็น กก. ต่อไร่ ทำการบันทึกข้อมูลลงในแฟ้มข้อมูล Anova4.sav มีรูปแบบของข้อมูลในแฟ้มดังนี้

ตารางที่ 8.1 ข้อมูลน้ำหนักผลผลิตข้าว (กก. ต่อไร่) เมื่อมีการจัดการน้ำแตกต่างกัน

treat	twater	heigh	rep	weight	treat	twater	heigh	rep	weight
1	1	1	1	896.81	4	2	1	1	901.41
1	1	1	2	618.67	4	2	1	2	814.94
1	1	1	3	816.28	4	2	1	3	866.14
1	1	1	4	684.81	4	2	1	4	769.08
2	1	2	1	797.61	5	2	2	1	775.21
2	1	2	2	734.14	5	2	2	2	738.41
2	1	2	3	784.01	5	2	2	3	871.48
2	1	2	4	754.68	5	2	2	4	901.34
3	1	3	1	789.34	6	2	3	1	773.34
3	1	3	2	782.94	6	2	3	2	738.14
3	1	3	3	753.61	6	2	3	3	762.94
3	1	3	4	698.68	6	2	3	4	913.08

ในตัวอย่างนี้ปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยที่ทำการศึกษาเป็นปัจจัยกำหนด (fixed factor) เราให้ปัจจัยระยะเวลาการให้น้ำแทนด้วย twater มี 2 ระดับคือ 1 = ให้ตลอดฤดูปลูก , 2 = รักษาน้ำในระดับผิวดินจนต้นข้าวแตกกอแล้วให้น้ำและรักษาไว้ในระดับต่าง ๆ จนเก็บเกี่ยว ส่วนปัจจัยระดับน้ำแทนด้วย heigh มี 3 ระดับ คือ 1 = 5 ซม. , 2 = 10 ซม. , 3 = 15 ซม. สำหรับจำนวนซ้ำของการทดลองแทนด้วย rep มี 4 ซ้ำ คือ 1 = ซ้ำที่ 1 , 2 = ซ้ำที่ 2 , 3 = ซ้ำที่ 3 , 4 = ซ้ำที่ 4 สำหรับข้อมูลน้ำหนักผลผลิตของข้าวแทนด้วย weight

กรณีที่ปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยเป็นอิสระกัน วัตถุประสงค์ของการทดลองคือ ต้องการดูอิทธิพลของปัจจัยแต่ละตัวพร้อมกัน แต่เมื่อทั้ง 2 ปัจจัยนี้ไม่เป็นอิสระกันการทดลองแฟกทอเรียลจะทำให้สามารถหาอิทธิพลของปัจจัยแต่ละตัว และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้ง 2 นั้นได้ด้วย อิทธิพลของปัจจัยแต่ละตัวเรียกว่า อิทธิพลหลัก (main effects) ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้ง 2 นั้น เรียกว่า อิทธิพลร่วม หรือ ปฏิสัมพันธ์ (interaction effect) ในการทดลอง 2 × 3 แฟกทอเรียลนี้ประกอบด้วยอิทธิพลหลักของระยะเวลาการให้น้ำ (twater) และอิทธิพลหลักของระดับน้ำ (heigh) และปฏิสัมพันธ์ของ twater กับ heigh เราสามารถดูอิทธิพลหลักและปฏิสัมพันธ์ได้โดยการพล็อตกราฟซึ่งจะอธิบายต่อภายหลังในตอนพล็อตกราฟ

1.2 อิทธิพลอย่างง่าย อิทธิพลหลัก และปฏิสัมพันธ์

1.2.1 อิทธิพลอย่างง่าย (simple effects) และอิทธิพลหลัก (main effects)

การทดลองแฟกทอเรียลเป็นการทดลองที่มีปัจจัยมากกว่า 1 ปัจจัยในการทดลอง ถ้าในการทดลองนี้มี 2 ปัจจัย เป็นสถานการณ์ที่ผู้วิจัยสนใจศึกษาที่ทุกระดับของปัจจัยหนึ่ง ณ ที่ระดับหนึ่งของปัจจัยอีกตัวหนึ่ง เรียกว่าอิทธิพลอย่างง่าย (simple effects)

อิทธิพลอย่างง่ายของปัจจัยหนึ่งคือ การเปรียบเทียบระหว่างระดับของปัจจัยหนึ่ง ณ ที่ระดับหนึ่งของปัจจัยอีกตัวหนึ่ง

อิทธิพลหลัก คือ การเฉลี่ยผลบวกของอิทธิพลอย่างง่ายของปัจจัยหนึ่ง หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่เมื่อระดับของปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนไป แล้วทำให้ผลการทดลองเปลี่ยนไป

ตัวอย่างการคำนวณอิทธิพลอย่างง่ายและอิทธิพลหลักของ twater โดยอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 8.2

ตารางที่ 8.2 ข้อมูลน้ำหนักผลผลิตข้าว (กก. ต่อไร่) ที่ระดับน้ำแตกต่างกัน 3 ระดับ และระยะเวลาการให้น้ำแตกต่างกัน 2 แบบ

ระยะเวลาการให้น้ำ (twater)	ระดับน้ำ (heigh)			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
1	754.14	767.61	756.14	759.30
2	837.89	821.61	796.87	818.79
ค่าเฉลี่ย	796.02	794.61	776.51	

การคำนวณอิทธิพลอย่างง่ายของ twater คือ

ที่ heigh ระดับ 1 : อิทธิพลอย่างง่ายของ twater = 837.89 - 754.14
= 83.75

ที่ heigh ระดับ 2 : อิทธิพลอย่างง่ายของ twater = 821.61 - 767.61
= 54.00

ที่ heigh ระดับ 3 : อิทธิพลอย่างง่ายของ twater = 796.87 - 756.14
= 40.73

การคำนวณอิทธิพลหลักของ twater คือ

อิทธิพลหลัก twater $= \frac{1}{3}(83.75 + 54.00 + 40.73)$

$= 59.49$

1.2.2 ปฏิสัมพันธ์หรืออิทธิพลร่วม (interaction effect)

ในการทดลองแฟกทอเรียลที่มี 2 ปัจจัย ผู้วิจัยสนใจทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิร่วมหรือปฏิสัมพันธ์ (interaction effect) ของ 2 ปัจจัย ซึ่งการคำนวณหาอิทธิพลร่วมของปัจจัย 2 ปัจจัยนี้ต้องพิจารณาจากอิทธิพลอย่างง่าย ถ้าการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัย พบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ การสรุปผลการทดลองนี้ผู้วิจัยจะต้องพิจารณาที่ทุกระดับของปัจจัยหนึ่ง ณ ที่ระดับหนึ่งของปัจจัยอีกตัวหนึ่ง แต่ถ้าพบว่าอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัยไม่มีนัยสำคัญทางสถิติจะทำให้ผู้วิจัยสามารถอธิบายผลของการทดลองว่าเป็นผลของอิทธิพลหลักของปัจจัยเท่านั้น

อิทธิพลร่วม หรือปฏิสัมพันธ์ คือ ค่าแตกต่างของผลการทดลองระหว่างระดับของปัจจัยหนึ่งไม่เท่ากันบนทุกระดับของปัจจัยอื่น หมายความว่าปัจจัยต่าง ๆ เหล่านั้นไม่เป็นอิสระกัน ปฏิสัมพันธ์หาได้จากการเฉลี่ยผลต่างของอิทธิพลอย่างง่ายของปัจจัยหนึ่ง

ตัวอย่างการคำนวณปฏิสัมพันธ์ของ twater และ heigh โดยคำนวณจากการเฉลี่ยผลต่างของอิทธิพลอย่างง่ายของ twater

$$\text{ปฏิสัมพันธ์ twater} * \text{heigh} = \frac{1}{3}(83.75 - 54.00 - 40.73)$$
$$= -10.98$$

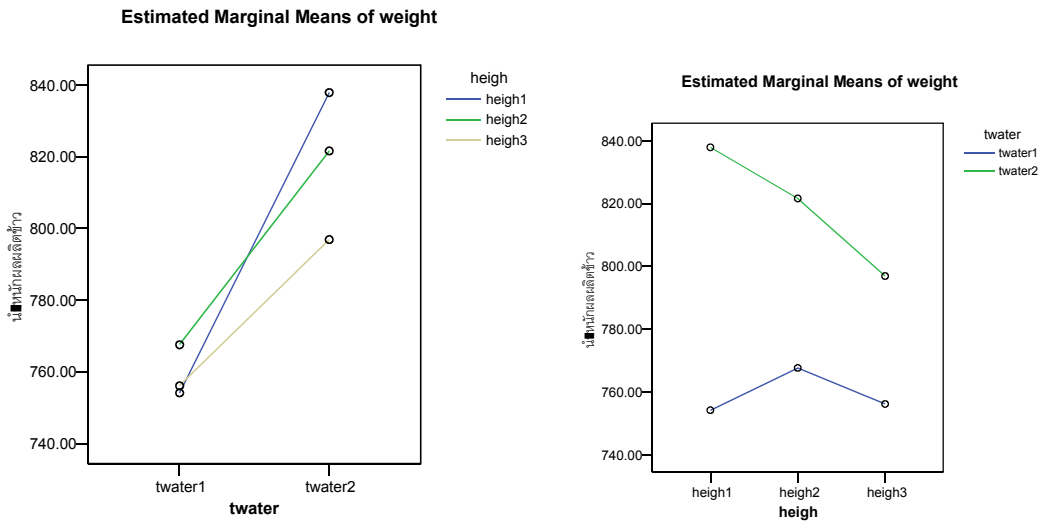
ปฏิสัมพันธ์อาจมีค่าเป็นบวก ลบ หรือศูนย์ก็ได้ ถ้ามีค่าศูนย์ หมายความว่า twater และ heigh ไม่มีอิทธิพลร่วมกันหรือเป็นอิสระกัน แต่ถ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ยังไม่สามารถสรุปได้ว่า twater และ heigh มีอิทธิพลร่วมกันหรือไม่เป็นอิสระกัน ต้องอาศัยวิธีการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับปฏิสัมพันธ์โดยที่สถิติทดสอบคือ F-test ในตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งจะอธิบายต่อไป

การพิจารณาปฏิสัมพันธ์ของปัจจัย 2 ปัจจัยนี้ สามารถดูได้จากการพล็อตกราฟของค่าเฉลี่ยที่แจกแจงตามระดับของปัจจัยแต่ละปัจจัย ซึ่งจะทำให้มองเห็นปฏิสัมพันธ์ได้ชัดเจนขึ้น

- ถ้าค่าของปฏิสัมพันธ์ของ 2 ปัจจัยนี้มีนัยสำคัญทางสถิติ กราฟเส้นจะตัดกันและมีทิศทางตรงกันข้ามกัน หมายความว่า ปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกัน หรือไม่เป็นอิสระกัน

- ถ้าค่าของปฏิสัมพันธ์ของ 2 ปัจจัยนี้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ กราฟเส้นจะค่อนข้างขนานกันหรือไปในทิศทางเดียวกัน

ตัวอย่างการพล็อตกราฟเส้นของปฏิสัมพันธ์ twater และ heigh โดยนำค่าเฉลี่ยที่แจกแจงตามระดับของปัจจัยทั้งสองในตารางที่ 8.2 มาพล็อตกราฟเส้นได้ดังภาพที่ 8.1



(ก) (ข)

ภาพที่ 8.1 ปฏิสัมพันธ์ของระยะเวลาการให้น้ำและระดับน้ำ

ภาพที่ 8.1 (ก) โดยให้แกนนอนเป็น twater และแกนตั้งเป็นน้ำหนักผลผลิตข้าว ได้กราฟเส้นของระดับน้ำ 3 ระดับ คือ $heigh_1$ $heigh_2$ และ $heigh_3$ พบว่าเส้นกราฟค่อนข้างไปในทิศทางเดียวกัน คือที่ twater ระดับ 1 ได้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักผลผลิตข้าวมีค่าน้อยทุกระดับของ heigh และที่ twater ระดับ 2 ได้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักผลผลิตข้าวมีค่ามากทุกระดับของ heigh แม้ว่าจะมีเส้นตัดกันก็ตาม

ภาพที่ 8.1 (ข) โดยให้แกนนอนเป็น heigh และแกนตั้งเป็นน้ำหนักผลผลิตข้าว ได้กราฟเส้นของระยะเวลาการให้น้ำ 2 ระดับ คือ $twater_1$ และ $twater_2$ พบว่าเส้นกราฟค่อนข้างไปในทิศทางเดียวกันคือที่ heigh ระดับ 1, 2 และ 3 ได้ค่าเฉลี่ย

ของน้ำหนักผลผลิตข้าวมีค่าน้อยสำหรับระยะเวลาการให้น้ำแบบที่ 1 และได้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักผลผลิตข้าวมีค่ามากกว่าสำหรับระยะเวลาการให้น้ำแบบที่ 2

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองแฟกทอเรียลที่ออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

2.1 ตัวแบบสถิติของการทดลอง

ตัวแบบทางสถิติที่มีปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย เป็นปัจจัยกำหนด ผู้วิจัยต้องการศึกษาอิทธิพลหลักของปัจจัยแต่ละตัว และปฏิสัมพันธ์ของ 2 ปัจจัยนั้น และในการทดลองออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ตัวแบบทางสถิติหรือโมเดล (model) คือ

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$
$$; \ i = 1, 2, \ldots, a \ ; \ j = 1, 2, \ldots, b \ ; \ k = 1, 2, \ldots, n$$

เมื่อ y_{ijk} คือ ค่าสังเกตของน้ำหนักผลผลิตข้าวที่ระดับ ijk

μ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมด

τ_i คือ อิทธิพลหลักของระยะเวลาการให้น้ำที่ระดับ i

β_j คือ อิทธิพลหลักของระดับน้ำที่ระดับ j

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ อิทธิพลร่วมหรือปฏิสัมพันธ์ระหว่าง τ_i และ β_j

ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่มของการทดลองที่ระดับ ijk

a คือ จำนวนระดับของระยะเวลาการให้น้ำ

b คือ จำนวนระดับของระดับน้ำ

n คือ จำนวนซ้ำของการทดลอง

ข้อตกลงเบื้องต้นของตัวแบบที่มีปัจจัยกำหนดคือ

$$\sum_{i=1}^{a} \tau_i = 0 \ , \ \sum_{j=1}^{b} \beta_j = 0 \ , \ \sum_{i=1}^{a} (\tau\beta)_{ij} = 0 \ , \ \sum_{j=1}^{b} (\tau\beta)_{ij} = 0$$

2.2 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักและปฏิสัมพันธ์

ปัจจัยที่เราสนใจศึกษามี 2 ปัจจัยคือ twater และ heigh สมมติฐานทางสถิติที่ต้องการทดสอบคือ

1. ทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักของปัจจัย twater คือ

$H_0 : \tau_i = 0$ คู่กับ $H_1 : \tau_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า ; $i = 1, 2$

สถิติทดสอบคือ $F_0 = \frac{MS\ twater}{MSE}$

มีการแจกแจงแบบ F และจำนวนชั้นอิสระเท่ากับ $(a - 1)$ และ $ab(n - 1)$

2. ทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักของปัจจัย heigh คือ

$H_0 : \beta_j = 0$ คู่กับ $H_1 : \beta_j \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า ; $j = 1, 2, 3$

สถิติทดสอบคือ $F_0 = \frac{MS\ heigh}{MSE}$

มีการแจกแจงแบบ F และจำนวนชั้นอิสระเท่ากับ $(b - 1)$ และ $ab(n - 1)$

3. ทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับปฏิสัมพันธ์ของ 2 ปัจจัย คือ

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$ ทุก i, j คู่กับ $H_1 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า

สถิติทดสอบคือ $F_0 = \frac{MS\ (twater)(heigh)}{MSE}$

มีการแจกแจงแบบ F และจำนวนชั้นอิสระเท่ากับ $(a - 1)(b - 1)$ และ $ab(n - 1)$

2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง

ขั้นตอนการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง

(1) ตรวจสอบข้อมูลว่าเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือไม่

(2) ทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักและปฏิสัมพันธ์

3. การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น

จากตัวอย่างการศึกษาเรื่องอิทธิพลของการจัดการน้ำที่มีผลต่อผลผลิตของข้าว ต้องการตรวจสอบข้อมูลน้ำหนักผลผลิตข้าว (weight) ว่าเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนเกี่ยวกับความเป็นปกติ และความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่ม เราใช้การทดสอบ Kolmogorov-Smirnov Test ในการทดสอบเกี่ยวกับความเป็นปกติ และใช้การทดสอบ Levene Test ในการทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน

เนื่องจากตัวอย่างการทดลองนี้เป็นการทดลอง 2×3 แฟกทอเรียล คิดเป็นทรีทเมนต์คอมบิเนชันได้เท่ากับ 6 ทรีทเมนต์ ทำการทดลอง 4 ซ้ำ นั่นคือมีกลุ่มตัวอย่าง 6 กลุ่ม กลุ่มละ 4 หน่วยทดลอง ผู้วิจัยแทนทรีทเมนต์ด้วยตัวแปร treat แทนระยะเวลาการให้น้ำด้วยตัวแปร twater แทนระดับน้ำด้วยตัวแปร heigh และแทนจำนวนซ้ำของการทดลองด้วยตัวแปร rep ดังนั้นการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับความเป็นปกติ และความเท่ากันของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 6 กลุ่ม ทำได้โดยอาศัยคำสั่ง Explore รายละเอียดการใช้คำสั่งอธิบายไว้แล้วในบทที่ 5 หัวข้อ 4.3 ในที่นี้จะอธิบายซ้ำอีกแบบกระชับคือ

- ในหน้าต่าง Explore คลิกเลือกตัวแปร weight ให้ย้ายเข้าไปอยู่ในช่อง Dependent List : แล้วคลิกที่ตัวแปร treat ให้ย้ายเข้าไปอยู่ในช่อง Factor List : ที่กรอบ Display คลิกที่ O Both เพื่อให้แสดงทั้งค่าสถิติและการพล็อตกราฟ

- คลิกปุ่ม Statistics... จะได้หน้าต่าง Explore : Statistics แล้วเลือกคลิกที่ ☐ Descriptives เพื่อจะได้ค่าสถิติพรรณนาของข้อมูล weight แล้วคลิกปุ่ม continue หน้าต่างนี้จะถูกปิดไป

- คลิกปุ่ม Plots ... จะได้หน้าต่าง Explore : Plots แล้วคลิกเลือกที่ ☐ Normality plots with tests ในกรอบ Spread vs. Level with Levene Test เลือกคลิกที่ O Untransformed แล้วคลิกปุ่ม Continue หน้าต่างนี้จะถูกปิดไป

ในหน้าต่าง Explore คลิกที่ปุ่ม OK จะได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 8.2

Explore
treat

Case Processing Summary

		Cases					
		Valid		Missing		Total	
	treat	N	Percent	N	Percent	N	Percent
weight	1	4	100.0%	0	.0%	4	100.0%
	2	4	100.0%	0	.0%	4	100.0%
	3	4	100.0%	0	.0%	4	100.0%
	4	4	100.0%	0	.0%	4	100.0%
	5	4	100.0%	0	.0%	4	100.0%
	6	4	100.0%	0	.0%	4	100.0%

Descriptives

	treat			Statistic	Std. Error
weight	1	Mean		754.1425	62.83
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	554.1819	
			Upper Bound	954.1031	
		5% Trimmed Mean		753.7428	
		Median		750.5450	
		Variance		15791.626	
		Std. Deviation		125.66474	
		Minimum		618.67	
		Maximum		896.81	
		Range		278.14	
		Interquartile Range		241.47	
		Skewness		.109	1.014
		Kurtosis		-2.952	2.619
	2	Mean		767.6100	14.31
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	722.0778	
			Upper Bound	813.1422	
		5% Trimmed Mean		767.8028	
		Median		769.3450	
		Variance		818.795	
		Std. Deviation		28.61460	
		Minimum		734.14	
		Maximum		797.61	
		Range		63.47	
		Interquartile Range		54.94	
		Skewness		-.235	1.014
		Kurtosis		-2.735	2.619
	3	Mean		756.1425	20.67
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	690.3514	
			Upper Bound	821.9336	
		5% Trimmed Mean		757.4906	
		Median		768.2750	
		Variance		1709.511	
		Std. Deviation		41.34623	
		Minimum		698.68	
		Maximum		789.34	
		Range		90.66	
		Interquartile Range		75.33	
		Skewness		-1.263	1.014
		Kurtosis		.909	2.619
	4	Mean		837.8925	29.00
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	745.5907	
			Upper Bound	930.1943	
		5% Trimmed Mean		838.1867	
		Median		840.5400	
		Variance		3364.790	
		Std. Deviation		58.00681	
		Minimum		769.08	
		Maximum		901.41	
		Range		132.33	
		Interquartile Range		112.05	
		Skewness		-.202	1.014
		Kurtosis		-1.837	2.619
	5	Mean		821.6100	38.64
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	698.6317	
			Upper Bound	944.5883	
		5% Trimmed Mean		821.8028	
		Median		823.3450	
		Variance		5973.030	
		Std. Deviation		77.28538	
		Minimum		738.41	
		Maximum		901.34	
		Range		162.93	
		Interquartile Range		146.26	
		Skewness		-.065	1.014
		Kurtosis		-4.237	2.619
	6	Mean		796.8750	39.43
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	671.3838	
			Upper Bound	922.3662	
		5% Trimmed Mean		793.6822	
		Median		768.1400	
		Variance		6219.628	
		Std. Deviation		78.86462	
		Minimum		738.14	
		Maximum		913.08	
		Range		174.94	
		Interquartile Range		133.80	
		Skewness		1.787	1.014
		Kurtosis		3.379	2.619

Tests of Normality

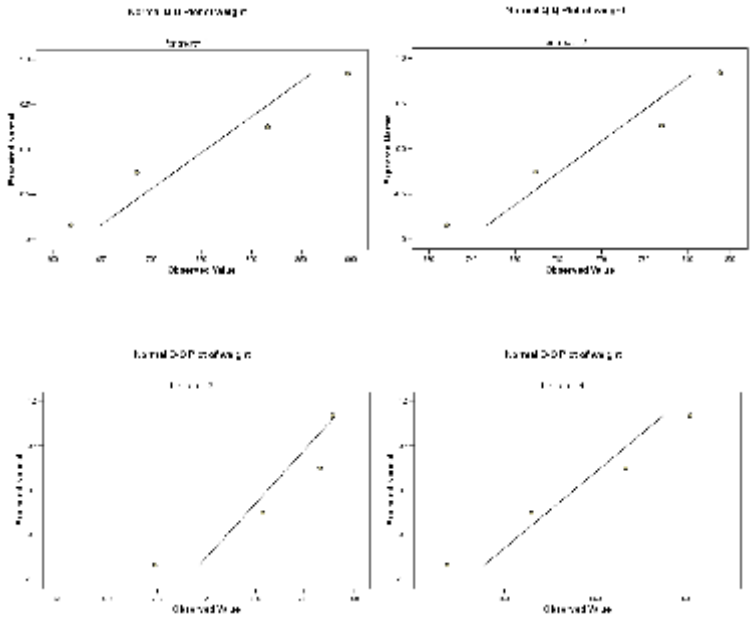
		Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	treat	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
weight	1	.209	4	.	.958	4	.766
	2	.217	4	.	.958	4	.764
	3	.242	4	.	.880	4	.339
	4	.187	4	.	.980	4	.902
	5	.241	4	.	.914	4	.505
	6	.367	4	.	.797	4	.097

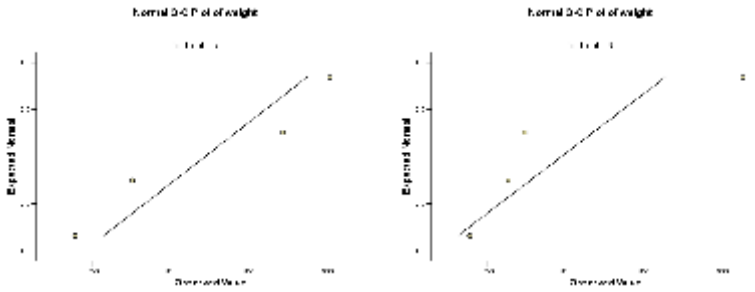
a. Lilliefors Significance Correction

Test of Homogeneity of Variance

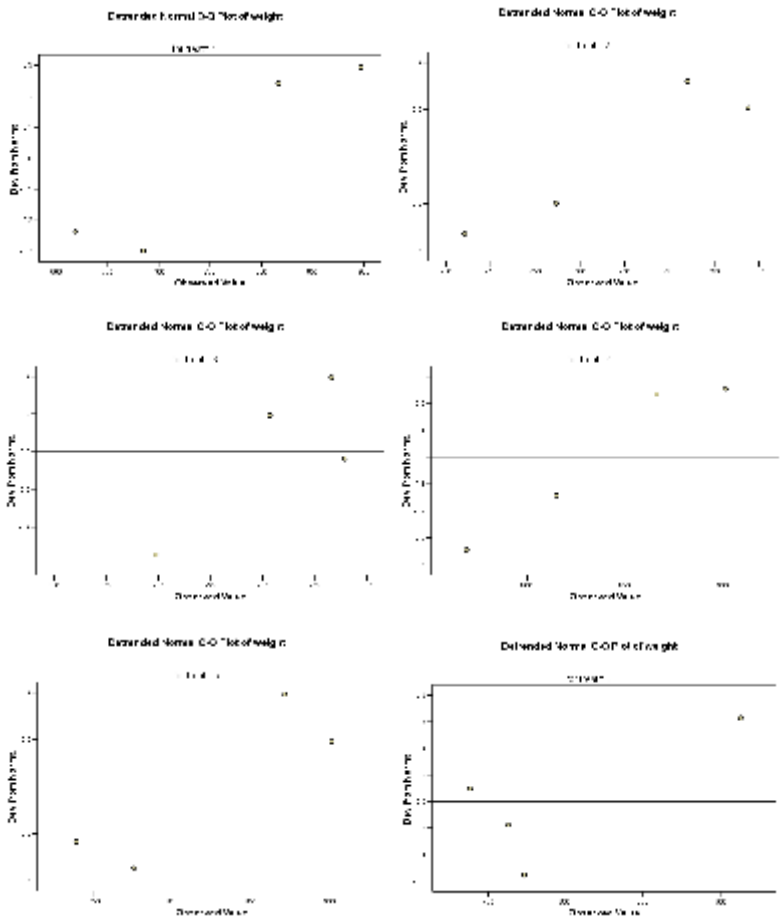
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
weight	Based on Mean	3.849	5	18	.015
	Based on Median	2.440	5	18	.074
	Based on Median and with adjusted df	2.440	5	8.022	.126
	Based on trimmed mean	3.652	5	18	.019

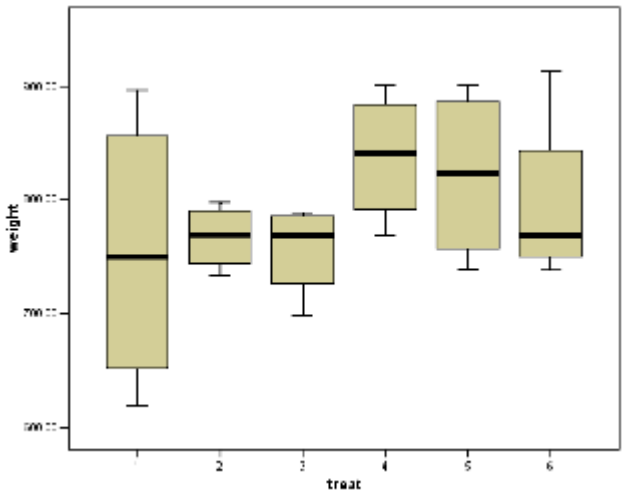
Normal Q-Q Plots

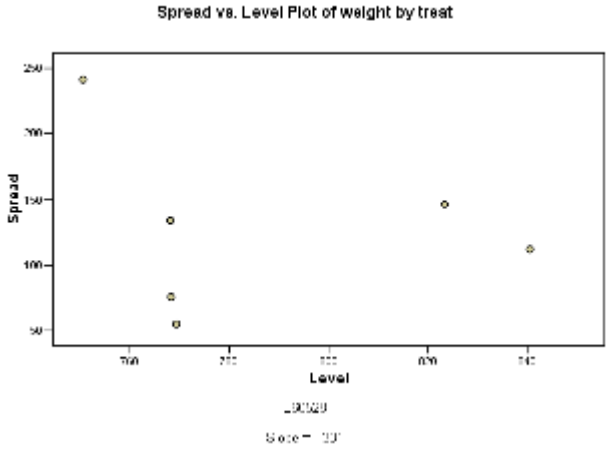




Detrended Normal Q-Q Plots







ภาพที่ 8.2

ผลลัพธ์ที่ได้คือ

1. สรุปจำนวนตัวอย่างในแต่ละทรีทเมนต์เท่ากับ 4 ทุกทรีทเมนต์ดูในตาราง Case Processing Summary

2. ค่าสถิติพรรณนาของข้อมูล weight ในแต่ละทรีทเมนต์ทั้ง 6 ทรีทเมนต์ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย 95% ช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย , ค่าความแปรปรวน , ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย เป็นต้น ดูในตาราง Descriptives

3. ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล weight ในแต่ละทรีทเมนต์ทั้ง 6 ทรีทเมนต์ โดยใช้การทดสอบ Kolmogorov-Smirnov ดูในตาราง Tests of

Normality ดูที่ค่า Sig. ถ้าค่า Sig. น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด $\alpha = .05$ จะปฏิเสธสมมติฐานที่ว่าผลผลิตของข้าวของระบบการจัดการน้ำแต่ละแบบมีการแจกแจงแบบปกติ ตัวอย่างเช่น สำหรับระบบการจัดน้ำแบบที่ 1 ดูที่ตัวแปร treat ที่ระดับ 1 ค่าสถิติทดสอบเท่ากับ .209 ถ้าค่า Sig. น้อยกว่า .05 จะปฏิเสธ H_0 : ผลผลิตของข้าวของระบบการจัดการน้ำแบบที่ 1 มีการแจกแจงแบบปกติ แต่ในที่นี้ไม่สามารถคำนวณค่า Sig. ได้อาจเป็นเพราะขนาดของกลุ่มตัวอย่างเล็กมากคือเท่ากับ 4 เท่านั้น

4. ผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูล weight ในแต่ละทรีทเมนต์ ทั้ง 6 ทรีทเมนต์ โดยใช้การทดสอบ Levene ดูในตาราง Test of Homogeneity of Variance ดูที่บรรทัด Based on Mean ได้ค่าสถิติ Levene Statistic เท่ากับ 3.849 ค่า Sig. เท่ากับ .015 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด $\alpha = .05$ จึงตัดสินใจปฏิเสธสมมติฐานที่ว่า H_0 : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2 = \sigma_6^2$ สรุปว่าน้ำหนักผลผลิตข้าวของระบบการให้น้ำอย่างน้อย 1 วิธี มีความแปรปรวนแตกต่างจากระบบการให้น้ำแบบอื่น ๆ นั่นคือ ไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวน อาจเป็นเพราะ (1) อิทธิพลของทรีทเมนต์มีความผิดพลาดรวมอยู่ด้วย (2) การแจกแจงของข้อมูล weight ไม่เป็นแบบปกติคือ มีความเบ้ อาจใช้วิธีการทรานส์ฟอร์มหรือแปลงข้อมูล (Transformation) เพื่อช่วยให้ความแปรปรวนของข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น และทำให้การแจกแจงของข้อมูลเข้าใกล้การแจกแจงแบบปกติ ซึงการ ทรานส์ฟอร์มข้อมูลนี้จะต้องทำก่อนการวิเคราะห์ความแปรปรวน

5. ภาพการพล็อตกราฟความเป็นปกติของข้อมูล weight ของแต่ละทรีทเมนต์ทั้ง 6 ทรีทเมนต์ ดูที่ภาพการพล็อตกราฟ Normal Q-Q Plot of weight ซึ่งเป็นการพล็อตระหว่างค่าสังเกต และค่าคาดหวังว่าตัวอย่างถูกสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ ถ้าการพล็อตได้จุดต่าง ๆ อยู่ใกล้ ๆ เส้นตรง แสดงว่าตัวอย่างถูกสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ

สำหรับภาพ Detrended Normal Q-Q Plot of WEIGHT ของแต่ละทรีทเมนต์ ทั้ง 6 ทรีทเมนต์ เป็นกราฟที่แสดงค่าเบี่ยงเบนหรือค่าแตกต่างระหว่างค่าสังเกตกับค่าที่คาดหวังว่าตัวอย่างถูกสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ ถ้าค่าแตกต่างมีค่ารอบ ๆ ศูนย์อย่างสุ่มแสดงว่าข้อมูลตัวอย่างมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ

6. ภาพ Boxplots ของน้ำหนักผลผลิตข้าว (weight) แยกตามระบบการจัดการน้ำ (treat) เพื่อเปรียบเทียบค่ากลางและการกระจายทั้ง 6 ทรีทเมนต์ พบว่าน้ำหนักผลผลิตข้าวของระบบการจัดการน้ำแบบที่ 1 มีความสมมาตรและมีการกระจายมากที่สุด รองลงมาคือแบบที่ 5 และ 4 ตามลำดับ ส่วนระบบการจัดการน้ำแบบที่ 2 มีการกระจายน้อยที่สุด ส่วนระบบการจัดการน้ำแบบที่ 6 แสดงว่าน้ำหนักผลผลิตข้าวมีความเบ้ขวา ส่วนระบบการจัดการน้ำแบบที่ 3 แสดงว่าน้ำหนักผลผลิตข้าวมีความเบ้ซ้าย

7. ภาพ Spread vs. Level Plot of WEIGHT By TREAT เพื่อคำนวณหาค่าประมาณของกำลังของการแปลง (power for transformation) ข้อมูลซึ่งในที่นี้ไม่แสดงค่า

4. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักและปฏิสัมพันธ์

จากตัวอย่างการศึกษาเรื่องอิทธิพลของการจัดการน้ำที่มีผลต่อผลผลิตของข้าว ผู้วิจัยต้องการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของน้ำหนักผลผลิตข้าวที่ได้รับระบบการจัดการน้ำแตกต่างกัน 6 แบบ ซึ่งมีปัจจัยที่สนใจในการศึกษา 2 ปัจจัยคือ ระยะเวลาการให้น้ำ (twater) และระดับน้ำ (high) ดังนั้นอิทธิพลของทรีทเมนต์ประกอบด้วยอิทธิพลหลักของ twater และ heigh และอาจมีอิทธิพลร่วมหรือปฏิสัมพันธ์ระหว่าง twater และ heigh ร่วมอยู่ด้วย ผู้วิจัยจึงต้องทดสอบ ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัยนี้ก่อนเพื่อดูว่าทั้ง 2 ปัจจัยนี้เป็นอิสระกันหรือไม่ สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ H_0 : ระยะเวลาการให้น้ำและระดับน้ำไม่มีปฏิสัมพันธ์กันหรือเป็นอิสระกัน คู่กับ H_1 : ระยะเวลาการให้น้ำและระดับน้ำมีปฏิสัมพันธ์กันหรือไม่เป็นอิสระกัน ถ้าผลการทดสอบพบว่าทั้ง 2 ปัจจัยนี้ไม่มีปฏิสัมพันธ์กันก็จะทำให้การแปลผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักของระยะเวลาการให้น้ำและระดับน้ำได้ง่าย ๆ แต่ถ้าพบว่าทั้ง 2 ปัจจัยนี้มีปฏิสัมพันธ์กันหรือไม่เป็นอิสระกัน การแปลผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักก็จะทำได้ยาก สมมติฐานหลักที่ต้องการทดสอบของทั้ง 2 ปัจจัยนี้คือ (1) H_0 : ไม่มีอิทธิพลของระยะเวลาการให้น้ำต่อน้ำหนักผลผลิตข้าว คู่กับ H_1 : มีอิทธิพลของระยะเวลาการให้น้ำต่อน้ำหนักผลผลิตข้าว และ (2) H_0 : ไม่มีอิทธิพลของระดับน้ำต่อน้ำหนักผลผลิตข้าว คู่กับ H_1 : มีอิทธิพลของระดับน้ำต่อน้ำหนักผลผลิตข้าว

5. การใช้คำสั่งในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักและปฏิสัมพันธ์

ขั้นตอนการใช้คำสั่ง **General Linear Model** แบบ **Univariate**

1. ไปที่เมนูบาร์ คลิกที่ Analyze , General Linear Model , Univariate จะได้หน้าต่าง Univariate

2. ในหน้าต่าง Univariate คลิกที่ตัวแปรตาม weight ให้ย้ายเข้าไปอยู่ในช่อง Dependent Variable : และคลิกที่ตัวแปร twater และ heigh ให้ย้ายเข้าไปอยู่ในช่อง Fixed Factor(s) :

คลิกที่ปุ่ม Model ... จะได้หน้าต่าง Univariate : Model

คลิกที่ปุ่ม Plots ... จะได้หน้าต่าง Univariate : Profile Plots

คลิกที่ปุ่ม Post Hoc... จะได้หน้าต่าง Univariate : Post Hoc Multiple Comparisons for observed Means

คลิกที่ปุ่ม Options... จะได้หน้าต่าง Univariate : Options

3. ในหน้าต่าง Univariate : Model

ในกรอบ Specify Model คลิกเลือกที่ O full factorial เพราะต้องการตัวแบบของการทดลองนี้แบบเต็ม คือ ประกอบด้วยเทอมของอิทธิพลหลักของทั้ง 2 ปัจจัย และปฏิสัมพันธ์ของ 2 ปัจจัยนี้ คือ $y_{ijk} = \text{grand mean} + (\text{twater})_i + (\text{heigh})_j + [(\text{twater})(\text{heigh})]_{ij} + \varepsilon_{ijk}$ ซึ่งโดยปกติโปรแกรมจะกำหนดให้แล้ว

ที่คำสั่ง Sum of squares : เลือก Type III ซึ่งโดยปกติโปรแกรมจะกำหนดให้แล้ว

แล้วคลิกปุ่ม Continue หน้าต่างนี้จะถูกปิดไป

4. ในหน้าต่าง Univariate : Profile Plots

คลิกที่ตัวแปร twater ให้ย้ายเข้าไปอยู่ในช่อง Horizontal Axis :

คลิกที่ตัวแปร heigh ให้ย้ายเข้าไปอยู่ในช่อง Separate Lines :

แล้วคลิกที่ปุ่ม Add เพื่อสร้างกราฟแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร twater และ heigh

คลิกที่ปุ่ม Continue หน้าต่างนี้จะถูกปิดไป

5. ในหน้าต่าง Univariate : Post Hoc Multiple Comparisons for Observed Means

ในช่องของ Factor(s) : คลิกที่ตัวแปร twater และ heigh ให้ย้ายเข้าไปอยู่ในช่องของ Post Hoc Tests for :

ในกรอบของ Equal Variances Not Assumed เนื่องจากผลของการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับความเท่ากันของความแปรปรวนในหัวข้อ 3 การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นพบว่าปฏิเสธ H_0 ที่ว่าน้ำหนักผลผลิตข้าวที่ได้รับระบบการให้น้ำแตกต่างกัน 6 วิธี มีความแปร ปรวนเท่ากันทุกกลุ่ม นั่นคือ ไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ถ้าข้อตกลงเบื้องต้นเป็นจริงจะทำให้การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักและปฏิสัมพันธ์ที่ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนในการทดสอบมีความถูกต้อง ถ้าไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะมีผลกระทบ 2 อย่าง คือ (1) ระดับนัยสำคัญ (2) ความไวของการทดสอบ F และการทดสอบ t และเป็นผลให้การประมาณอิทธิพลของทรีทเมนต์ผิดพลาดไปด้วย ดังนั้นจึงอาจทำให้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ได้ต่อไปนี้มีข้อสงสัยเกี่ยวกับความถูกต้อง

กรณีเช่นนี้โปรแกรม SPSS มีวิธีการให้เลือกสำหรับ post hoc test 4 วิธีคือ (1) Tamhane's T2 (2) Dunnett's T3 , (3) Games-Howell , และ (4) Dunnett's C ซึ่งวิธีของ Tamhane's T2 เป็นวิธีดั้งเดิม ส่วนวิธีของ Dunnett's T3 และ C มีการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภท I (type I error) อย่างมาก และวิธีของ Games-Howell มีพลังของการทดสอบมากที่สุด และใช้ได้สำหรับกรณีที่กลุ่มตัวอย่างมีขนาดไม่เท่ากัน แต่ไม่เหมาะสำหรับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ในที่นี้เลือกวิธี ☐ Tamhane's T2 เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์

คลิกที่ปุ่ม Continue หน้าต่างนี้จะถูกปิดไป

6 ในหน้าต่าง Univariate : Options

ในกรอบ Estimated Marginal Means คลิกเลือกตัวแปร twater , heigh , twater*heigh ให้ย้ายเข้าไปอยู่ในช่อง Display Mean for : เพื่อให้ประมาณค่าเฉลี่ยของปัจจัยทุกตัวและปฏิสัมพันธ์ของปัจจัย

ในกรอบ Display ถ้าคลิกเลือก ☐ Descriptive statistics จะได้ค่าสถิติพรรณนา เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น ถ้าคลิกที่ ☐ Homogeneity tests จะได้สถิติทดสอบ Levene test ในการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่ม

คำสั่ง Significance level : ใช้สำหรับกำหนดระดับนัยสำคัญที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

คลิกปุ่ม continue หน้าต่างนี้จะถูกปิดไป

7. ในหน้าต่าง Univariate คลิกปุ่ม OK จะได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 8.3

Univariate Analysis of Variance

Warnings

Post hoc tests are not performed for twater because there are fewer than three groups.

Between-Subjects Factors

		N
twater	1	12
	2	12
heigh	1	8
	2	8
	3	8

Descriptive Statistics

Dependent Variable: weight

twater	heigh	Mean	Std. Deviation	N
1	1	754.1425	125.66474	4
	2	767.6100	28.61460	4
	3	756.1425	41.34623	4
	Total	759.2983	70.95600	12
2	1	837.8925	58.00681	4
	2	821.6100	77.28538	4
	3	796.8750	78.86462	4
	Total	818.7925	67.47716	12
Total	1	796.0175	101.06389	8
	2	794.6100	61.18762	8
	3	776.5088	62.22733	8
	Total	789.0454	74.22190	24

Levene's Test of Equality of Error Variances [a]

Dependent Variable: weight

F	df1	df2	Sig.
3.849	5	18	.015

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept+twater+heigh+twater * heigh

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: weight

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	25072.338[a]	5	5014.468	.888	.509
Intercept	14942224.070	1	14942224.070	2646.407	.000
twater	21237.335	1	21237.335	3.761	.068
heigh	1893.940	2	946.970	.168	.847
twater * heigh	1941.063	2	970.531	.172	.843
Error	101632.141	18	5646.230		
Total	15068928.549	24			
Corrected Total	126704.479	23			

a. R Squared = .198 (Adjusted R Squared = -.025)

Estimated Marginal Means

1. twater

Dependent Variable: weight

twater	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1	759.298	21.691	713.726	804.870
2	818.792	21.691	773.220	864.365

2. heigh

Dependent Variable: weight

heigh	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1	796.018	26.566	740.203	851.832
2	794.610	26.566	738.796	850.424
3	776.509	26.566	720.695	832.323

3. twater * heigh

Dependent Variable: weight

twater	heigh	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval Lower Bound	95% Confidence Interval Upper Bound
1	1	754.143	37.571	675.209	833.076
	2	767.610	37.571	688.677	846.543
	3	756.143	37.571	677.209	835.076
2	1	837.893	37.571	758.959	916.826
	2	821.610	37.571	742.677	900.543
	3	796.875	37.571	717.942	875.808

Post Hoc Tests
heigh

Multiple Comparisons

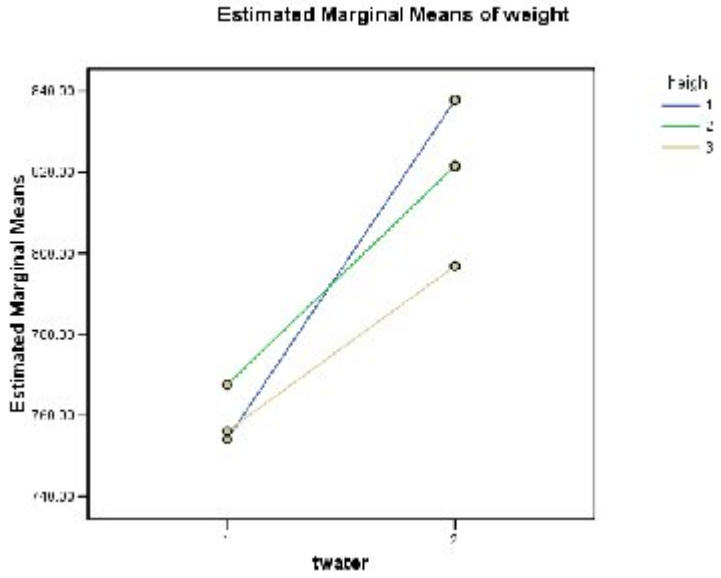
Dependent Variable: weight

Tamhane

(I) heigh	(J) heigh	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval Lower Bound	95% Confidence Interval Upper Bound
1	2	1.4075	41.76996	1.000	-115.0663	117.8813
	3	19.5087	41.96152	.957	-97.3058	136.3233
2	1	-1.4075	41.76996	1.000	-117.8813	115.0663
	3	18.1012	30.85483	.919	-65.4901	101.6926
3	1	-19.5087	41.96152	.957	-136.3233	97.3058
	2	-18.1012	30.85483	.919	-101.6926	65.4901

Based on observed means.

Profile Plots



ภาพที่ 8.3

ผลลัพธ์ที่ได้คือ

1. คำเตือน (warnings) ว่าไม่ได้ทำการทดสอบ Posthoc tests สำหรับปัจจัย twater เพราะมีน้อยกว่า 3 กลุ่ม

2. สรุปขนาดของกลุ่มตัวอย่างในปัจจัย twater และ heigh แยกตามระดับของปัจจัย ดูในตาราง Between – Subjects Factors

3. ค่าสถิติพรรณนาของข้อมูล weigh ในแต่ละทรีทเมนต์ ทั้ง 6 ทรีทเมนต์ มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน คิดจากกลุ่มตัวอย่างขนาด 4

4. ผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูล weight ในแต่ละทรีทเมนต์ ทั้ง 6 ทรีทเมนต์ โดยใช้การทดสอบ Levene ดูในตาราง Levene's Test of Equality of Error Variances ซึ่งได้อธิบายแล้วในหัวข้อที่ 3 การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น

5. ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักและปฏิสัมพันธ์ ดูในตาราง Tests of Between – Subjects Effects

ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการให้น้ำกับระดับน้ำ ดูที่บรรทัด TWATER * HEIGH ได้ค่าสถิติ F เท่ากับ .172 ค่า Sig. เท่ากับ .843 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด $\alpha = .05$ จึงยอมรับ H_0 : ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการให้น้ำกับระดับน้ำ หรือระยะเวลาการให้น้ำกับระดับน้ำเป็นอิสระกัน หรืออาจมีอิทธิพลร่วมกันบ้างเล็กน้อยเท่านั้น ดูภาพปฏิสัมพันธ์ของ 2 ปัจจัยนี้ได้จากภาพ Profile Plots ของ Estimated Marginal Means of WEIGHT ระหว่างตัวแปร twater กับตัวแปร heigh ที่แสดงว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักผลผลิตข้าวที่ระดับความสูงของน้ำทั้ง 3 ระดับ มีค่าต่ำที่ระยะเวลาการให้น้ำระดับ 1 และมีค่าสูงที่ระยะเวลาการให้น้ำระดับ 2

ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักของระยะเวลาการให้น้ำ ดูที่บรรทัด TWATER ได้ค่าสถิติ F เท่ากับ 3.761 ค่า Sig. เท่ากับ .068 ซึ่งมากกว่า .05 จึงยอมรับ H_0 : ไม่มีอิทธิพลของระยะเวลาการให้น้ำต่อน้ำหนักผลผลิตของข้าว

ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักของระดับน้ำ ดูที่บรรทัด HEIGH ได้ค่าสถิติ F เท่ากับ .168 ค่า Sig. เท่ากับ .847 มากกว่า .05 จึงยอมรับ H_0 : ไม่มีอิทธิพลของระดับน้ำต่อน้ำหนักผลผลิตของข้าว

6. ค่าเฉลี่ย ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย และ 95% ช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยของข้อมูล weigh แยกตามตัวแปร twater , heigh , และ twater*heigh ในตาราง 1. TWATER , 2. HEIGH , 3. TWATER*HEIGH

7. ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ต่าง ๆ ตามวิธีของ Tamhane's T2 ดูใน ตาราง Multiple Comparisons จะมีเฉพาะตัวแปร heigh เท่านั้น ไม่มีการเปรียบเทียบสำหรับตัวแปร twater เพราะตัวแปร twater มีเพียง 2 ระดับเท่านั้น ดูได้จากคำเตือนตอนต้นของผลลัพธ์ที่ Warnings

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนักผลผลิตข้าวสำหรับตัวแปร heigh ทั้ง 3 ระดับ โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เป็นรายคู่ของประชากรแต่ละกลุ่ม พบว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทุกคู่ เนื่องจากผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักของปัจจัย heigh สรุปมาแล้วว่าไม่มีอิทธิพลของระดับน้ำต่อน้ำหนักผลผลิตของข้าว

แบบฝึกหัดบทที่ 8

จงตอบคำถามต่อไปนี้ข้อ 1 และ 2

ก. จงตรวจสอบว่าตัวแปรตามในแต่ละทรีทเมนต์เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือไม่

ข. จงทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่สนใจศึกษา และสรุปผลการทดลองที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = .05$

ค. จงใช้วิธีของดันแคนเปรียบเทียบทรีทเมนต์ทั้งหมด ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = .05$

ง. จงสร้างกราฟแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สนใจศึกษา 2 ตัวแปร

1. การศึกษาเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพของโพแทสเซียมในปุ๋ยเคมีโดยใช้อินทรีย์วัตถุกับดินร่วนปนทรายของภาคตะวันออก (ชุดดินหุบกระพง) วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของโพแทสเซียมในปุ๋ยเคมี เมื่อใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับอินทรีย์วัตถุในการปลูกข้าวโพดในดินร่วนปนทรายในชุดดินหุบกระพงของภาคตะวันออก ผู้วิจัยสนใจศึกษาโพแทสเซียม (K) 2 ระดับ คือ ไม่ใส่ (K_0) และใส่โพแทสเซียม (K_1) 0.7783 กรัม ต่อดิน 16 ลิตร (หรือต่อกระถาง) และสนใจศึกษาอินทรีย์วัตถุ 3 ระดับ คือ ไม่ใส่อินทรีย์วัตถุ (OM_0) ใส่อินทรีย์วัตถุร้อยละ 2.5 โดยปริมาตรดิน (OM_1) และใส่อินทรีย์วัตถุร้อยละ 5 โดยปริมาตรดิน (OM_2) ดำเนินการทดลองโดยเก็บตัวอย่างดินบนลึก 0-20 เซนติเมตร โดยเก็บมา 600 กิโลกรัม บรรจุดินในกระถางปลูก 36 ใบ ๆ ละ 16 ลิตร ปลูกข้าวโพดพันธ์ลูกผสม 2602 ในกระถางปลูก สุ่มกระถางปลูก 6 กระถางให้ได้รับทรีทเมนต์คอมบิเนชันที่ 1 สุ่มอีก 6 กระถางให้ได้รับทรีทเมนต์คอมบิเนชันที่ 2 ทำต่อไปเรื่อย ๆ จนครบทุกทรีทเมนต์คอมบิเนชันเก็บข้อมูลโดยวัดโพแทสเซียมที่ข้าวโพดดูดกินวัดเป็นกรัม K ต่อกระถางได้ข้อมูลดังตาราง

ตาราง ปริมาณโพแทสเซียมที่ข้าวโพดดูดกิน (กรัม K ต่อกระถาง) เมื่อใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับอินทรีย์วัตถุแตกต่างกัน

ตำรับการทดลอง	ซ้ำ					
	1	2	3	4	5	6
K_0OM_0	0.711	0.602	0.854	1.114	0.820	0.933
K_1OM_0	1.397	1.437	1.668	1.644	1.760	1.864
K_0OM_1	1.073	0.972	1.249	1.512	1.416	1.371
K_1OM_1	1.437	1.792	1.803	2.039	2.406	1.977
K_0OM_2	0.990	1.010	1.029	1.452	1.041	1.257
K_1OM_2	1.805	2.018	1.820	2.001	1.901	2.329

2. การศึกษาเรื่องผลของสารพาโคลบิวทราโซลที่มีต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาผลผลิตและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.1 ในฤดูฝน วัตถุประสงค์ข้อหนึ่งคือ เพื่อศึกษาผลของสารพาโคลบิวทราโซลและระยะการฉีดพ่นต่อผลผลิตของถั่วเหลืองพันธ์ สจ.1 ผู้วิจัยสนใจศึกษาการใช้สารพาโคลบิวทราโซล 3 อัตรา คือ 0, 500 และ 1000 กรัม สารออกฤทธิ์ต่อ เฮกตาร์ และสนใจศึกษาระยะการฉีดพ่นสารพาโคลบิวทราโซล 3 ระยะ คือ ระยะเริ่มออกดอก ระยะเริ่มติดฝัก และระยะเริ่มติดเมล็ด

เตรียมแปลงทดลองขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร จำนวน 36 แปลง ปลูกถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 1 จำนวน 8 แนวต่อแปลงย่อย หยอดเมล็ด 2-3 เมล็ดต่อหลุม หลังจากปลูกและให้น้ำแปลง ถั่วเหลืองแล้วพ่นสารเคมีควบคุมวัชพืชก่อนงอก ถอนแยกเมื่อถั่วเหลืองอายุ 2 สัปดาห์ เหลือ 1 ต้นต่อหลุม การให้น้ำอาศัยน้ำฝนและให้น้ำแบบร่องเมื่อฝนทิ้งช่วงอายุ 25 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 12-24-12 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่กำจัดวัชพืชโดยใช้แรงงานคน ดำเนินการทดลองโดยสุ่มแปลง ทดลอง 4 แปลง ให้ได้รับทรีทเมนต์ที่ 1 สุ่มแปลงทดลอง 4 แปลงให้ได้รับทรีทเมนต์ที่ 2 ทำ ต่อไปเรื่อย ๆ จนครบทุกทรีทเมนต์ เมื่อต้นถั่วมีอายุประมาณ 104-105 วันหลังปลูก เก็บข้อมูล ผลผลิตต่อพื้นที่คำนวณเป็นกิโลกรัมต่อเฮกตาร์ที่ความชื้น 13% ได้ข้อมูลดังตาราง

ตาราง ผลผลิตต่อพื้นที่ของถั่วเหลืองพันธุ์ สจ.1 (กก. ต่อเฮกตาร์) เมื่อมีอัตราการใช้สารพาโคลบิวทราโซล และมีระยะการฉีดพ่นสารแตกต่างกัน

อัตราการใช้สาร	ระยะการฉีดพ่นสาร		
	ระยะเริ่มออกดอก	ระยะเริ่มติดฝัก	ระยะเริ่มติดเมล็ด
0 กรัม (น้ำเปล่า)	1,589 1,623 1,614 1,820	2,053 1,982 2,264 2,317	1,986 1,937 1,901 1,930
500 กรัม สารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์	1,986 1,940 1,895 1,945	1,938 1,867 1,846 1,865	2,613 2,628 2,645 2,659
1,000 กรัม สารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์	1,763 1,748 1,869 1,906	2,083 2,317 2,285 2,207	1,901 1,978 1,993 2,160

3. ในการศึกษาผลกระทบของการมองจากภาพถ่ายและการได้เห็นตัวจริงของผู้ทดลองต่อการประเมินความสำเร็จในชีวิตของคนคนนั้นเป็นคะแนนจาก –10 ถึง +10 คะแนน -10 หมาย ถึงประสบความล้มเหลวที่สุด และ +10 หมายถึง ประสบความสำเร็จที่สุด กลุ่มตัวอย่างคือ เจ้าหน้าที่ที่ เป็นผู้ชาย 10 คน และผู้หญิง 10 คน แบ่งเจ้าหน้าที่แต่ละเพศออกเป็น 2 กลุ่มอย่าง สุ่ม ดำเนินการทดลองโดยให้ผู้ทดลองได้ดูภาพถ่ายปกติและดูตัวจริงเจ้าหน้าที่กลุ่มหนึ่งบ่อย เท่าที่ต้องการในระหว่างการให้คะแนน สำหรับเจ้าหน้าที่อีกกลุ่มหนึ่งผู้ทดลองได้ดูเฉพาะภาพ ถ่าย ปกติของเจ้าหน้าที่เท่านั้น ได้ผลการให้คะแนนดังตาราง

ตาราง คะแนนความสำเร็จของเจ้าหน้าที่ซึ่งถูกประเมินจากการดูตัวจริงและดูภาพถ่าย

เจ้าหน้าที่	ดูตัวจริง		ดูภาพถ่าย	
	ผู้ชาย	ผู้หญิง	ผู้ชาย	ผู้หญิง
1	+1	+6	-3	0
2	-3	+2	+2	+3
3	+2	+4	-4	-1
4	-4	+1	-1	+6
5	+1	+5	0	+4

แหล่งที่มา : Neter, J. et al. (1974)

จงตอบคำถามต่อไปนี้

ก. จงเขียนตัวแบบสถิติของการทดลองนี้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของการมองเห็นด้วยตา และเพศของเจ้าหน้าที่ต่อคะแนนการประเมินความสำเร็จในชีวิตของคนคนนั้น

ข. จงทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของปัจจัยที่สนใจศึกษาที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = .01$ และสรุปผลการทดลอง

ค. หลังจากขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานในข้อ ข. แล้ว ควรทำอะไรต่อไปในการวิเคราะห์ ผลของการทดลองนี้

4. ในการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของประสบการณ์ของโปรแกรมเมอร์ และประเภทของประสบการณ์ของโปรแกรมเมอร์ที่มีต่อการคำนวณจำนวนคนต่อวันในการทำงานสำหรับโครงการหนึ่งซึ่งเป็นโครงการใหญ่จนโครงการดำเนินการสำเร็จ บริษัทคอมพิวเตอร์ที่เขียนโปรแกรมเพื่อทำนายจำนวนคนต่อวัน ได้อธิบายรายละเอียดทุกอย่างของโครงการให้โปรแกรมเมอร์จำนวน 24 คนทราบ แล้วให้โปรแกรมเมอร์คำนวณจำนวนคนต่อวันของโครงการนี้ โดยแบ่ง โปรแกรมเมอร์ออกตามประเภทของประสบการณ์ มี 2 ประเภทคือ small-scale systems และ large-scale systems และประสบการณ์ในการทำงานเป็นปีแบ่งเป็น 3 ระดับ เมื่อโครงการนี้ดำเนินการสำเร็จเรียบร้อยแล้ว เก็บข้อมูลความคลาดเคลื่อนของการคำนวณจำนวนคนต่อวัน โดยคิดจากจำนวนคนต่อวันจากการคำนวณลบจำนวนคนต่อวันจริงของโครงการ ได้ข้อมูลดัง ตาราง (Neter, J. and Wasserman , W. 1974)

ตาราง ความคลาดเคลื่อนของการคำนวณจำนวนคนต่อวันของโปรแกรมเมอร์ที่มีประเภท
ของประสบการณ์แตกต่างกันและประสบการณ์ในการทำงานเป็นปีแตกต่างกัน

ประเภทของประสบการณ์	ประสบการณ์ในการทำงาน (ปี)		
	น้อยกว่า 2	2 – 5	มากกว่า 5
small-scale systems	-278	-109	-46
	-196	-118	-92
	-241	-88	-89
	-188	-96	-58
large-scale systems	-83	-47	-38
	-44	-52	-33
	-68	-31	-42
	-57	-49	-31

จงตอบคำถามต่อไปนี้

ก. จงเขียนตัวแบบสถิติของการทดลองนี้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของจำนวนปีของประสบการณ์ และประเภทของประสบการณ์ที่มีต่อความคลาดเคลื่อนของการคำนวณจำนวนคนต่อวัน

ข. จงตรวจสอบว่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณจำนวนคนต่อวันเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือไม่

ค. จงทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของปัจจัยที่สนใจศึกษาที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = .05$ และสรุปผลการทดสอบ

ง. หลังจากขั้นตอนในข้อ ค. ขั้นตอนต่อไปในการวิเคราะห์ควรทำอย่างไร และสรุปผลได้ว่าอย่างไร

5. บริษัทผู้ผลิตขนมปังแห่งหนึ่งส่งขนมปังอิตาเลียนแบบหั่นเป็นแผ่นบาง ๆ อยู่ในห่อ ส่งให้ห้างใหญ่หลายแห่งในเขตนครหลวง ผู้วิจัยอยากทราบว่ามีอิทธิพลของความสูงของชั้นวางขนมปัง (ชั้นพื้นล่าง, ชั้นกลาง, ชั้นบนสุด) และความกว้างของชั้นวางขนมปัง (ปกติ, กว้าง) ต่อปริมาณ การขายขนมปังนี้หรือไม่ ดำเนินการทดลองโดยศึกษากับห้างใหญ่ 12 แห่ง ที่มีความเหมือน กันในเรื่องเกี่ยวกับขนาดและจำนวนลูกค้า สุ่มห้างใหญ่ 2 แห่งให้ได้รับทรีทเมนต์หนึ่งซึ่งมีทั้ง หมด 6 ทรีทเมนต์ ในระหว่างช่วงเวลาของการทดลอง เก็บข้อมูลการขายขนมปังนับเป็นชิ้น ได้ข้อมูลดังตาราง (Neter, J. and Wasserman, W. 1974)

ตาราง ข้อมูลการขายขนมปังเป็นจำนวนชิ้นที่วางอยู่บนชั้นวางที่มีความสูงแตกต่างกัน 3 ระดับ และความกว้างของชั้นวางแตกต่างกัน 2 ระดับ

ความสูงของชั้นวาง	ความกว้างของชั้นวาง	
	ปกติ	กว้าง
ชั้นพื้นล่าง	47 43	46 40
ชั้นกลาง	62 68	67 71
ชั้นบนสุด	41 39	42 46

จงตอบคำถามต่อไปนี้

ก. จงเขียนสมมติฐานที่ต้องการทดสอบเกี่ยวกับอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของปัจจัยที่สนใจศึกษา

ข. จงทดสอบสมมติฐานในข้อ ก. โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = .05$ และสรุปผลการทดสอบ

ค. ขั้นตอนต่อจากข้อ ข. จงเปรียบเทียบทรีทเมนต์ต่าง ๆ เป็นรายคู่ โดยใช้วิธีการของ Tukey , Bonferroni , และ Scheffe และสรุปผลการเปรียบเทียบทรีทเมนต์ของวิธีต่าง ๆ นี้ เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

6. ในการศึกษาอิทธิพลของวิธีการแสดงสินค้าที่มีผลต่อการขายสินค้านั้น กลุ่มตัวอย่างคือ ร้านค้าที่มีคุณลักษณะต่าง ๆ ของร้านเหมือนกัน 15 ร้าน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มอย่างสุ่ม แต่ละ กลุ่มจะได้รับทรีทเมนต์หนึ่งเป็นวิธีการแสดงสินค้าแบบหนึ่ง ผู้วิจัยสนใจศึกษาวิธีการแสดงสินค้า 3 แบบคือ 1. จัดเคาเตอร์แสดงสินค้าที่เดิม 2. จัดแสดงสินค้าที่ด้านหน้าของร้าน และ 3. จัดทั้ง 2 แห่งคือที่เคาเตอร์แสดงสินค้าที่เดิม และที่หน้าร้านด้วย เก็บข้อมูลการขายใน ช่วง 3 สัปดาห์แรก แล้วจัดแสดงสินค้าที่ออกใหม่อีก เก็บข้อมูลการขายในช่วง 3 สัปดาห์ที่ สอง ได้ข้อมูลดังตาราง ถ้าเรากำหนดให้การขายใน 3 สัปดาห์แรกและใน 3 สัปดาห์ที่สองเป็น ตัวแปรตามทั้ง 2 ครั้ง จงทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลของวิธีการแสดงสินค้าใหม่ที่มีต่อ การขาย ใน 3 สัปดาห์แรก และใน 3 สัปดาห์ที่สอง โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับ นัยสำคัญ $\alpha = .05$ และสรุปผลการทดลอง

ตาราง ข้อมูลการขายสินค้าในร้านที่จัดแสดงสินค้าใหม่ในรูปแบบแตกต่างกัน 3 แบบ

การจัดสินค้า	3 สัปดาห์	ร้านที่				
		1	2	3	4	5
แบบที่ 1	1 (x)	67	74	52	68	92
	2 (y)	43	58	38	57	70
แบบที่ 2	1 (x)	81	69	73	77	80
	2 (y)	75	73	78	74	82
แบบที่ 3	1 (x)	42	65	81	73	69
	2 (y)	49	63	84	75	76