

เอกสาร
การพัฒนาบุคลากรในสังกัด
ด้วยวิธีการ Coaching

เรื่อง
ขั้นตอนในการวางแผนการทดลอง

โดย

นายเมธิน ศิริวงศ์
ผู้เชี่ยวชาญด้านวางระบบการพัฒนาที่ดิน
สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 8
พ.ศ. 2567

บทนำ

เอกสาร “ขั้นตอนในการวางแผนการทดลอง” และ “หลักสำคัญในการวางแผนการทดลอง” เป็นเอกสารที่ใช้ในการ Coaching ของผู้เชี่ยวชาญด้านวางระบบการพัฒนาที่ดิน สพข.๘ อันเนื่องมาจากการที่กรมฯ มีนโยบายในการขับเคลื่อนการเขียนโครงการวิจัยของทุกหน่วยงาน โดยกำหนดเป็นตัวชี้วัดระดับหน่วยงาน และระดับผู้เชี่ยวชาญ ปี ๒๕๖๗ ที่จะต้องมีโครงการวิจัยที่นำเสนอผ่านความเห็นชอบจากคณะทำงานวิชาการระดับหน่วยงาน (คณะ ๑) และต้องมีข้อเสนอโครงการวิจัยใหม่ผ่านความเห็นชอบจากคณะ ๓ อย่างน้อยหน่วยงานละ ๑ โครงการ เพื่อบรรจุเป็นคำขอตั้งงบประมาณ ปี ๒๕๖๙ และจากประสบการณ์ของ ผชช.สพข.๘ ในการเป็นกรรมการในการพิจารณาโครงการวิจัยของกรม และกรรมการประเมินผลงานของนักวิจัย พบว่า งานวิจัยบางส่วนยังดำเนินการไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการสถิติ ส่งผลให้เกิดความเสียหายทั้งงบประมาณ เวลา และที่สำคัญคือผลการวิจัยไม่ถูกต้อง ส่งผลกระทบเสียหายต่อไปถึงการนำผลการวิจัยไปถ่ายทอด หรือการต่อยอดงานวิจัยที่จะล้มเหลวตามมา รวมถึงงานวิจัยในเรื่องดังกล่าว ไม่สามารถนำกลับมาของบประมาณดำเนินการได้อีก

ดังนั้น เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้ทำการรวบรวมเอกสารการดำเนินงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานพัฒนาที่ดิน จากตำรา “สถิติ การวางแผนการทดลองขั้นต้น” ของอาจารย์สุรพล อุปติสสกุล และเอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรมสถิติหลักสูตรต่างๆ ของกรมพัฒนาที่ดิน และกรมวิชาการเกษตร ให้แก่นักวิชาการเกษตรในอดีตที่ผ่านมา โดยสรุปเฉพาะสาระที่เกี่ยวข้องกับงานของกรมพัฒนาที่ดิน และเป็นพื้นฐานเบื้องต้นสำหรับการใช้ประโยชน์อย่างง่ายสำหรับผู้ปฏิบัติ เพื่อให้ นักวิจัยที่จะส่งข้อเสนอโครงการวิจัยได้มีกรอบวิชาการทางสถิติที่ถูกต้อง เพื่อประสิทธิผลของโครงการวิจัยในที่สุด

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ อาจารย์สุรพล อุปติสสกุล คุณสง่า ดวงรัตน์ และคุณสุชาวดี นาคะทัต ที่ผู้รวบรวมได้ใช้ต้นฉบับเอกสารทางสถิติของท่านเพื่อจัดทำเอกสารฉบับนี้

ขั้นตอนในการวางแผนการทดลอง

โดย นายเมธิน ศิริวงศ์

ผู้เชี่ยวชาญด้านวางระบบการพัฒนาที่ดิน สพข.8

การทำการทดลองนั้น นักวิจัยจะต้องทำความเข้าใจก่อนว่าจะศึกษาเรื่องอะไร ทำไม่ถึงจะต้องเลือก “สิ่งทดลอง” หรือ “treatment” อย่างนั้น และคาดว่าผลที่คิดไว้ควรจะเป็นอย่างไร หรือสมมติฐาน (hypothesis) จะตรงกับเป้าหมายหรือข้อสงสัยที่คิดไว้ว่าจะได้ผลหรือคำตอบจากการทดลองนั้นๆ เพียงใด ดังนั้น ควรจะมีรายละเอียดหรือข้อมูล (information หรือ data) ต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาวางแผนการทดลอง ซึ่งนับว่าสำคัญมากอย่างหนึ่งในวิธีดำเนินการทดลอง ผู้ทดลองควรจะหลีกเลี่ยงการปฏิบัติเก่าๆ ที่ทำการทดลองมาจนได้ผลหรือข้อมูลแล้ว จึงมาคิดว่าควรจะวิเคราะห์ผลสถิติอย่างไร การทำเช่นนั้นผิดจากข้อมุ่งหมายในการวางแผนการทดลองที่ดี ซึ่งควรเริ่มจากเหตุไปหาผล ไม่ใช่จากผลไปหาเหตุ ดังนั้น ในการทดลองงานวิจัยทุกๆ สาขา นักวิจัยควรเริ่มตามขั้นตอน ดังนี้

1. ตั้งวัตถุประสงค์ในการทดลองให้ชัดเจน

ผู้ทำการทดลองจะต้องเข้าใจอย่างแท้จริงถึงปัญหาที่จะศึกษา พยายามเลือกสิ่งที่สำคัญที่ต้องการรู้มากที่สุดขึ้นมาก่อน ไม่ควรตั้งเป้าหมายกว้างเกินไปหรือมากเกินไป เพราะจะไม่สามารถศึกษาทุกอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพในการทดลองเดียว ทั้งนี้อาจจะต้องศึกษาค้นคว้าจากการทดลองเก่าๆ หรือจากเอกสารทางวิชาการ ซึ่งอยู่ในลักษณะใกล้เคียงกับการทดลองที่จะทำขึ้น เพื่อลดขอบเขตของการทดลองให้แคบลง จากนั้นก็ตั้งวัตถุประสงค์ให้ชัดเจนตามลำดับความสำคัญและคิดว่าเหมาะสมที่สุด

2. การเลือกสิ่งทดลองหรือทรีตเมนต์เพื่อใช้ในการทดลอง

สิ่งทดลองหรือทรีตเมนต์ (treatment) หมายถึงสิ่งที่นำมาเพื่อศึกษาวัดผล เช่น ปุ๋ยตำรับต่างๆ พันธุ์ต่างๆ ของข้าว วิธีการปราบวัชพืชต่างๆ หรือแปลงดินต่างๆ ที่จะนำมาทำอาหาร เป็นต้น

ในการเลือกสิ่งทดลองมีข้อที่จะต้องพิจารณาหลายอย่าง ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ และชนิดของงานวิจัยนั้นๆ อาทิเช่น

2.1 ต้องการวัดผลอย่างไร

2.2 ต้องการเปรียบเทียบผลที่ได้อย่างไร

2.3 จะมีสิ่งทดลองมาตรฐานหรือตัวเปรียบเทียบ (standard, control, or check) เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบผลกับสิ่งทดลองอื่นๆ หรือไม่

2.4 ในแต่ละปัจจัย (factor) ที่ต้องการศึกษา เช่น ตำรับปุ๋ยและพันธุ์พืชต่างๆ ที่ต้องการศึกษานั้นจะมีการแยกเป็นระดับ (level) ต่างๆ หรือไม่ ถ้าแยกเป็นระดับต่างๆ เช่น ในการทดลองปุ๋ย จะให้มีระยะห่างระหว่างระดับ (spacing) เท่ากันหรือไม่ ทั้งนี้วัตถุประสงค์ของการทดลองจะมีส่วนช่วยในการพิจารณานี้

จากสิ่งเหล่านี้ก็พอจะได้ความคิดว่าควรมีสิ่งทดลองอย่างไร มีจำนวนเท่าใดจึงจะเหมาะสม คือสามารถคลุมถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองนั้นๆ

3. ขนาดของการทดลอง

ในการกำหนดขนาดของการทดลอง (size of experiment) เป็นเรื่องค่อนข้างยากไม่น้อย ทั้งนี้ อาจจะต้องศึกษาจากงานเก่าๆ หรือได้ถามผู้ที่มีประสบการณ์ในสาขานั้น ตัวอย่างเช่น ในการวิจัยพืช ผู้

ทดลองสามารถอาศัยประสบการณ์ หรือดูจากงานทดลองคล้ายๆ กัน หรือเข้าทำนองเดียวกันในพืชนั้นหรือพืชอื่นๆ อย่างไรก็ดี นักวิจัยพอจะมีหลักอย่างง่ายๆ ช่วยในการตัดสินใจ ดังนี้

3.1 ในการปฏิบัติจริงๆ นักวิจัยสามารถทำได้สะดวกแค่ไหน เช่น การปลูกพืชในไร่ อาจต้องพิจารณาถึงเครื่องมือในการปลูก แรงงาน ความเหมาะสมของพื้นที่ ถ้าหากทำการทดลองในเรือนกระจกอาจใช้ขนาดการทดลองเล็กลงมา เพราะว่าผู้ทดลองสามารถควบคุมหรือทำงานได้ประณีตมากกว่าการทำในไร่นา นอกจากนี้จะต้องพิจารณาว่าวัสดุหรือวัตถุหรือสิ่งที่ใช้ในการทดลอง (experimental material) มีอยู่มากน้อยเพียงใด เช่น กรณีของเมล็ดพันธุ์อาจมีจำกัด หรือกระถางอาจมีเพียงจำนวนหนึ่งหาเพิ่มไม่สะดวก หรือขนาดของโรงเรือนมีขนาดเล็ก เป็นต้น

3.2 คุณสมบัติของวัตถุหรือวัสดุที่ใช้ในการทดลอง เช่น พืชต่างชนิดกันก็ต้องการระยะปลูกและแปลงทดลอง (plot or experimental unit) ที่เหมาะสมต่างกัน

3.3 จำนวนสิ่งทดลองที่ใช้ ในแผนการทดลองทางสถิติบางแผนจะมีขีดจำกัดว่า สิ่งทดลองควรมีไม่เกินจำนวนเท่าใด หรืออย่างต่ำควรจะเป็นเท่าใด เพื่อให้การใช้แผนการทดลองนั้นมีประสิทธิภาพที่สุด นอกจากนี้ก็อาจต้องคำนึงว่าจะใช้สิ่งทดลองเท่าใดใน 1 แปลงทดลองใหญ่หรือบล็อก (block) หรือใน 1 ซ้ำ (replicate) ซึ่งขนาดของการทดลองจะเล็กหรือใหญ่ย่อมขึ้นอยู่กับจำนวนสิ่งทดลองที่มี

3.4 ความแปรปรวนระหว่างวัตถุหรือวัสดุหรือสิ่งที่ใช้ในการทดลอง (experimental material) ภายในแต่ละหน่วยการทดลอง (experimental unit) มีมากน้อยเพียงใด เช่น ในพืชอาจต้องคำนึงถึงความแปรปรวนทางพันธุกรรม (genetic variability) หรือความแตกต่างระหว่างพืชต้นหนึ่งกับอีกต้นหนึ่งในหน่วยการทดลองเดียวกัน ถ้าหากว่าความแปรปรวนนี้มีมาก ขนาดของการทดลองก็จำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น เช่น จำนวนต้นพืชในหน่วยการทดลองมีมาก เป็นต้น

หน่วยการทดลอง (experimental unit) หมายถึงหน่วยที่เล็กที่สุดของวัตถุหรือวัสดุในการทดลองซึ่งได้รับแต่ละสิ่งทดลองและนำมาศึกษาข้อมูล หน่วยการทดลองแต่ละหน่วยอาจเป็นหน่วยเดี่ยวๆ ของวัสดุการทดลอง หรืออาจเป็นกลุ่มของวัสดุการทดลอง ตัวอย่าง เช่น

หน่วยเดี่ยว : ก. การทดลองหาคุณภาพของแป้ง 3 ชนิดคือ แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า และแป้งสาลีในการทำขนมคุกกี้ โดยให้ผู้ชิม 6 คน แต่ละคนชิมขนม 1 อันจากแป้งแต่ละชนิด แล้วให้คะแนนตามความพอใจในรสชาติขนมนั้น กรณีนี้คุกกี้ 1 อันก็ถือเป็น 1 หน่วยการทดลอง และจำนวนหน่วยการทดลองทั้งหมดคือ 18 หน่วย

ข. การนับจำนวนปมของรากถั่วเหลืองซึ่งปลูกในกระถางๆ ละ 1 ต้น โดยใช้เชื้อ Rhizobium 5 stains แต่ละ stain ใช้ 5 กระถาง (5 ซ้ำ) กรณีนี้ถั่วเหลืองแต่ละกระถางคือ 1 หน่วยการทดลอง และการทดลองนี้จะมีทั้งหมด 25 หน่วยการทดลอง

ค. การทดลองสูตรอาหารสัตว์ 4 สูตร โดยแต่ละสูตรใช้ทดลองกับสัตว์ 1 ตัว ใน 1 ฟุง (4 ตัว) ทำทั้งหมด 4 ฟุง (4 ซ้ำ) กรณีนี้สัตว์แต่ละตัวก็คือ 1 หน่วยการทดลอง และจำนวนหน่วยการทดลองทั้งหมดคือ 16 หน่วยการทดลอง

หน่วยกลุ่ม : ก. การทดลองนับปมของถั่วเหลือง โดยใช้เชื้อ Rhizobium 5 strains ซึ่งแต่ละ strain คลุกกับเมล็ดถั่วเหลืองในแต่ละแปลงซึ่งมีต้นถั่ว 20 ต้น ทำทั้งหมด 5 ซ้ำ กรณีนี้แต่ละแปลงคือ 1 หน่วยการทดลอง (มีต้นถั่วเหลือง 20 ต้น) และในการทดลองทั้งหมดจะมี 25 หน่วยการทดลอง

ข. การทดลองสูตรอาหารสัตว์ สูตรแต่ละสูตรใช้ทดลองกับสัตว์ 1 คู่ (4 ตัว) ดังนั้นใน 1 ชั่วโมงใช้สัตว์ 4 คู่ หากทำทั้งหมด 4 ชั่วโมงจำนวนสัตว์ก็คือ 16 ตัว กรณีนี้สัตว์แต่ละคู่ซึ่งมี 4 ตัวถือว่าเป็น 1 หน่วยการทดลอง และจำนวนหน่วยการทดลองทั้งหมดในการทดลองก็เท่ากับ 16 หน่วยการทดลอง

3.5 ผู้ทดลองต้องการความเที่ยงตรง (accuracy) ในการทดลองมากน้อยแค่ไหน หากต้องการความเที่ยงตรงสูง ขนาดของการทดลองต้องใหญ่ เนื่องจากต้องเพิ่มจำนวนซ้ำมากขึ้น เพื่อให้ได้ตัวแทนหรือค่าคาดคะเน (estimated value) ที่ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง (true value) เท่าที่จะทำได้ หรืออาจต้องเพิ่มสิ่งทดลองเพื่อให้การทดสอบความแตกต่างได้ละเอียดยิ่งขึ้น หรือมีความไวในการวัดความแตกต่างซึ่งเกิดเพียงเล็กน้อยได้ (sensitive) การเพิ่มสิ่งทดลองนี้บางคนอาจจะไม่เข้าใจว่าจะเพิ่มความเที่ยงตรงในการทดลองได้อย่างไร การเพิ่มสิ่งทดลองจะทำให้ degree of freedom ของความคลาดเคลื่อน (error) สูงขึ้น ซึ่งปกติมีผลให้การทดสอบโดยใช้ค่า F (F-test) มีความไวมากขึ้น กล่าวคือ ค่า F จากตารางมีค่าน้อยลง ผู้ทดลองก็สามารถวัดความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองได้ละเอียดยิ่งขึ้น

3.6 เงินทุนที่ใช้ (คิดเทียบต่อหน่วยการทดลอง) ว่ามีมากน้อยแค่ไหน ในที่นี้คิดตั้งแต่เริ่มทำการทดลองจนวิเคราะห์สรุปผลทั้งหมด

4. การเลือกวัสดุหรือวัสดุหรือสิ่งที่ใช้ในการทดลอง (experimental material)

วัสดุในการทดลองนี้นับว่าสำคัญมาก ผู้ทดลองจะต้องเลือกให้เหมาะสม เพื่อที่ผลงานวิจัยนั้นจะสามารถถูกนำไปใช้ในสภาพปฏิบัติที่แท้จริงได้ อาทิเช่น ต้องการวัดผลค่อนข้างละเอียดสามารถทดสอบความแตกต่างของสิ่งทดลองที่ต่างกันเพียงเล็กน้อย เช่น 2 เปอร์เซ็นต์ ของค่าเฉลี่ย ซึ่งน้อยมาก แต่ปรากฏว่าความแปรปรวนหรือความแตกต่างอันเนื่องมาจากวัสดุในการทดลองที่ใช้ในสิ่งทดลองหนึ่งกับที่ใช้ในอีกสิ่งทดลองหนึ่งมีมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ กรณีนี้ก็นับว่าการทดสอบจะไม่ได้ผลตามความมุ่งหมาย เพราะจะไม่สามารถแยกหรือเห็นความแตกต่างของสิ่งทดลองซึ่งต่างกันเพียงเล็กน้อย หรือในกรณีนี้ผู้ทดลองสามารถเลือกวัสดุในการทำทดลองได้สม่ำเสมอดีมาก ขนาดของการทดลองก็อาจเล็กลงมาได้ แต่ทว่าผลที่ได้จากการวิจัยนั้นอาจนำมาใช้สำหรับการปฏิบัติอย่างแท้จริงในภายหน้าลำบาก โดยเฉพาะงานบางชนิด เช่น ด้านการเกษตรซึ่งมีความแปรปรวนต่างๆ เกิดขึ้นเสมอในไร่นา เช่น ความแปรปรวนของภูมิอากาศ ดิน และการทำลายของโรค แมลง เป็นต้น ด้วยเหตุเหล่านี้ อาจทำให้บางคนคิดว่าการใช้สถิติไม่ได้ผลนัก

แหล่งความแปรปรวนของวัสดุหรือสิ่งที่ใช้ในการทดลองสามารถแยกเป็นพวกใหญ่ๆ ได้ดังนี้

4.1 ความแปรปรวนเนื่องจากลักษณะหรือคุณสมบัติของวัสดุหรือสิ่งที่ใช้ในการทดลองเอง เช่น ในพืชแต่ละต้นหรือสัตว์แต่ละตัวก็แตกต่างกันไป อาจเนื่องจากความแปรปรวนทางด้านพันธุกรรม (genetic variability) ภายในแต่ละต้นหรือตัว ดังนั้น ผู้ทดลองจะต้องทราบคุณสมบัติลักษณะนี้เพื่อป้องกันหรือลดความแปรปรวน เช่น กรณีพืชผสมข้าม (cross pollinated crops) ความแปรปรวนทางด้านพันธุกรรมมากกว่าพืชผสมตัวเอง (self pollinated crops) ผู้ทดลองก็จำเป็นต้องใช้หน่วยการทดลองค่อนข้างใหญ่ เพื่อให้ได้ตัวอย่าง (sample) หรือข้อมูลที่ใกล้เคียงความจริง ในการทดลองในไร่นาจะมีหลักพิจารณาเรื่องนี้ซึ่งเรียกว่า field plot technique

4.2 ความแปรปรวนเนื่องจากสภาพแวดล้อม สภาพแวดล้อมนี้เป็นเรื่องที่จัดลำบากมาก ไม่ว่าจะเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการหรือในไร่นาหรือกรณีอื่นๆ แต่อย่างไรก็ดี ผู้ทดลองจะต้องพยายามหาสาเหตุหรือทราบแหล่ง เพื่อควบคุมตลอดจนพยายามหาทางแก้ไขให้เกิดความแปรปรวนนี้น้อยที่สุด เช่น อาจทดลองซ้ำมากขึ้น ไม่ว่า

จะเป็นการทำซ้ำภายในที่ปฏิบัติเหมือนกันหรือต่างกัน ตลอดจนเลือกใช้แผนการทดลองที่เหมาะสมกับสภาพนั้นๆ

4.3 ความแปรปรวนเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอในการปฏิบัติการทดลอง ตัวอย่างง่ายๆ เช่น การทดลองในไร่นา ผู้ปฏิบัติอาจใช้การไถพรวนได้ไม่ดีเท่ากันหรือทั่วถึงกันหมด หรือการใช้เครื่องมือต่างๆ ในกรณีทดลองในห้องปฏิบัติการไม่ได้เป็นมาตรฐานเดียวกันหมดในทุกๆ หน่วยการทดลอง โดยเฉพาะการปฏิบัติการที่ไม่ได้ใช้เครื่องมือความแปรปรวนจากการปฏิบัติจะมีมาก เช่น การหว่านปุ๋ยด้วยมือ บางแปลง (หน่วยการทดลอง) อาจหว่านได้สม่ำเสมอ บางแปลงอาจไม่สม่ำเสมอ ทำให้สิ่งทดลองหรือตัวรับปุ๋ยเดียวกันแตกต่างกันไปจากซ้ำหนึ่งไปยังอีกซ้ำหนึ่ง มากอย่างที่ไม่ควรจะเป็น (มีความคลาดเคลื่อนหรือ error สูง) โดยเฉพาะกรณีที่การปฏิบัติต่อสิ่งทดลองที่ต่างกัน เช่น ต่างตัวรับปุ๋ย จะทำให้การทดสอบผลการทดลองหรือการวัดความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองไม่มีความแน่นอนหรือเป็นไปได้

5. การเลือกแผนการทดลอง (experimental design) ที่มีประสิทธิภาพ

การเลือกแผนการทดลองให้มีประสิทธิภาพดีที่สุดนั้น ขึ้นอยู่กับสภาพหรือชนิดของความแปรปรวนของวัสดุหรือสิ่งที่ใช้ในการทดลอง ตลอดจนองค์ประกอบอื่นๆ เช่น สภาพดินสำหรับการทดลองในไร่นา เป็นต้น การเลือกแผนการทดลองที่ดีนั้นต้องคำนึงถึงค่าคลาดเคลื่อนของการทดลอง (experimental error) โดยให้น้อยที่สุดสามารถหรือมีความละเอียดพอที่จะแยกความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองได้ดี และที่สำคัญที่สุดนั้นต้องพยายามเลือกแผนการทดลองที่ง่ายที่สุดทั้งการวางแผน การปฏิบัติ และการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ยกเว้นในบางกรณีซึ่งเราต้องใช้แผนการทดลองที่ยุ่งยากซับซ้อน ทั้งนี้เพื่อความเหมาะสมต่องานหรือเป็นการแก้ไขหรือหลีกเลี่ยงให้สภาพแวดล้อมที่ต่างกันระหว่างหน่วยทดลองมีน้อยที่สุด แผนการทดลองทั้งหลายจะต่างกันอย่างเห็นชัดที่กฎเกณฑ์ในการจัดสิ่งทดลองลงในหน่วยการทดลองต่างๆ ทั้งนี้แต่ละแผนการทดลองจะมีกฎเกณฑ์ที่พยายามจะช่วยให้สามารถควบคุมและทราบถึงแหล่งของความแปรปรวนที่เกิดจากสาเหตุต่างๆ เช่น ความแปรปรวนระหว่างซ้ำ (replicate) ระหว่างแถว (row) ระหว่างบล็อกภายในซ้ำ เป็นต้น ซึ่งจะเป็นผลให้การวิเคราะห์ผลทางสถิติเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือจะมีวิธีหรือขั้นตอนที่แยกความแปรปรวนที่ทราบสาเหตุจากแหล่งต่างๆ ออกมาจากความแปรปรวนทั้งหมด จนเหลือแต่ค่าคลาดเคลื่อนซึ่งไม่อาจแยกออกมาได้ชัดเจนว่าเกิดจากสาเหตุใดหรือสิ่งใด (experimental error) ค่าคลาดเคลื่อนหรือ error นี้จะใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองว่าแตกต่างกันหรือไม่ทางสถิติ หรือความแตกต่างนั้นเกิดขึ้นโดยบังเอิญ (by chance) ไม่ใช่เกิดจากความแตกต่างที่แท้จริง ปกติแผนการทดลองหนึ่งจะมีประสิทธิภาพ (efficiency) สูงกว่าแผนการทดลองอีกแผนหนึ่งก็ต่อเมื่อความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของการทดลอง (experimental error variance) ของแผนการทดลองแรกต่ำกว่าแผนการทดลองที่สอง

หมายเหตุ : ค่าคลาดเคลื่อนของการทดลอง (experimental error) หมายถึง ความแตกต่างหรือความแปรปรวนระหว่างหน่วยการทดลอง (experimental units) ที่เกิดขึ้น หรือวัดได้จากหน่วยการทดลองซึ่งได้รับสิ่งทดลองอย่างเดียวกันแต่คนละครั้งหรือคนละซ้ำ (replicate) โดยจัดหรือปรับค่า เนื่องจากผลของความแปรปรวนระหว่างซ้ำหรือแหล่งความแปรปรวนอื่นๆ ที่ทราบสาเหตุแล้ว

6. พิจารณาถึงการปฏิบัติที่ผู้ทดลองสามารถทำได้จริงๆ

เรื่องนี้เป็นเรื่องที่สำคัญที่สุด เพราะการวางแผนการทดลองเป็นงานที่คิดหรือจินตนาการบนโต๊ะ บางแผนการทดลองที่เห็นว่าดีนั้นอาจนำมาใช้ไม่ได้ผลในการปฏิบัติจริงๆ ความจริงข้อนี้ผู้ทดลองจะเป็นผู้ที่สามารถ

ทราบได้ดีที่สุดมากกว่าผู้ที่วางแผนการทดลองเพียงอย่างเดียว เช่น การทดสอบวัดกลิ่นรส (flavor) ของผลิตภัณฑ์ใหม่โดยการชิม ซึ่งปกติแล้วผู้ชิมจะไม่สามารถแยกกลิ่นรสได้ดีถ้าให้ตัวอย่าง (sample) ในการชิมมากเกินไปในการทดสอบ 1 ครั้ง (ปกติไม่เกิน 5-6 ตัวอย่าง) หากว่ามีตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ 16 ตัวอย่าง ซึ่งไม่สามารถทำได้ภายใน 1 วัน หรือ 1 ครั้ง กรณีนี้จะเห็นว่าในแง่การปฏิบัติจะใช้แผนการทดลองแบบ randomized complete block โดยจัดให้ผู้ชิมเป็นซ้ำหรือบล็อกสมบูรณ์ (complete block) จะไม่ได้ผล ควรทำในรูป incomplete blocks โดยให้ผู้ชิมแต่ละคนเป็น 1 incomplete block ขณะเดียวกันในการทดลองนี้ผลตกค้าง (residual effects) จากตัวอย่างแรกต่อตัวอย่างที่สองก็สำคัญมาก ดังนั้นเมื่อพิจารณาทั้งในแง่การปฏิบัติและการขจัดผลตกค้าง แผนการทดลองที่เหมาะสมก็ควรเป็น balanced incomplete blocks เช่น balanced lattices เป็นต้น

ตัวอย่างในพืชที่ชัดเจนได้แก่ การทดลองให้น้ำระดับต่างๆ กับข้าวพันธุ์ต่างๆ จะเห็นว่า แผนการทดลองที่เหมาะสมที่สุดคือ split-plot โดยถือระดับน้ำเป็น main plot หรือแปลงใหญ่ภายในซ้ำ ส่วนพันธุ์ข้าวเป็น sub-plot หรือแปลงย่อยหรือหน่วยการทดลองในแปลงใหญ่ ทั้งนี้ผู้ทดลองจะสามารถควบคุมระดับน้ำในนาผืนใหญ่ได้สะดวกกว่านาผืนเล็กๆ หากว่าใช้แผนการทดลองชนิดอื่น เช่น จัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล (factorial arrangement) ในแผนการทดลองแบบ randomized complete block จะยุ่งยาก เพราะจะต้องมีคั่นน้ำกันระดับน้ำในแปลงย่อยๆ ทุกแปลง ทำให้ไม่สะดวกในการควบคุมดูแลรักษา ตลอดจนเปลืองค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น

7. การปฏิบัติงานในการทดลอง

เมื่อได้แผนการทดลองที่ดีและเหมาะสมที่สุดแล้ว ก็ดำเนินการทดลองโดยใช้วิธีการและเทคนิคต่างๆ ตลอดจนเครื่องมือที่เหมาะสม ทั้งนี้อาจจะต้องมีการตรวจสอบรายละเอียดต่างๆ ซึ่งบางทีจะต้องมีการดัดแปลงวิธีการ (method) ถ้าหากจำเป็น มีการจดบันทึกข้อมูลต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในลักษณะหรือสิ่งที่ต้องการรู้หรือศึกษาและช่วยในการตีความหมาย (interpretation) อย่างระมัดระวัง ควรมีหมายเหตุบางอย่างเพื่อใช้ประกอบในการสรุปวิจารณ์ผลการทดลองด้วยหากว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นเช่น ในฤดูที่ทดลองนั้นเกิดมีน้ำท่วมแปลงบางส่วนหรือว่ามีโรคเกิดขึ้นในบางแปลง เป็นต้น สิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ในการจดบันทึกข้อมูลนั้นควรมีอย่างน้อย 2 ชุด เพื่อว่าในกรณีที่ชุดหนึ่งหายไป จะยังสามารถมีอีกชุดสำรองนำมาใช้วิเคราะห์ผลทางสถิติได้ เรื่องนี้ผู้ทดลองบางคนอาจจะไม่เห็นความสำคัญ แต่ก็ควรกันไว้ดีกว่าแก้ โดยเฉพาะงานที่มีเวลาจำกัด เช่น วิทยานิพนธ์ เป็นต้น

8. ความละเอียดลออในการปฏิบัติการทดลอง

ดังที่กล่าวมาในข้อ 4.3 ว่า ในการทดลองที่ขาดความสม่ำเสมอในการปฏิบัติจะทำให้เกิดความแปรปรวนขึ้นได้ ดังนั้นควรมีข้อยึดถือปฏิบัติดังนี้

8.1 ในแต่ละการทดลองนั้นควรใช้สิ่งทดลองต่างๆ ที่เลือกมาศึกษาให้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ เช่น การทดลองสารเคมีป้องกันโรคและแมลงศัตรูพืช ผู้ทดลองจะต้องฉีดหรือใช้สารเคมีแต่ละอย่างในแต่ละแปลงให้สม่ำเสมอทั่วทั้งแปลงในอัตราที่กำหนดไว้ เพื่อให้ได้ผลแตกต่างของแต่ละสิ่งทดลองจริงๆ มิใช่เนื่องจากการปฏิบัติไม่ดี อาทิเช่น แปลงแรกใช้สารเคมีไม่ได้ทั่วถึงเนื่องจากท่อฉีดตัน ผู้ทดลองต้องตรวจและแก้ไขเครื่องฉีดสารเคมีให้ดีขึ้นก่อนที่จะฉีดต่อไป

8.2 พยายามควบคุมหรือป้องกันปัจจัยต่างๆ ที่ไม่ได้ศึกษาที่จะทำให้เกิดความแปรปรวนแตกต่างระหว่างหน่วยทดลอง ทั้งนี้เพื่อให้ผลของสิ่งทดลองแสดงออกมาชัดเจน มิใช่เนื่องจากปัจจัยอื่นๆ ที่ผู้ทดลองไม่ต้องการวัดผลเข้ามาพัวพัน การปฏิบัติดูแลรักษาต่างๆ จะต้องสม่ำเสมอเหมือนกันหมดทุกหน่วยการทดลอง เช่น ในการ

ทดลองเปรียบเทียบพันธุ์ข้าวโพด ควรมีการใส่ปุ๋ยรองพื้นให้สม่ำเสมอทั่วทั้งแปลงใหญ่ การปลูกก็ต้องสม่ำเสมอ มีระยะปลูกระหว่างต้นและแถวตามที่กำหนดไว้

8.3 ในการเก็บข้อมูลหรือวัดผลการทดลองนั้น จะต้องเลือกวิธีการวัดผลที่เที่ยงธรรมหรือแน่นอนไม่ลำเอียง เช่นการวัดความสูงของต้นยาสูบจะต้องมีการตัดยอดให้ถูกวิธีเหมือนกันหมดทุกต้น จากนั้นก็วัดจากโคนต้นให้ไม้วัดแนบชิดกับลำต้นจนถึงส่วนยอด นอกจากนี้ในการวัดผลการทดลองหรือการบันทึกข้อมูลจะต้องคำนึงถึงวิธีการวัดหรือบันทึกแต่ละชนิดว่าควรทำอะไร เช่น ในการสุ่มตัวอย่าง (sample) มาวัดผลเพื่อประหยัดเวลาแรงงานและค่าใช้จ่าย จะต้องพิจารณาว่าควรใช้จำนวนตัวอย่างเท่าใดจากแต่ละหน่วยการทดลองถึงจะเป็นตัวแทนที่ดีที่สุด

8.4 พยายามหาทางป้องกันหรือลดความคลาดเคลื่อน (error) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลองให้มันน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพราะถ้าหากว่าความคลาดเคลื่อนมาก การทดลองที่ได้ย่อมมีน้ำหนักความเชื่อมั่นน้อย และความว่องไวหรือความละเอียดในการทดสอบผล (sensitivity) ของการทดลองหรือเปรียบเทียบจะลดน้อยลงแต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของการทดลองนั้นๆ ด้วย

9. การเก็บข้อมูลหรือวัดผลเพิ่มเติมเพื่อเสริมให้ข้อมูลที่ศึกษาคืบขึ้น

ในการวัดผลการทดลองหรือที่เรียกว่าเก็บตัวเลขนั้น บางทีจะต้องมีการวัดผลหรือบันทึกสิ่งอื่นหรือลักษณะอื่นซึ่งเกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์กับสิ่งที่ผู้ทดลองสนใจอยู่ เช่น การศึกษาผลผลิตควรจะเก็บตัวเลขขององค์ประกอบผลผลิต (yield component) ด้วย เช่น ในข้าวโพด อาจจะบันทึกความสูงของต้น ความสูงของตำแหน่งฝัก ขนาดฝัก จำนวนฝัก ขนาดเมล็ด น้ำหนักเมล็ด เป็นต้น

ในกรณีของการทดลองในไร่ ผู้ทดลองมักจะพบเสมอว่าพืชบางแปลงอาจจะมีต้นไม่ครบตามอัตราที่ปลูกไว้เดิม ดังนั้นควรมีการนับจำนวนต้นในแต่ละแปลงประกอบการพิจารณา เมื่อเวลาวิเคราะห์ผลทางสถิติก็อาจใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (covariance analysis) คือ ทั้งผลผลิตและจำนวนต้นที่ให้ผลผลิตนั้น เพื่อจะประมาณค่าที่ได้แตกต่างระหว่างสิ่งทดลองจริงๆ มิใช่เนื่องจากจำนวนต้นต่างกัน นอกจากนี้การวัดผลหรือบันทึกข้อมูลบางอย่างซึ่งไม่ได้อยู่ในรูปตัวเลข ผู้ทดลองก็อาจจะต้องหาวิธีการเทียบหรือเปลี่ยนข้อมูลนั้นให้มาอยู่ในรูปตัวเลข เพื่อจะได้วิเคราะห์ผลทางสถิติได้ เช่น การต้านทานต่อโรคอาจจะใช้รหัส หรือตัวเลขแทน ดังนี้ 1 = ต้านทานดีที่สุด จากนั้นความต้านทานก็ลดหลั่นลงมาถึง 5 ซึ่งเท่ากับไม่ต้านทานเลย หรือในการวัดคุณภาพ เช่น คุณภาพใบยาสูบซึ่งจัดเป็นใบยาชั้นต่างๆ (grade) ก็ใช้หลักให้คะแนนตามชั้นยาแล้วคูณด้วยน้ำหนักใบยาทั้งหมดในชั้นนั้น จากนั้นก็รวมผลคูณทั้งหมดใน 1 หน่วยการทดลองหรือแปลงหารด้วยน้ำหนักใบยาทั้งหมดในแปลงนั้น ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะเป็นครชนีแสดงคุณภาพใบยา (grade index) ของแปลงนั้นๆ เป็นต้น

10. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลนี้ดูเผินๆ ก็เหมือนว่าไม่มีอะไรยุ่งยากนัก ผู้ทดลองหรือผู้วิเคราะห์ก็ดำเนินการวิเคราะห์ผลตามหลักเกณฑ์ต่างๆ ของแผนการทดลองนั้น แต่ที่จริงแล้วการวิเคราะห์ผลนี้มีความสำคัญไม่น้อย เพราะว่าบางกรณีผู้ทดลองอาจจะต้องวิเคราะห์ผลโดยใช้วิธีการต่างจากที่วางแผนไว้เดิม หรืออาจต้องมีการวิเคราะห์ผลเพิ่มเติมเพื่อใช้ประกอบในการพิจารณาสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง เช่น การทดลองเดิมมี 6 ซ้ำ แต่ 2 ซ้ำเกิดเสียหายมีข้อมูลไม่สมบูรณ์ กรณีนี้ผู้วิเคราะห์ก็จำเป็นต้องตัด 2 ซ้ำนี้ออกไปโดยวิเคราะห์ผลเพียง 4 ซ้ำ เท่านั้น หรือการทดลองที่ทำหลายๆ แห่ง (location) หรือหลายๆ ฤดูปลูก (season) อาจจะต้องมีจำนวนซ้ำต่างกัน หรือบางครั้งแผนการทดลองต่างกัน เวลาวิเคราะห์ผลรวม (combined analysis) ผู้วิเคราะห์อาจต้องใช้วิธีวิเคราะห์ผลโดยใช้

แผนการทดลองที่เหมาะสมที่สุด เช่น ในท้องที่หนึ่งอาจใช้แผนการทดลองแบบ latin square ส่วนอีก 3 ท้องที่ ใช้แผนการทดลองแบบ randomized complete block ทั้ง 4 ท้องที่ เป็นต้น

ในกรณีที่ข้อมูลสูญหายเพียงเล็กน้อย ผู้วิเคราะห์อาจใช้วิธีปรับผลหรือคาดคะเนหาข้อมูลที่สูญหาย (missing data) จากตัวเลขทั้งหมดที่มีอยู่ตามวิธีการของแต่ละแผนการทดลอง หรืออาจใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (covariance analysis) ถ้าหากว่าข้อมูลที่สูญหายไปไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ ของข้อมูลทั้งหมด

ในการวิเคราะห์ผลนี้ ถ้าหากว่าผู้วิเคราะห์ผลการทดลองพบว่ามีบางอย่างผิดปกติ หรือไม่น่าจะเป็นไปได้ทางที่ดีที่สุดต้องมีการตรวจสอบข้อมูล และทำการวิเคราะห์ผลใหม่เพื่อให้แน่ใจ เพราะว่าบางครั้งความพลอเรือหรือจุดข้อมูลผิดๆ อาจเกิดขึ้นได้

11. การสรุปผลการทดลอง

การสรุปผลการทดลองควรให้อยู่ในรูปแบบที่เข้าใจง่ายๆ อาจต้องอาศัยกราฟและตารางประกอบ เพราะจะมองรูปกราฟได้เข้าใจง่ายกว่าตารางที่มีตัวเลขยุ่งๆ ควรหมายเหตุบางอย่างไว้ ถ้าหากว่าผู้ทดลองเห็นว่าอาจมีผลกระทบกระเทือนต่อการทดลองได้ ควรเน้นถึงผลว่ามีประโยชน์อย่างไร มีข้อบกพร่องควรแก้ไขอย่างไร เพื่อที่ผู้อ่านหรือศึกษางานนั้นจะได้เกิดความคิดเข้าใจดีขึ้น