

บทที่ 1 คำนำ

เรื่องการวางแผนการทดลอง (Design) แผนผังแปลงทดลอง (Layout) และการรวบรวมข้อมูล (Data collection) ของงานทดลองไม้ยืนต้น เรียบเรียงจากเอกสารที่ใช้ในการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ สำหรับสถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร โดยฝ่ายวิเคราะห์ทางสถิติร่วมกับโครงการ ACNARP ซึ่งเป็นโครงการที่กรมวิชาการเกษตรได้รับการสนับสนุนด้านการเงินจากทบวงช่วยเหลือต่างประเทศของประเทศออสเตรเลีย (AIDAB) และบริหารโดยกรมวิชาการเกษตรแห่งรัฐออสเตรเลียตะวันตก (WADA)

การจัดให้มีการสัมมนาเชิงปฏิบัติการและเอกสารฉบับนี้ขึ้นเพื่อจะแสดงให้เห็นถึงวิธีการทางสถิติที่ใช้กับงานทดลองไม้ยืนต้น ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญและยังขาดแคลนทั้งในสถาบันวิจัยพืชสวน และฝ่ายวิเคราะห์ทางสถิติ

สำหรับผู้อ่านหนังสือเล่มนี้ จะต้องมีความรู้พื้นฐานความรู้ทางสถิติและการใช้สถิติในงานวิจัยมาก่อน ความรู้ดังกล่าวจะได้จากการฝึกอบรมการอ่านหรือการรับการอบรมหลักสูตรการใช้สถิติในงานวิจัย ที่จัดโดย ฝ่ายวิเคราะห์ทางสถิติ หลักสูตรประกอบด้วย แผนการทดลองพื้นฐาน ได้แก่ การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ แบบละตินแอสควร์ และการทดลองที่ยุ่งยาก ได้แก่ แฟคตอเรียลทั้งแบบครบ (complete) และแบบไม่ครบ (incomplete) สพลิตพล็อต Incomplete Block และ Fractional Replication ตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่าง error degree of freedom และ Power of a test นอกจากนี้ยังมีตัวอย่างเพื่อให้เข้าใจถึงความคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการวิเคราะห์หว่านเหียนซ์ และแบบฝึกหัดในการวางแผนผัง แปลงทดลองและการสุ่ม

ความมุ่งหมายของการจัดการสัมมนาเชิงปฏิบัติการและเอกสารนี้ ก็เพื่อจะให้นักวิจัยได้ทราบถึงปัญหาต่างๆ ทางสถิติที่มักจะเกิดขึ้นในขณะปฏิบัติการทดลองไม้ยืนต้น โดยทั่วไปไม้ยืนต้นเป็นพืชที่มีค่าสูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ มีอายุยืนนานและมักเป็นการทดลองที่ต้องใช้ระยะยาวและลงทุนสูง ดังนั้นการวางแผนจึงต้องประหยัดในแง่การใช้จำนวนต้นต่อแปลงย่อย แต่ต้องคำนึงถึงปัญหาการมีชีวิตอยู่รอดของพืชแต่ละต้นในระยะยาวด้วย ในทำนองเดียวกันนักวิจัยมักจะเผชิญกับปัญหาของการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยละเอียดในเวลาจำกัด และไม่สามารถทำได้ถ้าการทดลองมีขนาดใหญ่หลายๆ โดยวิธีการทางสถิติและเทคนิคในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในงานทดลองใหญ่ๆ โดยวิธีการทางสถิติและเทคนิคในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในงานทดลองไม้ยืนต้นนี้ เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้ว นอกจากทำให้ทราบว่าผลการทดลองเป็นอย่างไรแล้วยังทำให้ทราบสาเหตุว่าทำไมจึงเป็นเช่นนั้น

ด้วยเจตนาอันแรงกล้า จึงได้จัดทำเอกสารฉบับนี้ขึ้นสำหรับนักวิจัยไม้ยืนต้นความรู้ที่ได้ให้ไว้นี้ ควรจะให้นักวิจัยมีพื้นฐานด้านการวางแผนแปลงทดลองและการรวบรวมข้อมูลการทดลองไม้ยืนต้นได้ดี เพื่อจะก้าวหน้าถึงขั้นการใช้โปรแกรมทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยความมั่นใจ และสุดท้ายสามารถแปลผล และรายงานผลการทดลองได้

บทที่ 2 เทคนิคงานวิจัยสำหรับไม้ยืนต้น

2.1 ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology)

2.1.0 ประเภทและระยะเวลาของงานทดลอง (Types and length of trials)

ก่อนที่จะเริ่มโครงการวิจัยใดก็ตาม มีปัญหาหลายประการที่ต้องกล่าวถึงประการแรก คือ การกำหนดประเภทของงานทดลองที่ต้องการศึกษา ซึ่งแบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

ก. การทดลองเพื่อคัดเลือก (Screening Trials) การทดลองประเภทนี้กล่าวได้ว่าเป็นก้าวแรกของโครงการวิจัย และมีประโยชน์สำหรับสถานการณ์ที่ยังไม่ทราบ ตัวอย่างที่ชัดเจนที่สุด ได้แก่ การคัดเลือกพันธุ์หรือหน่อพันธุ์ที่เหมาะสมจากจำนวนทั้งหมดที่มีอยู่ ประโยชน์อีกประการหนึ่งก็คือ ใช้เป็นเทคนิคสำหรับทดสอบเบื้องต้นของทรีตเมนต์ และความเข้มข้นในระดับต่างๆ ที่มีผลต่อไม้ยืนต้นที่ตกผลแล้ว หรือการทดลองใช้ธาตุอาหารระดับต่างๆ ในการทดลองในกระถาง การทดลองประเภทนี้มักจะทำโดยจำนวนซ้ำน้อยๆ ทำการทดลองแห่งเดียวและเป็นการทดลองระยะสั้น หลังจากทดลองเพียง 1-2 ปี ก็ควรจะทราบผลว่าทรีตเมนต์ใดหรือพันธุ์ไหน เหมาะที่จะนำไปทดลองขั้นต่อไป

ข. การทดลองเพื่อพิสูจน์ (Proving Trials) อาจจะกล่าวได้ว่าเป็นงานทดลองที่ปฏิบัติอยู่ทั่วไป นักวิจัยมักจะมีความรู้บางอย่างเกี่ยวกับประสิทธิภาพของทรีตเมนต์มาก่อนและต้องการจะเปรียบเทียบทรีตเมนต์เหล่านั้นในแง่เศรษฐศาสตร์ด้วย การทดลองชนิดนี้ควรจะทำในที่ดินหลายๆ ชนิด ในสภาวะภูมิอากาศต่างๆ กันและการจัดการหลายๆ แบบเท่าที่จะทำได้เพื่อให้ได้รับข้อมูลมากที่สุด สำหรับไม้ยืนต้นควรจะบันทึกผลการทดลองของไม้ที่ตกผลแล้วอย่างน้อย 2-3 ปี และควรมีซ้ำในแต่ละแห่งอย่างน้อยที่สุดก็ให้มีจำนวนซ้ำน้อยๆ เพื่อจะวิเคราะห์หาอิทธิพลรวม (Interaction) ระหว่างทรีตเมนต์และสถานที่ทำการทดลองได้ถูกต้องตามหลักสถิติ

ค. การทดลองเพื่อสาธิต (Demonstration Trials) เป็นการทดลองขั้นสุดท้าย ศึกษาเฉพาะทรีตเมนต์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยทั่วไปจะทำการทดลองในแหล่งที่สิ่งแวดล้อมมีผลกระทบมากที่สุด และควรจะเป็นพื้นที่ๆ เกษตรกรเป้าหมายเข้าถึงได้ง่าย ระยะเวลาของการทดลองขึ้นอยู่กับผลความแตกต่างที่ได้รับ

2.1.1 ลำดับของการทดลอง (Sequence of trials)

ไม่จำเป็นว่าจะต้องทำการทดลองทั้ง 3 ประเภทเรียงกันตามลำดับ ตัวอย่างเช่น ในการทดลองเพื่อคัดเลือกพันธุ์ หลังจากทำการทดลองไปเพียงปีแรกก็อาจจะใช้ข้อมูลการเจริญเติบโตบางประการคัดเลือกพันธุ์ให้เหลือเพียง 8 พันธุ์ เพื่อจะนำไปปลูก ในการทดลองเพื่อพิสูจน์ในปีถัดไป หลังจากทำการทดลองเพื่อพิสูจน์อีก 5 ปี โดยเก็บข้อมูลได้สัก 2 ครั้ง ถ้าพบว่าไม้พันธุ์ที่ดีกว่าพันธุ์อื่นๆ เพียง 3 พันธุ์ ก็จะนำ 3 พันธุ์นี้ไปปลูกเพื่อสาธิตในสถานที่ๆ ให้ผลผลิตสูงๆ ได้ ทำนองเดียวกันงานทดลองทั้ง 3 ประเภทไม่จำเป็นต้องแยกจากกัน

หลังจากได้ข้อสรุปจากการทดลองเพื่อคัดเลือกแล้ว นักวิจัยอาจจะวางแผนการทดลองแปลงใหญ่เพื่อพิสูจน์และสาธิตไปพร้อมๆ กัน ก็จะทำให้ผลการทดลองที่เหมาะสมสำหรับการแนะนำส่งเสริมให้เกษตรกรผู้ปลูกกล้วยไม้ในระยะเวลาเพียง 6 ปีหรือมากกว่าเล็กน้อย

2.1.2 การใช้ต้นไม้ที่มีอยู่แล้ว (Use of Existing trees)

งานทดลองไม้ผลต้องเริ่มตั้งแต่การปลูกจะกินเวลานานทำให้กลายเป็นงานทดลองระยะยาว ทางเลือกทางหนึ่งที่จะให้ได้รับคำตอบเร็วขึ้น คือ เลือกทดสอบทรีตเมนต์ในสวนผลไม้ที่ตกผลแล้ว การปรับข้อมูลให้สม่ำเสมอเป็นเรื่องที่มีประโยชน์มาก เช่น การใช้ผลผลิตของปีที่แล้ว เป็นตัวแปรร่วมในการทดสอบความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ Pearce (1976) พบว่า ผลผลิตของไม้ผลในปีก่อนมักจะสัมพันธ์กับปีถัดไปอย่างดี แต่ข้อมูลชนิดนี้มักจะหายาก ถ้าไม่สามารถหาได้ก็จำเป็นต้องใช้ลักษณะอื่น เช่น ความแข็งแรง ลักษณะหรือขนาดของต้นไม้เป็นตัวแปรร่วมแทน

2.2 แผนผังแปลงทดลอง (Experimental Layout)

2.2.0 หน่วยทดลอง (Experimental Unit)

คำถามที่นักสถิติมักจะถาม คือ “หน่วยทดลองคืออะไร” คำตอบมักจะเป็นว่า “ขึ้นอยู่กับ” หลายปัจจัย เช่น ชนิดและขนาดของพืช ชนิดของทรีตเมนต์ สิ่งแวดล้อมและอาจจะเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด คือ ทรัพยากรที่มีอยู่สำหรับงานทดลองนั้น โดยทั่วไปหน่วยทดลองมักจะมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยมีข้อแม้ว่าการวัดอิทธิพลของทรีตเมนต์ในแปลงที่อยู่ติดกันต้องเป็นอิสระต่อกัน ในการเลือกใช้หน่วยทดลองขนาดเล็กแทนขนาดใหญ่มีเหตุผลดังนี้

- i เมื่อมีทรัพยากรจำกัด การใช้หน่วยทดลองขนาดเล็กทำให้ทำการทดลองได้มาก ซ้ำยิ่งขึ้น
- ii ในแผนการทดลองที่มีการจัดบล็อก หน่วยทดลองขนาดเล็กจะทำให้ขนาดของบล็อกเล็กลงเกิดความสม่ำเสมอภายในบล็อกเดียวกันได้มากขึ้น

ในการทดลองไม้ยืนต้น หน่วยทดลองอาจมี 3 ลักษณะ คือ

ก. Sub-tree plots หมายถึง การใช้ส่วนหนึ่งส่วนใดของต้นไม้ เช่น กิ่ง ดอกหรือผลเป็นหน่วยทดลอง แต่มักจะไม่ใช่น้อยนัก ไม่ควรใช้หน่วยทดลองชนิดนี้เมื่อทรีตเมนต์มีอิทธิพลกับพืชทั้งต้น หรือเมื่อต้นพืชสามารถดูดซึมและถ่ายเท (Mobilise) ได้ เช่น การพ่นสารที่ใบหรือการใช้สารฆ่าศัตรูพืชชนิดดูดซึม ทรีตเมนต์ชนิดเดียวที่จะใช้หน่วยทดลองนี้ได้ คือ ทรีตเมนต์ที่ปฏิบัติกับกิ่ง หรือผลใดๆ แล้วไม่มีผลกับหน่วยที่อยู่ข้างเคียงกัน เช่น การผสมเกสรด้วยมือ การห่อหรือการคลุมผลไม้ เป็นต้น แม้แต่การใช้สารประเภทพ่นที่ไม่ดูดซึมก็ไม่แนะนำให้ใช้ Sub-tree plots เนื่องจากการพ่นทำให้สารเคมีปลิวไปถูกหน่วยทดลองอื่นได้ง่ายมาก

ข. Single-tree plots เป็นที่ยอมรับกันว่าเป็นหน่วยทดลองที่มีขนาดเล็กที่สุดและมีประโยชน์สำหรับงานทดลองหลายประเภท พึงระลึกไว้เสมอว่าหน่วยทดลองที่อยู่ติดกันต้องเป็นอิสระต่อกัน การใช้หนึ่งต้นต่อแปลงย่อย ไม่ควรใช้ในกรณีดังต่อไปนี้

- i. เมื่อมีการปลิวหรือร่วงไหลของทริตเมนต์จากต้นหนึ่งไปสู่ต้นที่อยู่ข้างเคียง
- ii. มีการแก่งแย่งระหว่างต้นแตกต่างกัน ต้นพืชปกติที่ล้อมรอบด้วยต้นที่เหมือนๆ กัน จะให้ผลผลิตต่ำกว่าต้นพืชปกติที่ล้อมรอบด้วยต้นที่อ่อนแอกว่า

ค. Multiple-tree plots ผู้ปฏิบัติการทดลองมักจะสนใจที่จะใช้หน่วยทดลองแบบใช้ต้นไม้หลายต้น ถึงแม้ว่าจะให้ทรัพยากรเพียงพอและยอมให้ใช้จำนวนซ้ำให้น้อยที่สุด แต่งานทดลองบางอย่างก็จำเป็นต้องใช้หน่วยทดลองแบบนี้ ได้แก่

- i. ต้นพืชที่ทดลองมีความแปรปรวนสูงมาก เช่น การปลูกด้วยเมล็ด
- ii. ลักษณะของทริตเมนต์หรือการจัดการไม่เอื้ออำนวยให้ทำแปลงย่อยขนาดหนึ่งต้นได้

2.2.1 ต้นคุมและต้นเก็บผล (Guard VS Datum trees)

สำหรับการใช้ Multiple-tree plots กรณี ค (i) ให้วัดผลจากต้นไม้ทุกต้น แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นข้อมูลของหน่วยทดลองนั้น ดังนั้นต้นไม้ทุกต้นจึงเป็นต้นที่เก็บผล (Datum tree) ในกรณี ค (ii) ปกติจะมีต้นคุมระนาบเดียวหรือสองระนาบก็ได้ ต้นคุม (Guard trees) หมายถึง ต้นที่อยู่ริมนอกสุด (ปกติด้านละต้นเท่านั้น) ซึ่งได้รับทริตเมนต์เดียวกับต้นข้างในแต่ไม่วัดผล เพราะต้นคุมจะได้รับอิทธิพลของทริตเมนต์อื่นจากต้นที่อยู่ติดกัน ต้นคุมจำเป็นต้องได้รับทริตเมนต์เพื่อเป็นการทำให้ต้นข้างในซึ่งเป็นต้นเก็บผล มีการตอบสนองต่อทริตเมนต์เสมือนหนึ่งว่าทั้งสวนได้รับทริตเมนต์นั้นๆ สำหรับไม้ยืนต้นที่โตเต็มที่แล้ว อาจจะใช้วิธีทาสีเป็นแถบรอบต้นโดยใช้สีหนึ่งสำหรับต้นคุม และอีกสีหนึ่งสำหรับต้นเก็บผล ความคิดนี้อาจจะนำมาใช้กับต้นเก็บผลได้ โดยใช้สีต่างๆ สำหรับทริตเมนต์ต่างๆ และใช้สีเดียวกันสำหรับต้นคุมทั้งหมด

2.2.2 จำนวนซ้ำ (Degree of Replication)

มีสูตรทางสถิติที่ใช้คำนวณหาจำนวนซ้ำที่ต้องการได้ ถ้านักวิจัยสามารถกำหนดความแตกต่างระหว่างทริตเมนต์ที่ต้องการ และค่าความแปรปรวน (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) รวมทั้งค่าความผิดพลาดที่อาจจะเป็นไปได้ อย่างไรก็ตามข้อมูลที่สามารถบอกระดับความเชื่อมั่นได้มักจะหายาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับทริตเมนต์ใหม่ๆ หรือพืชและสิ่งแวดล้อมใหม่ๆ

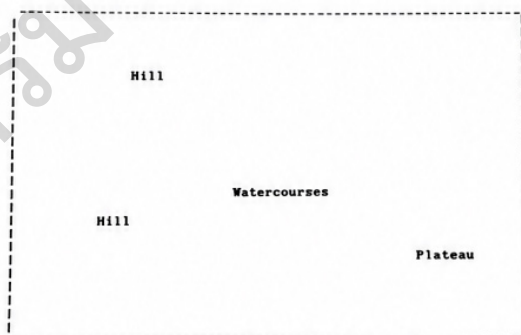
อีกวิธีหนึ่ง คือ ให้อ้างแผนการทดลองที่จะมีโอกาสตรวจสอบความแตกต่างจริงๆ ได้พอสมควรหรือค่อนข้างสูง ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าความสามารถในการตรวจสอบทางสถิติขึ้นอยู่กับจำนวน degree of freedom ของ error เป็นประการแรก ดังนั้น ถ้าการทดลองใดที่ทริตเมนต์แสดงความแตกต่างทางเศรษฐกิจ แต่ไม่

สามารถตรวจสอบความต่างต่างนั้นๆ ทางสถิติได้ เนื่องจากทำซ้ำไม่เพียงพอ ก็จะเป็นการเสียเวลาและทรัพยากรโดยเปล่าประโยชน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดลองไม่ย่นต้นระยะยาว

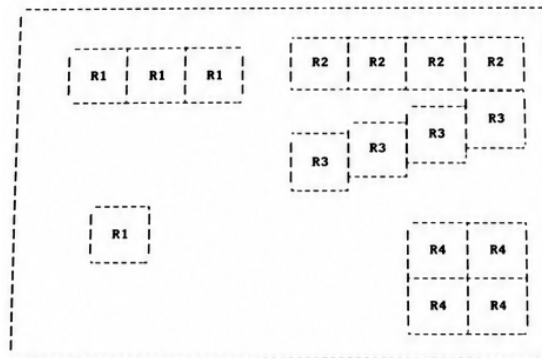
หลักที่นำมาใช้ในการพิจารณาจำนวนซ้ำ คือ error ควรจะมี degree of freedom เท่ากับ 12-15 ถ้าใช้หน่วยทดลองแบบมีต้นบันทึกผลหลายต้น (เช่น 4 ต้น หรือมากกว่า) ถ้าใช้ต้นบันทึกผลต้นเดียว (Single datum tree) ควรจะมี error degree of freedom 25 หรือมากกว่า ให้สังเกตว่าหลักนี้ใช้กับต้นบันทึกผลไม่ใช่จำนวนต้นทั้งหมดในแปลงย่อย อีกประการหนึ่งพึงระลึกว่า ทุกแปลงย่อยที่สูญหายจะทำให้ค่า degree of freedom ของการวิเคราะห์ลดลงหนึ่งค่า ดังนั้นจึงควรจะมีจำนวนซ้ำในขณะเริ่มต้นการทดลองสูงกว่าความจำเป็นขั้นต่ำสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพที่ไม่ทราบหรือเมื่อการทดลองนั้นๆ มีความเสี่ยงค่อนข้างสูง

2.2.3 การจัดบล็อก (Blocking considerations)

นักวิจัยที่มีแปลงเปิดใหม่ จะต้องมีการพิจารณาหลายประการ หลังจากพิจารณาขนาดของแปลงย่อยแล้ว มักจะมีการจัดบล็อกโดยให้ความแปรปรวนในบล็อกเดียวกันมีน้อยที่สุด ปัญหาที่จะเกี่ยวข้องก็มีเรื่องของความลาดเอียง (อาจจะมีสองทิศทาง) ทางระบายน้ำหรือชนิดและความอุดมสมบูรณ์ของดิน และพยายามจัดบล็อกหนึ่งอยู่ในดินชนิดเดียวกันนั้น แต่ก็ยังไม่ง่ายเท่าที่คิด ผลการวิเคราะห์ดินและลักษณะภูมิประเทศอาจจะใช้ในการจัดบล็อก หรืออาจใช้ลักษณะทางภูมิประเทศอย่างเดียวยังจัดบล็อก แล้วใช้ผลของการวิเคราะห์ดินเป็นตัวแปรร่วมในการวิเคราะห์ผล ไม่จำเป็นต้องจัดบล็อกให้มีรูปร่างเหมือนกันทุกบล็อกหรืออยู่ติดกันเป็นผืนเดียวกันตัวอย่าง เช่น นักวิจัยมีพื้นที่ทดลองตามที่แสดงไว้ และต้องการจัดบล็อก 4 บล็อกสำหรับ 4 ทรีตเมนต์ (รูปที่ 1)



การจัดการทดลองอาจทำได้ดังนี้



รูปที่ 1 การจัดบล็อก

การทำสวนผลไม้บนเนิน มักจะปลูกให้แถวอยู่ในลักษณะตั้งฉากกับทิศทางความลาดชัน ปกติจะกำหนดให้แต่ละแถวเป็นบล็อกหนึ่งๆ และการจัดทริตเมนต์ก็กระทำภายในแต่ละแถว บางครั้งความยุ่งยากเกิดจากต้นพืชที่จะปลูกมีขนาดเริ่มต้นไม่เท่ากันให้บันทึกขนาดต้นพืชไว้ เพื่อภายหลังจะได้ใช้เป็นตัวแปรร่วม (พึงระลึกว่าตัวแปรร่วมหนึ่งตัวทำให้สูญเสีย degree of freedom) หรืออาจจะใช้วิธี confound กับบล็อก นั่นคือในบล็อกที่หนึ่งปลูกต้นที่ใหญ่ที่สุด ปลูกพวกที่มีต้นใหญ่เป็นพวกที่สองไว้ในบล็อกที่สอง ฯลฯ ถ้าใช้วิธีนี้ก็อาจจะมีคำถามตามมาว่า ควรจะปลูกต้นใหญ่ที่สุดลงในบล็อกที่ดีที่สุดหรือเลวที่สุด คำตอบจะพบได้ในตอนต่อไป

2.2.4 ความสำคัญของการสุ่ม (Importance of Randomization)

บางครั้งนักวิจัยอาจจะมีความคิดเกี่ยวกับการสุ่มเพียงว่าเป็นทฤษฎีทางด้านสถิติและการวิเคราะห์ผล ตั้งอยู่บนข้อกำหนดของการสุ่ม ดังนั้นงานทดลองที่ไม่มีการสุ่มที่ถูกต้อง จึงไม่อาจจะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติได้ แต่ตามความเป็นจริงแล้วการสุ่มเป็นสิ่งสำคัญของงานทดลองทุกประเภท เพราะเป็นเครื่องมือป้องกันความลำเอียง (Bias) เป็นการง่ายมากที่นักวิจัยจะละเลยการสุ่มโดยเฉพาะในงานทดลองเพื่อสาธิต แต่เสี่ยงไปใช้แผนการทดลองที่ดูคล้ายๆ กับสุ่ม อันตรายอย่างหนึ่งก็คือ ทริตเมนต์ที่นักวิชาการคาดว่าจะดีที่สุดจะถูกจัดไว้แถวหน้าๆ ซึ่งอาจจะมีน้ำดีกว่าแถวอื่นๆ หรืออาจจะได้รับน้ำทิ้งจากเล้าหมู ในสภาพการเช่นนี้ทำให้หมดโอกาสที่จะได้พันธุ์ที่มีผลดีเท่าๆ กัน (หรือดีกว่า) พันธุ์ที่เขาคาดหวังไว้ เพราะพันธุ์อื่นถูกปลูกในสิ่งแวดล้อมที่ด้อยกว่า ทำให้ชาวสวนได้ข้อมูลผิดๆ และปฏิบัติตาม เพราะปกติชาวสวนย่อมต้องการปลูกพันธุ์ที่ดีที่สุดในพื้นที่ๆ ดีที่สุดอยู่แล้ว นี่เป็นตัวอย่างหนึ่งของการลำเอียง

อีกตัวอย่างหนึ่งก็คือ การเก็บเกี่ยวผล การที่ปีนขึ้นต้นไม้ต้นหนึ่งแล้วเก็บตัวอย่างผลที่มองเห็นมาประมาณ 10 ผล เป็นวิธีที่ผิดเพราะปกติผลที่ถูกเก็บมักจะเป็นผลที่สุดุดตา ผลที่ด้อยกว่าจะถูกปล่อยให้

ให้ผลไม้ที่เก็บมาไม่ได้เป็นตัวแทนของแปลงทั้งแปลง สิ่งที่ต้องทำ คือ ให้พิจารณาสุ่มตัวอย่างจากผลไม้ทั้งหมดที่มีอายุเก็บเกี่ยวได้

การสุ่มเป็นพื้นฐานของงานวิจัย แต่นักวิจัยมักจะมองเห็นความสำคัญของมันน้อยเกินไป

2.2.5 การเปลี่ยนแปลงแก้ไขแผนการทดลอง (Refinement of Designs)

การทดลองไม่ย่ำตัน มีลักษณะเป็นการทดลองระยะยาว บางครั้งการยอมรับว่าวางแผนการทดลองไม่เหมาะสม หรือทริตเมนต์ที่ใช้ในการทดลองไม่ได้ให้ผลตามที่คาดไว้ แล้วพยายามเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้ดีขึ้น หรือขยายการทดลองออกไปยอมดีกว่าทำแบบเดิมต่อไป แม้ว่าจะไม่ต้องการให้มีเหตุการณ์นี้เกิดขึ้นก็ตาม กรณีที่เห็นชัดที่สุด คือ เมื่อทริตเมนต์หนึ่งหรือหลายทริตเมนต์ล้มเหลว แต่สามารถหาและชักนำทริตเมนต์ใหม่มาแทนที่กันได้ การเปลี่ยนแปลงนี้ให้เริ่มทำให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ก่อนที่ทริตเมนต์ชุดแรกจะทิ้งร่องรอยความเสียหายอย่างถาวรไว้บนต้นพืช ในกรณีที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ทันเวลาที่ วิธีจัดการที่ดีที่สุด คือ บันทึกลักษณะบางอย่างของต้นพืชขณะที่กำลังจะเปลี่ยนทริตเมนต์ใหม่ไว้ เพื่อใช้เป็นตัวแปรร่วมในการวิเคราะห์ผล ถ้าพิจารณาอีกแง่หนึ่ง การทำแบบนี้อาจจะบดบังความแตกต่างของทริตเมนต์อื่นๆ ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าการทดลองนั้นได้ดำเนินมาเป็นระยะเวลานาน ในสภาพเช่นนี้อาจจะต้องไม่รวมทริตเมนต์ที่ล้มเหลวไว้ใน การวิเคราะห์ผล แต่ใช้แปลงย่อยเหล่านั้นเป็นแปลงสังเกตการณ์เพื่อศึกษาทริตเมนต์ใหม่ๆ ต่อไป

ตัวอย่างแสดงการเปลี่ยนแปลงแก้ไขการทดลองอีกอันหนึ่ง คือ ในแปลงย่อยที่เก็บผลจากต้นไม้หลายต้น เช่น ในแปลงทดลองเปรียบเทียบพันธุ์ แม้ว่าพันธุ์พืชจะเป็นอิสระต่อกันแต่จะมีปัจจัยอื่นๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ระบบการจัดการระดับการให้น้ำ ปุ๋ย การพ่นสาร และการตัดแต่งกิ่งมักจะคงที่ๆ ระดับหนึ่ง ดังนั้นถ้านักวิจัยต้องการจะศึกษาให้กว้างขวางยิ่งขึ้น โดยการเพิ่มระดับของปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวกับการจัดการลงในแต่ละพันธุ์โดยเลือกใช้แผนการทดลอง Split plot design ทำให้สามารถศึกษาหลายปัจจัยไปพร้อมๆ กัน ถ้าพิจารณาว่านักวิจัยได้ลงทุนกับการทดลองเปรียบเทียบพันธุ์และวัดผลไปครั้งหนึ่งแล้ว การทดลองใหม่ที่เกิดขึ้นจะให้ข้อมูลที่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และยังทำให้ทราบว่าพันธุ์ตอบสนองต่อระดับการจัดการต่างๆ เหมือนกันหรือไม่

บทที่ 3 แผนการทดลองสำหรับงานทดลองประเภทต่างๆ

ไม่สามารถจะตั้งเป็นกฎตายตัวได้ว่า แผนการทดลองไหนเหมาะกับการทดลองต่างๆ แบบใด เพราะว่า มีข้อที่จะต้องประกอบการพิจารณาหลายข้อ หัวข้อต่างๆ ที่จะกล่าวต่อไปนี้จะถือว่าเป็นการแนะแนวทางเท่านั้น

3.1 การประเมินความสามารถของหน่อพันธุ์ พันธุ์และต้นตอ (Clonal, Varietal and Rootstock Evaluations)

จุดประสงค์ของการทดลองทั้ง 3 ประเภทคล้ายคลึงกัน อาจจะใช้การรวมตัวระหว่างปัจจัยสองปัจจัย คือ พันธุ์และต้นตอมาทำการทดลอง งานทดลองเหล่านี้ควรเลือกใช้ต้นที่มาจาก การทาบกิ่งถ้าทำได้ เนื่องจาก ต้นที่มาจาก การเพาะกล่ามีแนวโน้มว่าจะมีความแปรปรวนสูงกว่า ในการพิจารณาขนาดของแปลงย่อยที่จะใช้ ให้คำนึงถึงขนาดและความแข็งแรงของต้นพืชเป็นสิ่งสำคัญ ถ้าคาดว่าทุกทรีตเมนต์มีความคล้ายคลึงกัน หรือ ระยะปลูกที่ใช้ค่อนข้างห่างพอที่จะลดการแก่งแย่งระหว่างแปลงย่อยลงได้ การใช้ single tree plot ก็น่าจะเพียงพอ ในทางกลับกัน ถ้าคาดว่ามีความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ หรือจะใช้ระยะปลูกถี่หรือทั้งสองประการ ก็จำเป็นต้องใช้ต้นคุ่ม วิธีแก้ปัญหามีอีกวิธีหนึ่ง คือ แบ่งทรีตเมนต์ออกเป็นกลุ่มๆ ที่มีลักษณะหนึ่ง เช่น ความแข็งแรง (Vigour) เรียงกันตามลำดับ และให้กลุ่มที่อยู่ติดกันมีทรีตเมนต์บางส่วนซ้ำกัน โดยแต่ละกลุ่มแยก ออกเป็นแต่ละการทดลอง หลังจากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มโดยวิธีของ Pearce (1976) หน้า 82-83

3.2 งานปรับปรุงพันธุ์ (Breeding Experiments)

เนื่องจากแต่ละชั่วอายุของพืชจะผลิตลูกผสมจำนวนมากเพื่อใช้หาพันธุ์ดีจึงเหมาะที่จะใช้การทดลอง เพื่อคัดเลือก และในการคัดเลือกพันธุ์นี้จะเป็นการดีถ้าสามารถรวมขั้นตอนการเลือกเพื่อหาพันธุ์ทนทานต่อโรค ตั้งแต่ระยะแรกที่พืชยังมีอายุน้อยๆ เพราะจะเป็นการเร่งให้ได้ผลเร็วขึ้น

3.3 การทดลองเกี่ยวกับการใช้ปุ๋ยและน้ำ (Soil Fertilizer and Irrigation Trials)

งานทดลองสองประเภทนี้ถูกจัดเป็นกลุ่มเดียวกัน เพราะเป็นงานประเภทที่ทรีตเมนต์มีการเคลื่อนไหว มาก (Mobile) โดยเฉพาะอย่างยิ่งรากจากแปลงย่อยที่ไม่มีการใช้ทรีตเมนต์ (Control) มักจะรูก้าไปแปลงข้างเคียงที่ได้รับทรีตเมนต์ระดับสูงกว่า ยกเว้นในงานทดลองที่มีการให้น้ำและปุ๋ยในระบบไมโคร (micro-irrigation and fertigation) ซึ่งมีการให้ทรีตเมนต์ใกล้โคนต้นและพืชแต่ละต้นพัฒนาระบบการหาอาหารของ รากเฉพาะในบริเวณนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นดินทรายที่การซึมของน้ำในแนวระนาบถูกจำกัด แต่ โดยทั่วไปแล้วงานทดลองเกี่ยวกับการให้น้ำและปุ๋ยมักใช้แปลงย่อยที่มีขนาดใหญ่และมีต้นคุ่ม ทรีตเมนต์แบบนี้ เหมาะกับการใช้เป็น main plot ในการทดลองแบบ Split plot design

3.4 การทดลองเกี่ยวกับระยะปลูกและจำนวนต้น (Spacing or Density trials)

หลายปีที่ผ่านมา ผู้เขียนตำราหลายท่าน รวมทั้ง Pearce 1976 ได้แนะนำแผนการทดลองแบบหนึ่ง ชื่อ Systematic Design แผนการทดลองแบบนี้จำนวนต้นพืชที่ปลูกจะเปลี่ยนแปลงจากมากไปหาน้อยติดต่อกัน แผนผังแปลงทดลองมักจะเป็นรูปกลมหรือรูปพัด หรือเป็นแถวๆ ต้นพืชแต่ละต้นเป็นหน่วยทดลองย่อยหนึ่งหน่วย และวิเคราะห์ผลโดยใช้การคำนวณเป็นสมการการตอบสนองต่อความหนาแน่นของต้นพืช แผนการทดลองแบบนี้มีผู้นำไปทดลองใช้อยู่บ้างพอสมควร

กล่าวโดยหลักสถิติแผนการทดลองนี้ไม่ค่อยจะน่าสนใจ เพราะผลที่วัดได้จะมีโอกาส “Bias” มาก แต่ในเชิงปฏิบัติถือว่าแผนการทดลองนี้มีประสิทธิภาพมาก ถ้าสามารถป้องกัน Bias ได้อย่างแน่นอน ก็อาจจะแนะนำให้ใช้แผนการทดลองนี้ได้ โดยกำหนดให้แปลงย่อยประกอบด้วยต้นวัดผลแถวเดียวหรือหลายๆ แถว แต่ละแถวเรียงความหนาแน่นของต้นพืชจากน้อยๆ ไปสู่ความหนาแน่นมากๆ ตามลำดับ มีข้อควรระมัดระวัง 2 ข้อ คือ

1. ทำการทดลองอย่างน้อย 4 ซ้ำ และต้องแน่ใจว่าตรงเขตติดต่อกันระหว่างซ้ำหนึ่งๆ นั้นไม่เป็นทรีตเมนต์เดียวกัน นั่นคือ ต้องไม่ให้ต้นที่หนาแน่นที่สุดของแต่ละซ้ำมาอยู่ติดต่อกัน เหมือนที่เกิดในการทดลองแบบวงกลม

2. แต่ละแปลงทดลองต้องมีต้นคุมทุกทิศรอบนอก คือ ต้องมีแถวคุมและหัวท้ายแถวจะต้องมีต้นคุมอย่างน้อยด้านละ 1 ต้น และให้สังเกตว่าผู้ทดลองอาจใช้แถวคุมร่วมได้ ถ้าสามารถจัดการได้ถูกต้อง

ผู้ทดลองอาจจะทำการทดลองแบบ Randomized replicated trial แทนการใช้ Systematic Design ได้ แต่จะต้องลดจำนวนความหนาแน่นของต้นพืชลงเหลือเพียงประมาณ 5 ทรีตเมนต์ และจะลดความลำเอียงได้โดยการสุ่ม แต่การทดลองแบบนี้ต้องมีแถวคุมสำหรับทุกทรีตเมนต์ เพราะว่าการแก่งแย่งของต้นพืชถือเป็นความสำคัญประการแรกของการทดลอง แต่ถ้าสวนที่ทดลองปลูกพืชเป็นแถวๆ (row) โดยใช้ระยะระหว่างแถวเท่ากับระยะระหว่างต้นของทรีตเมนต์ที่มีความหนาแน่นน้อยก็ต้องการต้นคุมระนาบเดียวเท่านั้น (ไม่ต้องมีแถวคุม) เช่น

I-----X-----O-----X-----I
ต้นคุม ต้นวัดผล ต้นคุม

หรือ

I-----X-----O-----O-----X-----I
ต้นคุม ต้นวัดผล ต้นคุม

แปลงย่อย

แปลงย่อย

ในกรณีปลูกแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสามเหลี่ยม จะต้องมีการต้นคุมโดยรอบ ดังนั้นถ้าต้องการต้นเก็บผล 1 ต้น จะต้องปลูกแปลงย่อยที่มี 9 ต้น หรือแปลงย่อยที่ปลูก 16 ต้น จะได้ต้นเก็บผล 4 ต้น

นักวิจัยจะต้องเผชิญกับปัญหาที่ต้องเลือกระหว่างแปลงย่อยที่ใช้จำนวนต้นพืชเท่ากันแต่พื้นที่ต่างกัน หรือพื้นที่เท่ากันแต่จำนวนต้นต่างกัน โดยเหตุผลแล้วผู้วิจัยมักจะชอบประการหลัง

3.5 การทดลองเกี่ยวกับถอนแยก (Thinning Trials)

การถอนแยกจะทำเมื่อปลูกต้นไม้หนาแน่นมาก จนการแก่งแย่งระหว่างพืชเกิดเป็นปัญหาขึ้น หรือทำหลังจากปลูกแล้วตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ หลังจากการถอนแยกแล้วการแก่งแย่งจะลดลงจนถือว่าไม่มี ทำให้ใช้ single tree plot ได้ ดังนั้นแผนการทดลองที่ใช้ เมื่อเริ่มต้นควรจะต้องประกอบด้วยแปลงย่อยที่ปลูกพืชหลายๆ ต้นรวมทั้งมีต้นคุ่ม หลังจากการถอนแยกแล้วจะกลายเป็น single tree plot ต่อไป

3.6 การตัดแต่งกิ่งและการแต่งทรงพุ่ม (Pruning and tree-shaping Experiments)

การแก่งแย่งระหว่างแปลงย่อยอาจจะถูกกระทบกระเทือนขึ้นอยู่กับการปฏิบัติของทรีตเมนต์ทำให้ต้องการต้นคุ่ม แต่อย่างไรก็ดีถ้าอิทธิพลของทรีตเมนต์ที่วัดได้ในต้นพืชแต่ละต้นเป็นอิสระกัน อาจจะใช้ single tree plot ได้ ทรีตเมนต์ประเภทนี้มักจะมีอิทธิพลต่อข้อมูลลักษณะอื่น เช่น ความสูงของต้น เส้นผ่าศูนย์กลางและปริมาตรของทรงพุ่ม เป็นต้น และโดยทั่วไปผลผลิตและเส้นรอบวงลำต้นเป็นตัวแปรสำคัญที่สุดในงานทดลองประเภทนี้

3.7 การศึกษาเกี่ยวกับโรคและแมลง (Pathology and Entomology Studies)

การระบาดของไม่สม่ำเสมอเป็นเรื่องปกติที่มักจะก่อให้เกิดปัญหาในการทดลองประเภทนี้ เพราะความแปรปรวนสูงจึงมักจะจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนตัวอย่างและจำนวนซ้ำในการทดลอง ข้อมูลที่พบบ่อย คือ ข้อมูลแบบทวิภาค (Binary) เช่น การพบหรือไม่พบศัตรูพืชที่ทำให้เกิดโรคซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการนับ ข้อมูลเหล่านี้มักจะมีค่าความแปรปรวนต่ำ และมักจะต้องใช้วิธีการแปลงข้อมูลให้มีการแจกแจงปกติก่อนจะวิเคราะห์ เช่น ใช้ $\ln(x+1)$

3.8 การทดลองเกี่ยวกับการพ่นสาร (Spraying Trial)

ทรีตเมนต์ของการทดลองนี้มักจะเป็นการพ่นสารเคมีเพื่อยับยั้งโรคและแมลง อาจรวมถึงสารเร่งการเจริญเติบโตหรือการให้ปุ๋ยทางใบ ทั้งหมดมีหลักการคล้ายกันและขึ้นอยู่กับวิธีการให้ทรีตเมนต์ การทดลองเพื่อคัดเลือกที่เกี่ยวข้องกับทรีตเมนต์จำนวนมากควรใช้เครื่องพ่นสะพายหลัง ซึ่งถ้าไม่มีลมแรงก็เชื่อว่าจะมีผลเฉพาะต้นพืชที่ได้รับการพ่นสารเท่านั้น ดังนั้นอาจจะใช้ single tree plot ได้ เพื่อความแน่ใจควรใช้เครื่องกีดขวาง เช่น แผ่นกระดานหรือผ้ากันไว้ใต้ลมหรือระหว่างต้นที่อยู่ติดกัน การทดลองขนาดใหญ่เพื่อพิสูจน์หรือการทดลองเพื่อสาธิต ซึ่งใช้เครื่องพ่นสารแบบใหญ่เชิงพาณิชย์ ต้องใช้แปลงขนาดใหญ่ที่มีต้นคุ่มเสมอ เนื่องจากวิธีการพ่นนี้มักจะมีผลต่อต้นข้างเคียง

ปัญหาใหญ่ประการหนึ่งในการทดลอง เรื่องโรคและแมลง คือ การเลือกทรีตเมนต์เพื่อทดลอง โดยเฉพาะเมื่อทรีตเมนต์มีประสิทธิภาพต่างกันมากจะพบว่า แปลงที่ได้รับทรีตเมนต์ที่มีประสิทธิภาพ (effective) จะมีการระบาดของโรคและแมลงจากแปลงที่อยู่ล้อมรอบ ซึ่งได้รับทรีตเมนต์ที่ไม่ประสิทธิภาพ (Non-effective) มากกว่าที่ควรจะเป็น เมื่อทั้งสองได้รับทรีตเมนต์ที่มีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดการประมาณประสิทธิภาพของทรีตเมนต์ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง นักวิจัยบางคนยอมรับโดยให้เหตุผลว่า เมื่อนำทรีตเมนต์นี้ไปใช้จะได้ผลตอบสนองเช่นเดียวกันหรือดีกว่านี้ แต่ที่ไม่สามารถยอมรับมีเหตุผล 2 ประการ คือ ประการแรก ไม่มีตัวชี้ให้เห็นว่ามี “Bias” เท่าใด นั่นคือจะดีกว่าเท่าใด ประการที่สอง การประมาณค่าทางเศรษฐกิจเกี่ยวกับชนิดหรือจำนวนครั้งการพ่นสารอาจจะผิดพลาด

วิธีประนีประนอมที่ให้ผลน่าพอใจที่สุด คือ ใช้แผนการทดลองที่สามารถเปลี่ยนแปลงทรีตเมนต์ได้ง่าย ถ้าพบทรีตเมนต์ที่ไม่มีประสิทธิภาพตั้งแต่ในระยะแรกๆ ของการทดลองก็ให้เปลี่ยนใช้ทรีตเมนต์ที่มีประสิทธิภาพ ก่อนที่ศัตรูพืชในแปลงนั้นจะสะสมมากขึ้น วิธีนี้รวมถึงปัญหาของการมีแปลง control 2 แปลง ได้แก่ การพ่นสารที่ใช้เป็นมาตรฐานในเชิงพาณิชย์กับการไม่พ่นสารเลย สังเกตได้ชัดว่า ในปีที่มีโรคแมลงระบาดรุนแรงในแปลงที่ไม่พ่นสาร การระบาดจะเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว และมักพบเหตุการณ์เช่นนี้แทบทุกปี ผู้เขียนตำราหลายท่านแนะนำให้ทำเฉพาะแปลง control ที่พ่นสาร แต่ให้สุ่มตัวอย่างทรีตเมนต์ไม่พ่นสาร จากพื้นที่ๆ ล้อมรอบสวนทดลองนั้นหลายๆ แปลง เพื่อใช้พิจารณาปริมาณศัตรูพืชจริงๆ ในธรรมชาติ

3.9 การสำรวจประชากร (Population Surveys)

การสำรวจประชากร คือ งานทดลองที่ไม่ได้กำหนดทรีตเมนต์อย่างมีรูปแบบและมีวัตถุประสงค์ เพื่อประมาณค่าเฉลี่ยและการกระจายของประชากร ในการศึกษาอัตราและทิศทางของการกระจายของประชากร หนึ่งๆ อาจจะใช้ระเบียบวิธีทางสถิติแบบ 2 มิติ ซึ่งจะยุ่งยากกว่าแบบปกติ ปัญหาสำคัญของงานทดลองชนิดนี้ คือ การพิจารณาเกี่ยวกับการสุ่มตัวอย่าง ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อ 4.2

3.10 การทดลองหลังเก็บเกี่ยว (Post-harvest Trials)

เป็นการทดลองที่กว้างค่อนข้างซับซ้อนและมีข้อพิจารณาที่แตกต่างไปจากงานทดลองไม่ย่นต้นทั่วไป งานทดลองหลังเก็บเกี่ยวมักเกี่ยวข้องกับทรีตเมนต์ที่มีจุดประสงค์ในการยืดอายุการเก็บรักษาสีและรสชาติของผลไม้จึงเป็นตัวแปรสำคัญและตัวแปรนี้อาจจะวัดได้โดยการวิเคราะห์ทางเคมี ทางกายภาพหรือโดยใช้กลุ่มผู้ชิมรส (Test Panel) ปกติจะใช้ผลไม้จำนวนหนึ่งเป็นหน่วยทดลอง เว้นแต่ว่าผลไม้ชนิดนั้นจะมีขนาดใหญ่หลายๆ เช่น ผลทุเรียน หรือมีปริมาณผลไม้จำกัด มักจะใช้แหล่งที่มาของผลไม้เป็นบล็อก เช่น ผลไม้จากต้นเดียวกันหรือจากหลายต้นที่มาจากพันธุ์เดียวกันและสวนเดียวกัน เป็นต้น แม้แต่การทดลองโดยใช้กลุ่มผู้ชิมรส ซึ่งมักจะใช้ Incomplete block design โดยแบ่งเป็นกลุ่มย่อยก็ยังต้องใช้แหล่งที่มาของผลไม้เป็นซ้ำ

การทดสอบแบบแน่นอน (Objective tests) เช่น การวัดผลโดยวิธีวิเคราะห์ทางเคมี จะเป็นการทดสอบที่คนสนใจกว่า เพราะว่าผลที่ได้จะแน่นอนและตรงไปตรงมา แต่ลักษณะบางอย่างของไม้ผล เช่น รสชาติ กลิ่น และความชอบของแต่ละบุคคล จะไม่สามารถวัดผลออกมาด้วยวิธีที่แน่นอนได้ ดังนั้นถ้าผู้ทดลองต้องการวัดลักษณะเหล่านั้นจริงๆ ก็จะต้องใช้วิธีทดสอบทางอ้อม (Subjective tests) ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบทางอ้อมและวิธีการวางแผนการทดลองเพื่อแก้ปัญหาต่างๆ จะได้กล่าวถึงลำดับต่อไป

3.10.0 ปัญหาเกี่ยวกับการทดลองโดยกลุ่มการชิมรส (Problem associated with taste panel experiments)

ผู้ชิม (Taster) เนื่องจากเป็นมนุษย์ปุถุชน จิตใจมักเปลี่ยนแปลงง่ายหรือการให้คะแนนมักไม่คงที่

จำนวนตัวอย่างต่อผู้ตัดสิน (Number of samples per panelist) ยกเว้นผู้ตัดสินที่ได้รับการฝึกฝนอย่างดีเยี่ยม เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าตัวอย่างมากที่สุดที่จะให้ผู้ตัดสินให้คะแนนอย่างถูกต้องที่สุดต่อการชิม 1 ครั้ง คือ 4-6 ตัวอย่าง

เวลาของการทดสอบ (Timing of session) เป็นที่ทราบกันดีว่า เวลาในแต่ละวัน และวันในแต่ละสัปดาห์ของการทดสอบครั้งหนึ่ง จะมีผลอย่างมากต่อการให้คะแนน

แรงจูงใจ (Motivation) ผู้ตัดสินที่หลักแหลมสามารถแยกแยะความแตกต่างได้ดีในการทดลองขนาดใหญ่ ผู้ตัดสินจะสิ้นความอยากตัดสินก่อนที่จะหมดความสามารถและผู้ตัดสินที่ไม่ชอบสิ่งที่นำมาให้ตัดสินทั้งหมด มักจะไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างได้

การฝึกหัด (Training) งานทดลองบางประเภทผู้ตัดสินควรจะได้รับการฝึกหัดให้สามารถตรวจพบความแตกต่างได้ ดังนั้นถ้ามีผลิตภัณฑ์ที่จะต้องทดสอบหลายๆ ชนิดก็จะก่อให้เกิดปัญหาได้

การให้คะแนน (Scoring) คะแนนที่ตัวอย่างหนึ่งจะได้รับมักจะขึ้นอยู่กับคะแนนของตัวอย่างที่ได้รับก่อนหน้านี้

สิ่งแวดล้อม (Environment) ผู้ตัดสินที่อยู่ในสภาพสบายไม่เครียด และไม่เร่งรีบมักจะแยกแยะความแตกต่างได้ดีขึ้น สภาพเช่นนี้มักจะหาได้ยาก

ความพร้อม (Availability) เป็นการยากที่จะให้ผู้ตัดสินทั้งหมดมาครบทุกครั้งที่ทดสอบ แต่ถ้าผู้ตัดสินขาดหายไปเป็นจำนวนมากๆ จะทำให้เกิดปัญหาได้

สิ่งรบกวน (Nuisance factors) คือ กลิ่นหรือรูปลักษณะของตัวอย่างมีอิทธิพลต่อการให้คะแนนการชิม

ความรู้ (Knowledge) หากผู้ตัดสินทราบว่าตัวอย่างคืออะไรหรือทราบแหล่งที่มาของตัวอย่าง เขาอาจจะมีความคิดเห็นไว้มาก่อนว่าควรจะให้คะแนนอย่างไร

นักวิจัยพืชสวนเป็นผู้ใช้กลุ่มประเมินคุณภาพ (Quality evaluation panels) มากที่สุด ผู้ตัดสินควรได้รับการฝึกฝนอย่างสูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ จำนวนผู้ตัดสินขึ้นอยู่กับความชำนาญของคนเหล่านั้น (ปกติใช้ 10-20 คน) การประเมินคุณภาพนั้น ใช้การให้คะแนนทั้งในรูปของคะแนนการชิมจริง (absolute taste score) และคะแนนเชิงเปรียบเทียบ (comparative score) สำหรับผลิตภัณฑ์หลายๆ ชนิด ทำให้แตกต่างกับการทดสอบโดยใช้กลุ่มผู้ตัดสินแบบอื่น ๆ ซึ่งสนใจเพียงวิธีการให้คะแนนเชิงเปรียบเทียบเท่านั้น ในกลุ่มผู้ประเมินคุณภาพได้มีการพยายามที่จะจัดระบบการให้คะแนนให้เป็นรูปแบบเดียวกัน การชิมรสเพื่อประเมินคุณภาพเป็นเพียงขั้นตอนหนึ่งของวิธีประเมินคุณภาพที่ยั่งยืน คะแนนคุณภาพรวมจะประกอบด้วยคะแนนเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักจากลักษณะต่างๆ กลุ่มหนึ่ง

3.10.1 แบบแผนการทดลองเพื่อใช้ในการทดลองการชิม (Design for taste panel Experiments)

ก. การทดสอบตัวอย่างคู่ (Paired Sample Test) ผู้ชิมถูกกำหนดให้ชิมสองตัวอย่างและต้องหาตัวอย่างที่ดีกว่า หรือตัวอย่างที่ตนชอบมากกว่าให้ได้ การทดสอบนี้มักจะใช้ในการทดลองหาความชอบของผู้บริโภค การวิเคราะห์ผลค่อนข้างจะตรงไปตรงมาโดยการเปรียบเทียบจำนวนครั้งของความสำเร็จกับจำนวนครั้งทั้งหมดของการทดสอบและใช้ความน่าจะเป็น (Probability) ซึ่งให้เห็นถึงระดับนัยสำคัญได้ ผู้ตัดสินที่ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างได้มีโอกาสเลือกตัวอย่างถูก (สำเร็จ) ได้ร้อยละห้าสิบ และเพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการคำนวณของแต่ละการทดลองจึงมีผู้สร้างตารางสำเร็จรูปไว้สำหรับใช้ตัดสินหลายตาราง

ข. การทดสอบสามเหลี่ยม (Triangle Test) การทดสอบนี้มี 3 ตัวอย่าง ซึ่ง 2 ตัวอย่างเหมือนกัน ตัวอย่างหนึ่งแตกต่างออกไปและผู้ตัดสินจะต้องชี้ตัวอย่างที่ต่างออกมาให้ได้ การวิเคราะห์ผลทำได้คล้ายกับการทดสอบตัวอย่างคู่ แต่มีข้อแตกต่าง คือ ต้องใช้ตารางอีกชุดหนึ่ง และโอกาสที่จะเลือกตัวอย่างถูกมีร้อยละ 33.3 การทดสอบนี้นิยมใช้มากกว่าการทดสอบตัวอย่างคู่

ค. แผนการทดลองที่มีบล็อก (Block Design) แผนการทดลองโดยการจัดบล็อกนี้ใช้เพื่อการประเมินคุณภาพอย่างกว้างขวาง แต่ทุกครั้งผู้ตัดสินจะต้องให้คะแนนตัวอย่าง (treatment) จำนวนหนึ่ง เนื่องจากการ

ทดลองแบบจัดกลุ่มขึ้นอยู่กับความแปรปรวนหลายแหล่ง การใช้แผนการทดลองแบบจัดบล็อกจึงเหมาะสมกว่าแบบสุ่มตลอด แม้จะมีแผนการทดลองที่จะทดสอบจำนวนทรีตเมนต์เท่าใดก็ได้ (ถ้ายังสมเหตุผล) แต่ก็ควรจะให้จำนวนทรีตเมนต์น้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้ เพราะว่าการทดลองแบบธรรมดาจะให้ข้อมูลมากกว่ารวมที่ง่ายในการปฏิบัติและการวิเคราะห์ผล ถ้าจำนวนทรีตเมนต์มีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 6 ก็ใช้ RCB ได้ โดยในแต่ละครั้งให้ผู้ตัดสินแต่ละคนตัดสินแต่ละทรีตเมนต์ ในที่นี้บล็อก คือ ครั้งและหรือผู้ตัดสิน ในกรณีที่จำนวนทรีตเมนต์มากกว่า 6 ต้องใช้แผนการทดลองพิเศษ เช่น Randomized Incomplete blocks หรือ Square Lattice และ Rectangular Lattice แผนการทดลองเหล่านี้ค่อนข้างจะยุ่งยากจึงต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง ผู้ทำการทดลองที่ตั้งใจจะใช้แผนเหล่านี้ควรจะปรึกษานักสถิติหรือใช้หนังสือสถิติมาตรฐาน เช่น Cochran and cox (1957)

ในการตัดสินทรีตเมนต์ ผู้ตัดสินอาจจะใช้วิธีเรียงลำดับหรือการให้คะแนนก็ได้ดังนี้
วิธีให้ลำดับที่ (Ranking Method) เป็นการจัดลำดับที่ของทรีตเมนต์ตามความชอบ ข้อได้เปรียบของวิธีนี้ คือ เป็นการขจัดปัญหาความแปรปรวนในการให้คะแนนของผู้ตัดสิน ดังนั้นถ้ามีปัญหาเกี่ยวกับข้อมูลแบบคะแนน ก็อาจจะเปลี่ยนให้เป็นข้อมูลแบบลำดับที่ได้ ข้อเสียของวิธีนี้ คือ ลำดับที่เป็นตัวเลขที่ไม่มีความยืดหยุ่น ตัวอย่างสองตัวอย่างที่ผู้ตัดสินพบว่าแตกต่างกันมาก แต่จะได้ลำดับที่ต่างกันเท่ากับที่อีกสองตัวอย่างที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยได้รับ และถึงแม้ว่าผู้ตัดสินไม่สามารถชี้ข้อแตกต่างระหว่างตัวอย่างสองตัวอย่างได้ เขาก็ยังจะจัดลำดับให้ตัวอย่างหนึ่งสูงกว่าอีกตัวอย่างหนึ่งอยู่ดี (ทั้งๆ ที่ในการทดลองบางอันอนุญาตให้จัดอยู่ในลำดับเท่ากันได้) การวิเคราะห์ผลมักจะยาก เว้นแต่เป็นการทดลองแบบง่าย ๆ ข้อมูลอาจจะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นรูปที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์หว่านเหรี้นซ์ หรือใช้การทดสอบแบบ Non-parametric

วิธีให้คะแนน (Scoring Method) ผู้ตัดสินให้คะแนนแต่ละตัวอย่าง คะแนนที่ให้อาจจะเป็นตัวเลขจริงรวมทั้งเศษส่วนหรือเป็นตัวเลขกำหนด เช่น 1-9 หรือโดยการทำเครื่องหมายบนมาตราวัดระยะ แล้วเปลี่ยนเป็นคะแนนภายหลัง

วิธีมาตรฐานที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลคะแนน ได้แก่ การวิเคราะห์หว่านเหรี้นซ์ แม้ว่าเมื่อพิจารณาข้อมูลแล้วปรากฏว่า ยังมีข้อสงสัยว่าจะไม่เป็นไปตามข้อกำหนดบางข้อของทางเทคนิคนี้ ถ้าจำเป็นเราอาจจะเปลี่ยนข้อมูลที่เป็นคะแนนให้เป็นข้อมูลลำดับที่ แล้วเลือกหาวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมต่อไป แต่การเปลี่ยนข้อมูลนี้แม้ว่าจะทำให้ทดสอบได้ปลอดภัยกว่า แต่เราจะสูญเสียรายละเอียดไป ดังนั้นการทดสอบจึงมีประสิทธิภาพน้อยลง

สำหรับผู้สนใจเรื่องการทดสอบโดยการชิมนี้ จะศึกษาได้ในหนังสือของ Bradley (1953) Cochran and cox (1957) และ Kramer and Twiggs (1966)

3.11 งานทดลองในห้องปฏิบัติการหรือในเรือนทดลอง (Laboratory or Green-house Trials)

เป็นการทดลองที่เกี่ยวข้องกับไม้ยืนต้น แต่มีข้อพิจารณาที่ต่างออกไป งานทดลองในเรือนทดลองที่พบ บ่อยที่สุด คือ งานศึกษาเรื่องความต้องการปุ๋ยของพืช สำหรับงานทดลองแบบนี้จำนวนปีที่ใช้มักจะเป็น 5-8 ทริตเมนต์ เริ่มจากระดับศูนย์ และระดับที่พอเพียง จะทำการวัดอัตราการเจริญเติบโตของต้นพืช (เช่น การเปลี่ยนแปลงในเรื่องของความสูงและน้ำหนัก) ตลอดหนึ่งปี เพื่อคำนวณหาว่าต้นพืชตอบสนองต่อธาตุอาหาร ตัวไหน ธาตุอาหารตัวไหนที่ไม่ทำให้พืชตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญจะถูกคัดออกจากการทดลองครั้งต่อไปใน ห้องที่นั้น ถ้าจำนวนของธาตุอาหารที่ต้องการทดสอบมีมาก (มากกว่า 5) อาจจะใช้แผนทดลองแบบ Fractional replication

หน่วยทดลองมักจะเป็นกระถางหรือถังที่ปลูกพืชหนึ่งต้นหรือมากกว่าหนึ่งต้น การบล็อกรวมจะใช้ แหล่งที่มาของต้นพืช ดินหรือสถานที่ภายในเรือนทดลองนั้น โดยทั่วไปเรายอมรับว่า แต่ละกระถางไม่ควรจะ ถูกสุมใหม่ทุกวัน เพราะอาจจะทำให้เกิดความเสียหายได้ อย่างไรก็ตาม ในระหว่างช่วงของการทดลอง ควรจะ ทำการสุมใหม่หนึ่งถึงสามครั้ง ถ้ามีทรัพยากรจำกัดให้ใช้สถานที่หรือเวลาเป็นซ้ำได้

3.12 งานส่งเสริมในแปลงเกษตรกร (On-farm Extension Trials)

งานนี้มักจะเป็นงานทดลองสาธิต ซึ่งนักวิจัยมีความเชื่อมั่นในผลของการทดลองและต้องการจะ เผยแพร่ข้อมูลไปสู่หมู่เกษตรกร จำนวนทริตเมนต์ควรมีน้อย มักจะมีเพียง 2 ทริตเมนต์ คือ วิธีปฏิบัติของ ชาวบ้านและวิธีใหม่ที่แนะนำ ใช้ซ้ำเพียง 2-3 ซ้ำ และมักจะใช้แปลงขนาดยาวกว่างานทดลองอื่นๆ เนื่องจากการปฏิบัติ (เช่น เทคนิคการจัดการดิน) ถ้าใช้วิธีการจัดการที่คาดว่าจะได้ผลดีหรือการตอบสนองของแปลง ทดลองต่างๆ เป็นไปด้วยดีแล้ว นักวิชาการต้องการทดลองทริตเมนต์อื่นๆ เพิ่มขึ้น แผนการทดลองที่เหมาะสม ที่สุด คือ split plot design แต่มีข้อแม้ว่าให้เว้น 2-3 แถวแรกๆ ไว้ให้เกษตรกรในท้องถิ่นดูเมื่อมีงานวันเกษตรกร หรือเมื่อมีการนัดพบเกษตรกร

บทที่ 4 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลในไม้ยืนต้น

ในส่วนนี้จะสำรวจถึงชนิดของการเก็บข้อมูลในการทดลองพวกไม้ยืนต้น การเก็บตัวอย่างในแปลงทดลอง และเทคนิคการจดบันทึกข้อมูลซึ่งอาจจะต้องนำมาใช้

สิ่งสำคัญที่สุดที่ควรจำไว้เกี่ยวกับการเก็บข้อมูลก็คือ ข้อมูลที่รวบรวมมาได้นั้นไม่เพียงแต่จะแสดงถึงความแตกต่างของ treatment เท่านั้น แต่ควรที่จะอธิบายถึงความแตกต่างและสมมุติฐานที่ตั้งไว้ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลองด้วย การวางแผนการทดลองแบบประหยัดซึ่งมีต้นทุนน้อยๆ จะทำให้นักวิจัยเก็บข้อมูลได้มากกว่าเก็บข้อมูลจากแปลงขนาดใหญ่

4.1 ชนิดของข้อมูล ที่เก็บในการทดลองไม้ยืนต้นนั้นมีหลายชนิด แต่ที่จะเน้นในที่นี้นั้นจะเป็นชนิดที่ใช้เฉพาะสำหรับนักวิชาการทางด้านไม้ผล นักขยายพันธุ์พืช และนักวิชาการทางสรีรวิทยาของพืชมากกว่างานวิจัยในสาขาอื่นๆ

ชนิดของข้อมูลที่จะเสนอในที่นี้จะไม่ละเอียดหรือพิสดารนัก เนื่องจากชนิดของข้อมูลและการจดบันทึกอาจจะเบี่ยงเบนไปจากความคิดและจินตนาการของนักวิจัย

สิ่งที่พยายามจะเสนอในที่นี้ก็คือ การกล่าวอย่างกว้างๆ ถึงวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไปในการวัดตัวแปร และการอธิบายอย่างสั้นๆ ถึงความสำคัญในการตีความการทดลอง (ดู Pearce 1976 และ Section 4-1.5 เพิ่มเติม) เพื่อความสะดวกเราจะจัดแบ่งชนิดของข้อมูลดังนี้

4.1.0 ข้อมูลปฐม (Primary Variables)

- ก) ข้อมูลก่อนการปลูก (Pre-planting Data)
- ข) ข้อมูลก่อนการติดผล (Pre-bearing Data)
- ค) ข้อมูลหลังการติดผล (Post-bearing Data)

4.1.1 ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Variables)

- ก) ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพของผล (Fruit quality Data)
- ข) ข้อมูลทางความสัมพันธ์ของความเจริญเติบโตของพืชกับสภาพภูมิอากาศ Phenological Data)
- ค) ข้อมูลทางประชากรของแมลงและโรค (Insect and Disease Population Data)

4.1.2 ข้อมูลอนุพันธ์ (Derived Data)

- ก) การเพิ่มพื้นที่หน้าตัดสัมพัทธ์ของลำต้น (Relative Increase in Trunk Cross Section Area)
- ข) ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดต้นและผลผลิต (Yield-Tree Size Relationships)
- ค) ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปฐม ทุติยภูมิ อนุพันธ์ เวลาและภูมิอากาศ (Primary Secondary and Derived Data-Time and Climatic Relationships)
- ง) ข้อมูลทางการวิเคราะห์การเจริญเติบโต (Classical Growth Analysis Data)

4.1.3 ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (Auxiliary Data)

- ก) ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Data)
- ข) ข้อมูลการวิเคราะห์ทางใบ (Leaf analysis Data)
- ค) ข้อมูลทางปฐพีวิทยา (Soils Data)
- ง) ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ (Water Quality Data)
- จ) ข้อมูลการจัดการ (Management Data)

หลังจากการกล่าวถึงชนิดของข้อมูลและการเก็บรวบรวมแล้วจะตามด้วยบทสรุปในหัวข้อที่ 4.1.4

4.1.0 ข้อมูลปฐม (Primary Variables)

หมายถึง คุณสมบัติพื้นฐาน หรือ ลักษณะของต้นไม้ซึ่งสามารถวัดได้ เช่น น้ำหนักพืช จำนวนใบ น้ำหนักผล เส้นรอบวงลำต้น (girth) ซึ่งได้แบ่งออกเป็น ข้อมูลก่อนปลูก ก่อนติดผล และหลังการติดผลในไม้ยืนต้น

การวัดบางอย่างทำได้เพียงครั้งสองครั้งเท่านั้น เช่น น้ำหนักต้นพืช ขณะที่อย่างอื่น เช่น เส้นรอบวงลำต้น (girth) อาจทำได้เรื่อยๆ อย่างสม่ำเสมอทุกปีหรือทุกสัปดาห์

ก) ข้อมูลก่อนการปลูก (Pre-planting Data)

ก่อนการทดลองการปลูกไม้ยืนต้นนั้น มีการวัดหลายวิธีที่สามารถใช้กับไม้ยืนต้นทั้งการทดลองในกระถางและในแปลงทดลอง ข้อมูลก่อนปลูกที่จำเป็นในไม้ผลจะเกี่ยวกับ vegetative growth ซึ่งข้อมูลก่อนปลูกนี้สามารถนำไปใช้ในการกำหนดข้อมูลทางการวิเคราะห์การเจริญเติบโต (derived growth analysis data) ตัวอย่างของข้อมูลก่อนปลูกมีดังนี้

i) น้ำหนักรวมของพืชและน้ำหนักของส่วนประกอบพืช

การชั่งน้ำหนักสดของพืชนั้น จะต้องล้างดินออกจากรากพืชให้หมดเสียก่อนนำไปตากให้แห้ง (air dry) แล้วจึงไปชั่งน้ำหนัก

น้ำหนักสดของพืชนี้สามารถใช้เป็นตัวแบ่งพืชออกเป็นช้ำก่อนการปลูก เช่นเดียวกับการแบ่งพืชด้วยสายตาที่ปลูกในกระถางหรือถุงพลาสติก พืชขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก จะถูกจัดอยู่ในช้ำที่ต่างกัน เพื่อจัดความแปรปรวนออกไปจากการทดลอง

ในแต่ละช้ำที่กำหนดขึ้นนั้น ถ้าต้องการข้อมูลเพิ่มเติมจะต้องใช้ต้นพืชช้ำละ 3 ต้น นำมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ชั่งน้ำหนักสด และนำไปอบแห้งที่ 65 °C เป็นเวลา 7 วัน นำมาชั่งหาน้ำหนักแห้ง จากนั้นจึงรวมน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งทั้งหมด การบันทึกน้ำหนักแห้งนั้นจะต้องนำตัวอย่างพืชไปอบจนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่

โดยปกติการชั่งหาน้ำหนักพืชจะแยกตามส่วนดังนี้

น้ำหนักใบ	-สด/แห้ง
น้ำหนักกิ่ง	-สด/แห้ง
น้ำหนักลำต้น	-สด/แห้ง
น้ำหนักราก	-สด/แห้ง
น้ำหนักรวม	-สด/แห้ง

ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปประมาณสัดส่วนของส่วนประกอบต่างๆ ดังกล่าวของพืชที่จะนำไปปลูกในการทดลองได้ โดยใช้ค่าของน้ำหนักสดรวมทั้งหมดของไม้ที่จะปลูก ข้อมูลของส่วนอื่นๆ ของไม้ผลที่อาจนำไปใช้ได้คือ รากแก้ว รากแขนง และรากฝอย ฯลฯ

ข้อมูลด้านน้ำหนักรวมและน้ำหนักแยกตามส่วนของไม้ผลนี้ ส่วนใหญ่จะใช้ในการทดลองที่ปลูกในกระถางระยะสั้น แต่บางครั้งก็อาจใช้ในแปลงทดลองระยะยาวด้วย โดยเฉพาะในงานทดลองที่ต้องเก็บตัวอย่างพืชในตอนสุดท้ายของการทดลอง และต้องถอนต้นพืชออกไป

ในงานทดลองบางอย่างที่ปลูกพืชจากกิ่งทาหรือการติดตา การหาน้ำหนักพืชแต่ละส่วนอาจจะแยกส่วนได้ดังนี้

น้ำหนักใบ น้ำหนักยอดเหนือรอยทาบ น้ำหนักยอดใต้รอยทาบ น้ำหนักราก และน้ำหนักรวม เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างส่วนที่อยู่เหนือดิน (tops) : ราก (roots) ในพืชที่ปลูกจากการทาบกิ่ง tops จะหมายถึงส่วนของพืชที่อยู่เหนือรอยทาบ

สำหรับการชั่งหาน้ำหนักที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ วัดละเอียดถึงหน่วยกรัมก็จะให้ค่าถูกต้องเพียงพอแล้ว

ii) ลักษณะทางใบ

ต่อเนื่องจากข้อ i) ข้างต้นนั้น โดยทั่วไปจะต้องจดบันทึกจำนวนใบทั้งหมดต่อต้นด้วยเมื่อจดบันทึกน้ำหนักสด/แห้งรวมของใบ และพื้นที่ใบ

การวัดพื้นที่ใบอาจใช้วิธีวัดจากการวาดรูปใบ (tracing) การใช้ meter วัด ฯลฯ อย่างไรก็ตามวิธีที่ใช้โดยทั่วไป คือ การใช้อัตราส่วนของน้ำหนักสด : พื้นที่ใบ ซึ่งหาได้จากการนำใบ (เช่น 20 ใบ) มาชั่งหาน้ำหนักรวมและหาพื้นที่รวมเป็นตารางเซนติเมตร จากนั้นจึงหาพื้นที่ใบรวมทั้งหมดจากน้ำหนักสดของใบพืชทั้งหมดต่อต้น โดยทั่วไปค่าความถูกต้องสูงถึง 0.5 ตารางเซนติเมตร และใกล้เคียงหน่วยกรัม

iii) ข้อมูลก่อนปลูกอื่นๆ

การจดบันทึกข้อมูลก่อนปลูกอื่นๆ รวมด้วย อาจจะเป็นประโยชน์ต่อการทดลอง เช่น

- จำนวนของยอด (terminal growing points)
- ความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางของแต่ละกิ่งเป็นมิลลิเมตร
- จำนวนกิ่ง

- เส้นรอบวงลำต้น
- พื้นที่ของทรงพุ่มหรือพื้นที่ร่มเงา

ไม้ผลที่ติดผลปลายข้อ เช่น ลิ้นจี่ ลำไย มะม่วง อะโวคาโด ฯลฯ นั้น จำนวนยอดต่อต้น และต่อพื้นที่ (ไร่) มีอิทธิพลต่อความสามารถในการให้ผลของพืช ดังนั้นจำนวนยอดจึงส่งผลไปยังผลผลิตด้วย

ในไม้ผลพวกนัยหน้า (Custard Apple, Sugar Apple, Cherimoya) จำนวนของกิ่งย่อยต่อต้นจะเป็นตัวกำหนดจำนวนผลที่พืชจะให้ ดังนั้นจำนวนของกิ่งและขนาดของกิ่งนั้นจึงมีความสำคัญต่อผลผลิตด้วย

เส้นรอบวงลำต้นนั้นส่วนใหญ่จะวัดในแปลงทดลอง หรือในกระถางทันทีหลังจากปลูก ซึ่งจะทำให้การวัดที่ระดับ 30-60 ซม. จากระดับพื้นดินขึ้นมาหรืออย่างน้อย 15 ซม. เหนือรอยทาบ และเพื่อจะทำการวัดที่ระดับเดิมในทุกๆ ปี จึงควรทำเครื่องหมายไว้บนต้น (โดยใช้สีก็ได้) การวัดเส้นรอบวงนี้ใช้เทปแบบ non-stretching ที่ยืดหยุ่นได้ (เช่น ไฟเบอร์กลาส) โอบรอบต้นตามแนว contours ของเปลือกไม้ สำหรับการทดลองระยะยาวจะวัดเส้นรอบวงในวันเดียวกันทุกๆ ปี และในช่วงพักตัวของพืช ส่วนการทดลองระยะสั้นหรือการติดตามระยะเติบโตในช่วงใดช่วงหนึ่งนั้นอาจใช้ dendrometers วัดเส้นรอบวงของลำต้นซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดวัน

การวัดพื้นที่ทรงพุ่มหรือพื้นที่รุ่มเงานั้นใช้เครื่องมือ sketching ธรรมดา (ดูเอกสารเขียนโดย Chapman, Bell and Bell, 1986 และ Bell and Bell 1983) เนื่องจากพื้นที่ทรงพุ่มหรือพื้นที่รุ่มเงา และเส้นรอบวงของลำต้นนั้นมีความสำคัญกับผลผลิต ดังนั้นจึงควรจดบันทึกข้อมูลเหล่านี้ทุกปีเพื่อจะเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยไม้ยืนต้น

ข้อมูลเกี่ยวกับขนาดของต้นไม้ที่ใช้กันมาหลายปีแล้ว ได้แก่

การแผ่กระจายทางทิศตะวันออก-ตก (EW)

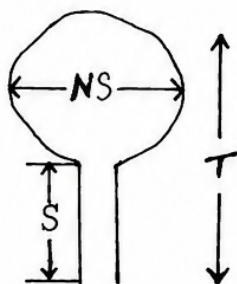
การแผ่กระจายทางทิศเหนือ-ใต้ (NS)

ความสูงของต้นไม้ (ทั้งต้น) (T)

ความสูงของช่วงลำต้น (S)

จำนวนกิ่งหลัก และปริมาตรของต้น

ดัชนีความสูงของยอด



เอกสารที่เขียนโดย Chapman, Paxton และ Maggs (1986) นั้นได้สรุปถึงการใช้ข้อมูลเหล่านี้กับฝรั่ง (*Psidium guajava* L.) และเสนอสูตรในการคำนวณไว้ด้วย

อย่างไรก็ตาม ผู้เขียนเชื่อว่า เส้นรอบวงของลำต้น และพื้นที่ทรงพุ่มหรือพื้นที่ร่มเงาจะเป็นประโยชน์ในการตีความการตอบสนองของการทดลองกับไม้ผลยืนต้นเกือบทั้งหมด และเป็นการง่ายต่อการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วย

หมายเหตุ : ข้อมูลเส้นรอบวงลำต้นตามปกติใช้เป็นข้อมูลพื้นที่ภาคตัดขวางของลำต้นหรือ butt เมื่อเกี่ยวข้องกับผลผลิตของไม้ผล

น้ำหนักของใบที่ตัดออก เมื่อมีการตัดแต่งกิ่งควรจะจดน้ำหนักของส่วนที่ตัดทิ้งไว้ด้วยเพราะจะมีความสำคัญมาก เมื่อมีการสุ่มตัวอย่างหาน้ำหนักรวมของ vegetative growth ภายหลังในตอนสรุปการทดลอง และในการหาความสัมพันธ์ของการตัดแต่งกิ่งที่มีอิทธิพลต่อการให้ผล (Cropping level)

การตัดกิ่งที่ระยะใดๆ ก็ตามในช่วงชีวิตของไม้ผลจะมีผลทำให้ไม้ผลกลับไปเจริญเติบโตทางลำต้นและลดผลผลิตลง อย่างไรก็ตามการตัดแต่งกิ่งมีผลดีหลายอย่าง เช่น ลดแนวโน้มการติดผลที่ไม่สม่ำเสมอในพืชที่ให้ผล 2 ปีต่อครั้งทำให้ผลไม้มีคุณภาพดีขึ้น สีผลดีขึ้น ลดผลที่เป็นโรค ทำให้กิ่งก้านแข็งแรงและเปิดพุ่มให้รับแสงได้มากขึ้น ปรับปรุงคุณภาพของผลและกระตุ้นการแตกตาใหม่ในไม้ผลบางชนิด

ควรบันทึกถึงวิธีการตัดแต่งกิ่งไว้ด้วย เช่น วิธีตัดยอดใหญ่ออก (heading back) การตัดกิ่งข้าง (thinning out) ตัดแต่งช่อดอกไม้ (blossom pruning) และประมาณความยาวที่ตัดออกในแต่ละครั้งด้วย เช่น 10 ซม. 3 ซม. รวมทั้งน้ำหนักของกิ่งที่ตัดออกด้วย

iv) ข้อมูลก่อนการปลูกที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดอาจวัดซ้ำในตอนสรุปหรือในช่วงใดช่วงหนึ่งของการทดลองระยะยาวก็ได้ และการวัดที่ไม่ทำลายส่วนของพืช (non-destructive measurement) มักจะทำการวัดซ้ำอีก

ข) ข้อมูลก่อนติดผล (Pre-Bearing Data)

ไม้ผลยืนต้นส่วนใหญ่มี Juvenile growth period ในช่วง 2 ปีหรือมากกว่า (บางครั้งถึง 6 ปี) ก่อนที่จะให้ดอกและติดผล การบันทึกข้อมูลในช่วงนี้สามารถบันทึกได้หลายๆ อย่าง แต่ที่วัดกันโดยมากมักจะเป็นเส้นรอบวง (girth) และขนาดของต้น เช่น พ.ท ทรงพุ่ม พ.ท ร่มเงา หรือปริมาตรของทรงพุ่ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของไม้ผล วิธีการทดลองที่ใช้ อัตราการงอก และข้อมูลอื่นๆ ที่กล่าวไว้ในข้อ ก (i), ก (ii), ก (iii) ซึ่งข้อมูลที่กล่าวมานี้จะนำไปประกอบการอธิบายถึงผลของการทดลองเมื่อเวลาผ่านไป ส่วนใหญ่แล้วข้อมูลที่อยู่ในหัวข้อ ก (iii) ใช้มากสำหรับการทดลองในแปลง

เราควรจะระลึกไว้เสมอว่าข้อมูลที่เรารวบรวมขึ้นมานั้น เราพยายามที่จะสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโต และการพัฒนาของไม้ผลกับการทดลอง อากาศ และการจัดการ การแปลความหมายของข้อมูลจะช่วยให้หาความสัมพันธ์นี้ได้สำเร็จและยังทำให้เข้าใจอีกด้วยว่าทำไมพืชถึงมีพฤติกรรม หรือมีปฏิกิริยาต่อการทดลองในรูปแบบนั้น ด้วยความรู้และความเข้าใจอันนี้จะทำให้เราปฏิบัติการจัดการซึ่งจะให้ผลดี และมีคุณภาพสูง ด้วยการลงทุนอย่างประหยัดและวิธีง่ายๆ ที่ใช้กันโดยทั่วไป

ค) ข้อมูลหลังการติดผล (Post-bearing Data)

ขณะที่ไม้ผลเจริญเติบโตและพัฒนานั้นก็คือ ช่วงที่ไม้ผลมีการออกดอกและติดผล ซึ่งจะต้องเก็บข้อมูลในช่วงการติดผลนี้ควบคู่ไปกับข้อมูลเกี่ยวกับการเติบโตทางลำต้นเช่นที่กล่าวมาแล้วใน (A) และ (B)

ข้อมูลที่บันทึกในช่วงติดผลนี้ ได้แก่

- i) น้ำหนักผลรวมทั้งหมด (กก) นน. ผลที่ขายเป็นการค้า (กก) และนน. ที่ไม่ได้ขายเป็นการค้า
- ii) ขนาดผลเฉลี่ย (กรัม)
- iii) วันที่เก็บเกี่ยวผลผลิตโดยเฉลี่ย

- i) นน. ผลรวมทั้งหมด, นน. ผลที่เป็นการค้าและไม่เป็นการค้า

นน. ผลรวมทั้งหมด วัดในแปลงทดลองด้วยเครื่องชั่งที่มีค่าคลาดเคลื่อน 0.5 กก. การวัดนี้จะรวมทั้งผลที่ยังติดอยู่บนต้นและที่ร่วงอยู่บนดิน แม้กระทั่งผลที่เริ่มเน่าแล้วก็ตาม ซึ่งข้อมูลนี้จะเป็นตัวแปรที่บอกถึงศักยภาพของไม้ผลจะให้ผลผลิต จากการคัดเลือกผลซึ่งจะนำไปเป็นการค้าได้จากจำนวนผลทั้งหมดนั้น เราก็จะได้นน. ผลที่ขายเป็นการค้าควบคู่ไปกับที่ไม่ได้ขายเป็นการค้า

ผลที่ขายเป็นการค้ายังสามารถแบ่งย่อยออกเป็นขนาดหรือคุณภาพ และบันทึกข้อมูลลงไปในแต่ละเกรด ส่วนผลที่ไม่ขายเป็นการค้าก็อาจแยกขนาดได้เช่นกันและจัดประเภทของการไม่ยอมรับทางการค้าได้อีก เช่น ขนาดผลเล็กกว่าที่กำหนด ผลเน่า ถูกทำลายโดยแมลง สุกมากเกินไป ถูกทำลายโดยลูกเห็บ ถูกทำลายโดยค้างคาว ฯลฯ

- ii) เป็นธรรมดาที่เมื่อมีการทดลองแล้วก็ต้องมีดัชนีของขนาดผลที่เป็นการค้าได้ ดัชนีนี้ โดยมากวัดจากการชั่งผลไม้ 100 ผล จากแต่ละต้นในช่วงเก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 ของแต่ละปี ซึ่งจะต้องทำการเก็บทุกอาทิตย์ต่อเนื่องกันแล้วคิดเฉลี่ยเป็นน้ำหนัก 1 ผล โดยใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง (0.1 kg.) การคัดขนาดหรือนน. ของไม้ผลนี้อาจใช้มือหรือเครื่องแยกขนาดก็ได้ในไม้ผลที่เพิ่งให้ผลในปีแรก อาจจะทำ 10 หรือ 20 ผลเท่านั้น เพราะยังอาจให้ผลน้อยอยู่

- iii) วันเก็บเกี่ยว

วันเก็บเกี่ยวเฉลี่ยในแต่ละการทดลองคำนวณได้จากน้ำหนักเฉลี่ยในวันเก็บเกี่ยว น้ำหนักผลที่เก็บเกี่ยวในแต่ละครั้ง หรือประมาณจากการข้อมูลเก่าๆ ที่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตได้มากที่สุด ซึ่งวิธีหาวันเก็บเกี่ยวนี้แตกต่างกันไปในแต่ละพืช เช่น ในองุ่นซึ่งอาจใช้วิธี Merbein Bunch Count เพื่อดูว่าส่วนไหนของลำต้น (spur ที่ 2, 3, 4, 5 หรือ 6) ที่ให้ผลมากที่สุด ขนาดข้อและขนาดผลใหญ่ที่สุดลักษณะเหล่านี้เนื่องมาจากพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมและมีความสำคัญต่อการจัดการ (ดู Antcliff และคณะ 1972)

4.1.1 ข้อมูลทุติยภูมิ

ข้อมูลภายใต้ข้อมูลทุติยภูมิ หมายถึง ข้อมูลที่ได้จากพืชและไม่ใช้ธรรมชาติขั้นพื้นฐานของพืช (primary nature) เช่น ข้อมูลทางการพัฒนาการข้อมูลทางคุณภาพของผล

เพื่อความสะดวกจะได้จัดแบ่งข้อมูลทุติยภูมิ ดังนี้

ก) ข้อมูลทางคุณภาพของผล

การประเมินคุณภาพของผลเป็นสิ่งสำคัญที่สุดอันหนึ่งในงานวิจัยไม้ผล ถ้าคุณภาพของผลไม่ดี ก็จะต้องมีการศึกษาต่อไปถึงเรื่องการประเมินผลผลิต การปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม หรือ การจัดการทางผลิตผล การประเมินคุณภาพของผลนี้มักจะประเมินเมื่อผลอยู่บนต้นใน Introduction Blocks ก่อนที่การทดลองจริงจะเริ่มขึ้นและการปลูกก็มักจะล้มเลิกในช่วงนี้เพราะคุณภาพของผลไม่ดี

อย่างไรก็ตามควรมีการประเมินคุณภาพของผลอย่างน้อย 2 ฤดูปลูกและจะเป็นการดีถ้าทำใน 3 ฤดูปลูก (ก่อนที่จะมีการล้มเลิกการปลูกทดลอง เพราะคุณภาพของผลต่ำ) เพราะผลจากต้นที่อายุน้อยจะแตกต่างจากผลของต้นอายุมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาในเรื่องการรักษาคุณภาพของผล

การศึกษาคุณภาพของผลโดยทั่วไปใช้ข้อมูลเหล่านี้ประกอบการพิจารณา

- (i) ขนาดผล
- (ii) สีผล
- (iii) ความหนืด (Brix) ของแข็งที่จะละลายได้ทั้งหมด
- (iv) ความเป็นกรด-ด่าง (Titratable acidity)
- (v) % ของเนื้อ (ส่วนที่กินได้) % เมล็ด % เปลือก และ percent flesh recovery
- (vi) รสชาติ ลักษณะภายนอก ลักษณะเนื้อผล
- (vii) instron measurement, การทนทานต่อการซ้ำและการแตก
- (viii) การยอมรับได้ทั่วไป
- (ix) สัมประสิทธิ์การคายน้ำและการหายใจ
- (x) อายุหลังการเก็บเกี่ยว
- (xi) คุณสมบัติอื่นๆ

i) ขนาดของผลนั้นได้กล่าวรายละเอียดไว้แล้วใน 4.1.0 (c)

ii) สีผล สามารถบันทึกได้หลายทาง เช่น โดยการอธิบาย ภาพถ่าย 0-4 scales หรือใช้แผ่นเทียบสีของ Munsil Colour chart ซึ่งให้ค่า hue value และ chroma ซึ่งเป็นมาตรฐานระหว่างชาติ เครื่องคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ เทคโนโลยีขั้นสูงต่อเชื่อมกับเครื่องมืออ่านค่าสีก็มีแล้ว แต่ค่าใช้จ่ายสูง จึงมักใช้เครื่องมือนี้เฉพาะในงานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวเท่านั้น ซึ่งเป็นมาตรฐานระหว่างชาติ

iii) Brix-total soluble solids ที่วัดโดยใช้เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์น้ำตาลแบบใช้มือถือหรือแบบตั้งโต๊ะ

(bench model) ซึ่งลดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ส่วนมากมักจะวัด Brix Titratable acidity % เนื้อ % เปลือก และ percent flesh recovery ด้วยกัน น้ำผลไม้ซึ่งสกัดออกมาจากผลหลายๆ ผลนำมาวัดโดยใช้เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์น้ำตาลก็จะอ่านค่าออกมาเป็นค่า Brix ในผลเล็กๆ เช่น องุ่นมักจะใช้ 50 ผลในการวัด Brix ส่วนผลใหญ่ขึ้นมาน้อย เช่น ส้ม, พีช, kiwifruit ก็จะใช้ 10 ผลเท่านั้น สำหรับผลขนาดกลาง เช่น ลิ้นจี่ ลำไย ก็จะใช้ประมาณ 20 ผล

iv) Titratable acidity ใช้ น้ำผลไม้ 10 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่น 10 มล. และ titrate ด้วย 0.1 N NaOH และใช้ Phenolphthalein เป็นตัวบอกลสีเมื่อถึง end point หรือ titrate จนถึง end point ที่ pH9 จำนวน NaOH ที่ใช้ในการไทเทรตคูณด้วย 0.064 ก็จะเป็นค่า Citrus Acid Equivalent ซึ่งใช้เป็นค่ามาตรฐานในไม้ผลหลายชนิด โดยค่ายิ่งมากก็จะบอกความเป็นกรดสูง หรืออาจดูได้จากจำนวน มล. ของ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต ยิ่งใช้มากค่าความเป็นกรดของผลไม้ก็ยิ่งสูง

ถ้าต้องการหาอัตราส่วนของน้ำตาล:กรด ก็หาได้โดยใช้ค่า Brix (TSS) ทหารด้วย Citric Acid Equivalent ผลไม้ที่มีค่าอัตราส่วนของน้ำตาล:กรด ที่สมดุลนั้นจัดว่าเป็นผลไม้รสชาติดี

(v) % เนื้อ % เมล็ด % เปลือก และ percent flesh recovery นั้นสามารถวัดได้จาก ตย. เดียวกันหลังจากชั่ง ตย. 10-50 ผล เอาเปลือกและเมล็ดออกแล้ว จดนน. เปลือก เมล็ด เนื้อ และคำนวณ flesh recovery ดังนี้

$$\text{percent flesh recovery} = \frac{\text{นน.เนื้อ}}{\text{นน.ผลทั้งหมด}} \times 100$$

คั้นน้ำจากเนื้อเพื่อวัด Brix และ Titratable acidity

หมายเหตุ: ในพืชพวกถั่ว เช่น มะคาเดเมีย และมะม่วงหิมพานต์นั้น มีวิธีมาตรฐานในการประเมิน Percent Kernel Recovery และ percent No.1 Grade Kernels ฯลฯ ค่ามาตรฐานเหล่านี้ควรนำมาใช้ในการวิจัย

vi) รสชาติ ลักษณะภายนอก เนื้อผล คุณภาพทั่วไป และการยอมรับทั่วไป

ข้อมูลดังกล่าวนี้อาจจะบันทึกโดยการให้คะแนน 1-9 (Hedonic Scale) หรือ 0-4 scale ที่ใช้กันโดยทั่วไปแบ่งเป็น

- | | |
|---|-----------------|
| 1 | ไม่ชอบมากที่สุด |
| 2 | ไม่ชอบมาก |
| 3 | ไม่ชอบปานกลาง |
| 4 | ไม่ชอบ |
| 5 | เฉยๆ |
| 6 | ชอบเล็กน้อย |
| 7 | ชอบปานกลาง |
| 8 | ชอบมาก |
| 9 | ชอบมากที่สุด |

สำหรับ 0-4 Scale นั้นแบ่งออกได้ดังนี้

- | | |
|---|--------|
| 0 | แย่มาก |
| 1 | แย่ |
| 2 | ดี |
| 3 | ดีมาก |
| 4 | ดีเลิศ |

การแบ่งอย่างนี้อาจใช้ผลทั้งผลหรือใช้ส่วนที่กินได้เท่านั้นก็ได้

คุณภาพของผลโดยทั่วไปนั้นจะใช้ผลไม้แต่ละชนิดที่มีการทดลองที่ต่างกันหรือมีวิธีการปลูกต่างกัน
ชนิด (Species) เดียวกัน

การยอมรับทั่ว ๆ ไปก็เป็นลักษณะที่ใช้กับการทดสอบผลไม้หรือผลิตภัณฑ์ของผลไม้ชนิดใหม่ โดยการชิมหรือการยอมรับของสาธารณชน เช่น ในคำถามที่ต้องการคำตอบ บอกรับ/ปฏิเสธ

ลักษณะของผลที่จะพิจารณาถึงคุณภาพอาจดูได้จากลักษณะอื่น ๆ อีก เช่น ลักษณะเนื้อผลไม้ (pulp appearance) ความหยาบ-ละเอียดของเนื้อ (pulp texture) , การเปลี่ยนสีของผลไม้ , ลักษณะเปลือกนอก ฯลฯ

vii) Instron Measurement

เครื่องมือ Instron Universal Testing นั้นเป็นที่ยอมรับโดยสากลว่าใช้วัดความแน่นเนื้อของผลเมื่อใช้หัวขนาดมาตรฐาน ความเร็วที่ระดับมาตรฐาน และ แท่ง probe ในระดับลิกรัมมาตรฐานตามตารางมาตรฐานที่กำหนดให้และที่สำคัญคือใช้วัด tensile strength ของผล ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของผลเกี่ยวกับการขนส่งและ Handling ability เครื่องมือนี้แพงมาก แต่เป็นสิ่งจำเป็นในห้องปฏิบัติการจัดการและวิทยาการหลังเก็บเกี่ยว เครื่องมือนี้ใช้มากในงานวิจัยเกี่ยวกับวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว แต่ไม่เป็นที่นิยมในงานวิจัยการผลิต

viii) Bruise resistance and crack resistance

ทั้งสองลักษณะนี้เป็นการวัดอย่างง่าย ๆ ซึ่งจำเป็นต่อการบ่งชี้ถึงสภาพของผลไม้ที่จะสามารถขนส่งไปได้หรือไม่

ix) สมบัติการคายน้ำและการหายใจ

สมบัติการคายน้ำของผลไม้หรือผักหมายถึงความชื้นที่สูงสูญเสียไป/หน่วยเวลา ภายใต้สภาวะที่กำหนดขึ้น ลักษณะนี้เป็นลักษณะสำคัญในการบ่งบอกถึงช่วงชีวิตหลังการเก็บเกี่ยวของไม้ผล ผัก หรือไม้ดอก สมบัติการคายน้ำนี้สามารถวัดได้โดยการชั่งเพื่อที่จะหาน้ำหนักน้ำที่หายไป

สมบัติการหายใจ หมายถึง พลังงานที่ใช้ในไม้ผล พืชผักในช่วงหลังการเก็บเกี่ยว ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า สมบัติการหายใจนั้นสำคัญในการบ่งชี้ถึงช่วงชีวิตของไม้ผลหลังการเก็บเกี่ยว โดยมากจะวัดโดยใช้การวิเคราะห์แก๊สอินฟราเรด หรือ gas chromatography ซึ่งสามารถจับ CO₂ ที่ออกมาจากผลผลิต

x) ช่วงชีวิตหลังการเก็บเกี่ยว

ทำการประเมินโดยใช้ตัวอย่างผลไม้ประมาณ 50 ผล จากการทดลองเดียวกัน นำมาไว้บนชั้นในห้องทดลอง และประมาณเวลาที่ผลไม้นั้นยังมีคุณภาพ เป็นที่ยอมรับและรับประทานได้ โดยการสุ่มมาทุกๆ 2 วันครั้งละ 2-3 ผล และนำไปให้คะแนนโดยใช้ 0-4 scale

xi) ลักษณะอื่นๆ

ลักษณะอื่นๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการพิจารณา เช่น การได้สัดส่วนในรูปร่าง ความไวต่อการช้ำ ความเรียบของผิว จำนวนเมล็ดดี จำนวนเมล็ดสีบ เพอร์เซ็นต์เมล็ด รสชาติ ความกรอบของเนื้อ การแตกของกลีบเลี้ยง (calyx dehiscence) การหายใจของผล ความสม่ำเสมอในรูปร่าง ความง่ายในการบรรจุหีบห่อเพื่อส่งตลาด (ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่าง ความแน่นเนื้อ และความเหนียวของเปลือก)

ลักษณะที่จะใช้ในการพิจารณานั้นขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้และการนำมาใช้ประโยชน์ เช่นใน ฝรั่ง และ acerola นั้น ระดับวิตามินซี เป็นคุณสมบัติสำคัญในทั้งผลสดและในการนำไปแปรรูป นักวิจัยควรจะเข้าใจว่าการเลือกคุณสมบัติในการพิจารณาอย่างชาญฉลาดนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็น

xii) ความเห็นทั่วไป

การให้คะแนนในเรื่องคุณภาพผลไม้นั้นอาจใช้การวิเคราะห์ทาง biometrical เช่น t-test การหา variance , regression , chi-square ฯลฯ

ข) Phenological Data

คำจำกัดความ : Phenology มีความหมายได้หลายอย่าง เช่น

- 1) วิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งซึ่งเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างภูมิอากาศ กับลักษณะทางชีวภาพ
- 2) การศึกษาลักษณะทางพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิตกับสภาพแวดล้อม

Phenometry หมายถึงการวัดทางปริมาณของช่วงชีวิตในระยะที่เฉพาะเจาะจง (เช่น ระยะเติบโต ระยะออกดอก ฯลฯ)

ค่าของ Phenology และ Phenometry ที่วิเคราะห์ในระบบนิเวศวิทยานั้นจะทำให้เข้าใจถึงการตอบสนองของพืชต่อสภาพภูมิอากาศ

สำหรับผู้ที่ใช้ที่ดินสมัยใหม่ ความรู้เกี่ยวกับ Phenological ของพืชนั้นจะเป็นประโยชน์ต่อเราในการที่จะเลือกพันธุ์ (genotype) ของพืช และพัฒนาการจัดการเชิงปฏิบัติในการที่จะให้ได้ผลผลิตที่เหมาะสมที่สุด และ/หรือ ได้ผลผลิตเฉพาะอย่างในช่วงที่ต้องการ เมื่อได้พันธุ์ที่จะปลูกแล้วเรื่องสำคัญต่อไปก็คือการจัดการ หรือการนำไปใช้ประโยชน์ และการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อให้ได้ผลผลิตที่เหมาะสมที่สุด

ในบางกรณี เราอาจพบว่าไม้ผลเฉพาะอย่างปรับตัวเข้ากับสภาพภูมิอากาศได้แล้วบางชนิดยังปรับตัวไม่ได้เลย

Phenology และ Phenometry สามารถใช้เป็นตัวบอกลักษณะพันธุ์ที่ปรับตัวได้หรือไม่และยังทำให้เกิดความเข้าใจถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างพืชกับสภาพแวดล้อม ซึ่งจะนำไปสู่วิธีการนำไปใช้ประโยชน์

เมื่อทำการพิจารณาพืชด้วยวิธีดังกล่าวนี้ เราสามารถรู้อย่างรวดเร็วว่ากิจกรรมหรือ phenophase ของพืชแต่ละชนิดอาจเป็นผลมาจากการควบคุมสภาพภายนอก (exogeneous) หรือสภาพภายในก็ได้ ขณะที่ในระยะเริ่มต้นนั้นจะเป็นการง่ายที่จะระบุว่าเป็นผลมาจากสภาพภายนอก และจะต้องระลึกไว้เสมอว่าผลตอบสนองในขั้นสุดท้ายนั้นอาจมาจากสภาพภายใน (endogeneous) หรือการเปลี่ยนแปลงให้เข้ากับสภาพแวดล้อม

ในไม้ผลโดยเฉพาะไม้ยืนต้นซึ่งผลไม้เป็นผลิตผลขั้นสุดท้ายที่จะต้องเก็บเกี่ยวเราจึงต้องสนใจช่วงพัฒนา หรือช่วงการเจริญเติบโต (phenophase) ต่างๆในฤดูที่ผ่านมา เช่น การแตกยอด การสร้างตาดอก การบานของดอก การติดผล การร่วงของผล การสุกของผล และการผลัดใบ ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ Phenological นี้ เราควรจดบันทึกวัน เดือน ของช่วงการเติบโต (phenophase) เหล่านี้ไว้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านที่สัมพันธ์กับข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ความชื้นของดิน และอุณหภูมิของดิน

Phenometry นั้นจำเป็นมากในการวัด (quantifies) ระยะการเติบโต (Phenophase) เช่น ความยาวของยอด จำนวนช่อดอกช่อดัน (โดยการประมาณ หรือการนับ) จำนวนผลที่ติด ต่อ กิ่งปลายหรือกิ่งข้าง ฯลฯ ลักษณะต่อไปนี้เป็น exogeneous phenophases ซึ่งควรจดบันทึกไม่ผลย่นต้น

- i) การแตกยอด (shoot growth flushes) – วันที่
- ii) การแตกช่อดอก และการบานของดอก – วันที่
- iii) การติดผล การเจริญของผล และการร่วงของผล – วันที่
- iv) วันเก็บเกี่ยว
- v) การแตกยอดหลังจากวันเก็บเกี่ยว – วัน
- vi) การเจริญของราก
- vii) ระยะการผลัดใบ
- viii) การหยุดการเติบโต – ระยะพักตัว
- ix) การทำงานของผึ้ง แมลง ที่ช่วยถ่ายละอองเกสร และสัตว์อื่นๆ – วัน

การจดบันทึกข้อมูลข้างต้นนี้ ต้องจดอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ เช่น ทุกวันอาทิตย์ ทุก 2 อาทิตย์ หรือ ทุกเดือน ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการพัฒนาของไม้ผล เช่น ในระยะออกดอก เราอาจจะตรวจไม้ผลแต่ละต้น ทุกๆ 2 หรือ 3 วัน เพื่อติดตามความยาวของดอกตัวผู้ ตัวเมีย และกระเทย เช่นในลิ้นจี่ ขณะที่อยู่ในช่วงการเติบโตของผลนั้นอาจจะบันทึกข้อมูลทุกๆ 2 อาทิตย์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูลที่ต้องการ

แต่ละ phenophase ที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นที่เราพยายามวัด (quantify) ความก้าวหน้าและจดบันทึกวันไปด้วยนั้น เรียกว่า Phenometry

ตัวอย่างของการวัด Phenological และ Phenometric

i) การแตกยอด (shoot growth flushes) จดบันทึกข้อมูลของการแตกยอดในการทดลองหรือในสวนผลไม้ ทุกๆ 2-4 สัปดาห์ โดยการยืนห่างจากต้นประมาณ 8-10 เมตร แล้วประมาณเปอร์เซ็นต์ของกิ่งที่ไม่ติดผลที่เพิ่งแตกยอดก็จะสามารถบอกได้ถึงวัน หรือ ช่วงเวลาที่มีการแตกยอดสูงสุด ในแต่ละการทดลอง

ถ้าต้องการค่าเฉลี่ยของความยาวยอดในแต่ละต้นก็วัดได้โดยทำการผูกยอดที่เพิ่งเริ่มแตกออกมาด้วยโบว์ หรือพลาสติกไว้อย่างน้อย 6 ยอด (แต่ควรจะเป็น 10 ยอด) เมื่อยอดโตเต็มที่โดยมีใบเขียวจัด และหยุดการเติบโต ก็ทำการวัดความยาวได้เป็น มม. และอาจบันทึกจำนวนใบต่อยอด พท. ใบ โดยเด็ดใบออกจายอด แล้วทำการวัด โดยวิธีนี้ก็จะหาปริมาณความหนาแน่นและขนาดของการแตกยอดได้

ii) การแตกช่อดอก และการบานของดอก (Inflorescence emergence and anthesis)

โดยการทำเครื่องหมายตาดอกอย่างน้อย 10 ตา ที่กิ่งยอดหรือกิ่งข้าง และทำการตรวจบ่อยๆ ก็จะได้ข้อมูลต่างๆ เช่น การวัดความยาวช่อดอกในช่วงดอกบาน นับจำนวนของดอกหรือตาดอก และจำนวนของดอก

ตัวผู้ ตัวเมียหรือดอกกะเทย ฯลฯ ในไม้ผล เช่น ลิ้นจี่ ซึ่งไม่แน่ใจว่าตานั้นจะเติบโตเป็นช่อดอกหรือยอด ก็ควร
จะทำเครื่องหมายไว้ที่กิ่งยอด (terminal) อย่างน้อย 15 กิ่งต่อดัน หรือ 20 กิ่ง ในต้นที่ยังเล็กและต้นที่ไม่
สมบูรณ์

iii) การติดผล การร่วงของผล และการเจริญของผล

การจดบันทึกนั้นทำได้โดยการตรวจเช็คบ่อยๆ (ทุกสัปดาห์) และประเมินเปอร์เซ็นต์การติดผลในกิ่ง
ยอด และกิ่งข้าง โดยประเมินจากเปอร์เซ็นต์ผลที่เริ่มติดที่ขนาดต่างๆ เช่น ที่ขนาดเท่าเมล็ดถั่วลิสง เท่าเมล็ด
ถั่วเหลือง ฯลฯ หรืออาจใช้วิธีการนับผลที่ติด และประเมินการติดผลในสัปดาห์ต่อมา หรือนับจำนวนผลร่วง
และดูการพัฒนาของผลทุกสัปดาห์

การพัฒนาของผลนั้น ทำได้โดยการนับหรือการคัดขนาดของผล เช่น ผลที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2
ซม. และใหญ่ขึ้นตามเวลา การร่วงของผลต่อดันก็ประเมินได้โดยใช้ภาชนะก้นตัน (พท.ประมาณ 0.5 – 0.75
ตร.ม.) วางไว้ใต้พุ่ม 4 จุด เพื่อรองรับผลที่ร่วงลงมาจากต้นทุกสัปดาห์ นำผลที่ร่วงมานับ ชั่ง ตากแห้ง การชั่ง
และผ่าก็เพื่อจะศึกษาถึงเหตุของการร่วง เช่น ถูกแมลงทำลาย คัพภะไม่เจริญ ไม่มีคัพภะ ฯลฯ

iv) วันเก็บเกี่ยว ทำการบันทึกเช่นเดียวกับ 4-1.0(c)

v) การแตกยอดหลังจากเก็บผลผลิต ทำการบันทึกเช่นเดียวกับในหัวข้อการแตกยอดที่กล่าวมาข้างต้น
แล้ว

vi) กิจกรรมการเจริญของราก

การประเมินการเจริญของรากนี้ทำได้ง่ายเช่นใน avocado ซึ่งมีรากอยู่บริเวณผิวดินและถูกปก
คลุมด้วยใบไม้หนาพอควร การประเมินนี้ทำกับรากในบริเวณที่ขุดลงไปในลึกประมาณ 25 มม. เมื่อเอาเศษ
ใบไม้ที่ปกคลุมบริเวณผิวดินออกแล้วโดยเรียกรากนี้ว่า root window คลุม root window นี้ด้วย hessian
bag (gunny sack) 2 ชั้น และคลุมด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์อีกชั้น กลบด้วยเศษใบไม้ที่ขุดออกในตอนแรก
ตรวจการเจริญเติบโตและความอุดมสมบูรณ์ของรากโดยดูจากเปอร์เซ็นต์ของรากที่โผล่มาจาก hessian bag
การประเมินนี้ทำเพียง 1 หรือ 2 รากต่อดัน ในบริเวณ 60x60 ซม. ก็เพียงพอแล้ว

ในพืชที่มีระบบรากลึกอาจจำเป็นต้องใช้ chamber ที่ติดกระจก หรือ perspex ช่วยในการสังเกตการ
เจริญของรากได้ใกล้ชิดมากขึ้นแม้จะได้มีการใช้กล้องมุมกว้าง (wide angled) ก็ตาม หรืออาจใช้วิธีอื่นๆด้วย
เช่น soil cores และการนับรากหรือใช้ bendoscopes แต่ค่าใช้จ่ายสูงทั้งสองวิธี

vii) การผลิตใบ สามารถประเมินได้ 1-2 วิธี วิธีแรกคือ การทำเครื่องหมายไว้ที่ยอด (main shoot)
หรือกิ่งทั่วทั้งต้นและนับจำนวนใบอย่างสม่ำเสมอทุกๆเดือน อีกวิธีก็คือ การทำเช่นเดียวกับการนับผลร่วงคือ
วางภาชนะก้นตันไว้ใต้ต้นไม้ 4 จุด นับใบที่ร่วงและชั่งน้ำหนัก ซึ่งอาจทำทุกอาทิตย์ตลอดช่วงการร่วงของผล
เทคนิคต่อไปคือการวัดอัตราการร่วงของใบเป็น % ตั้งแต่ 0-100%

viii) การหยุดการเติบโต หรือการพักตัว ไม้ผลเขตร้อนและกึ่งร้อน ส่วนมากจะไม่มีระยะพักตัวที่ยาวนานแต่มีการหยุดเจริญเป็นระยะเวลาสั้นพอควรซึ่งบ่อยที่เดียวที่ไม่ได้เกิดขึ้นเนื่องจากสภาพแห้งแล้ง การหยุดการเจริญเป็นลักษณะที่สำคัญมากในไม้ผลไม้ยืนต้นหลายชนิดเพราะเป็นช่วงที่จะกระตุ้นให้เกิดข้อดอก เช่น มะม่วง ลำไย ลิ้นจี่ ส้ม ฯลฯ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงขบวนการ ความสม่ำเสมอหรือความผิดปกติที่เกิดขึ้นต่อเนื่องในการผลิต การติดตามการหยุดการเติบโตนี้ทำได้เช่นเดียวกับการแตกยอดโดยการตรวจเช็คอย่างสม่ำเสมอ และวัดการเจริญของยอดในกิ่งที่ทำเครื่องหมายไว้ ในไม้เมืองหนาวการวัดการผลิตใบสามารถทำได้ในฤดูใบไม้ร่วง และเปอร์เซ็นต์การแตกตา (budbreak) ก็วัดได้ในฤดูใบไม้ผลิ โดยใช้วิธี rating และการนับ ตามลำดับ

ix) การทำงานของมด แมลงที่ช่วยถ่ายเกสร และสัตว์อื่นๆ

ควรทำการบันทึกข้อมูลในช่วงออกดอกถึงการทำงานของมด และแมลง ที่ช่วยถ่ายละอองเกสรว่าดีหรือไม่อย่างไร เพราะอาจจะมีส่วนสำคัญต่อผลผลิต การทำบันทึกนั้นอาจทำอย่างสม่ำเสมอตั้งแต่ช่วงแทงข้อดอก ช่วงดอกบาน จนถึงการติดผลในช่วงแรก โดยจดบันทึกถึงการรวบรวมละอองเกสรตัวผู้ หรือน้ำหวานของแมลง ด้วยการสังเกตจำนวนของมดและแมลงมีมากน้อยเพียงไร ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการอธิบายถึงการติดผลว่าดี-เลวอย่างไร

อาจจะทำการบันทึกถึงเหตุที่ตัวช่วยถ่ายละอองเกสรทำงานน้อย เช่น ในสภาพที่แห้งมากนั้น น้ำหวานจะมีน้อย, ในสภาพชื้นแมลงมีกิจกรรมน้อย และเราทำลายดอกมาก, ในสภาพร้อนดอกไหม้ ตายลง และร่วงมาก ฯลฯ ข้อมูลเหล่านี้สามารถทำการตรวจสอบได้จากข้อมูลทางอุตุนิยมิวิทยาเพื่อให้ตรงกับสภาพที่เกิดขึ้น

หมายเหตุ การสำรวจต้นไม้อาจต้องเข้าและตอนบ่ายเพราะว่าในไม้ผลบางต้นจะมีน้ำหวานไหล และมดจะทำงานเฉพาะในตอนเช้าเท่านั้น เช่น ลิ้นจี่

Endogenous Phenophases

ในไม้ผลนี้จะไม่ประจักษ์ชัดว่ามีขบวนการ หรือการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้นภายในต้นบ้าง และซึ่งไม่มีการแสดงออกทางรูปร่างลักษณะ (morphological) ภายนอกด้วย

ในไม่กี่ปีมานี้เราเริ่มเข้าใจถึงวิธีการจัดการพืชเพื่อให้ผลผลิตสูงสุด ซึ่งเราต้องเข้าใจทั้ง exogenous และ endogenous phenophases คำว่า phenophase อาจจะไม่ใช่คำที่เหมาะสมที่จะใช้อธิบายถึงขบวนการเมตาโบลิซึม การเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมน ขบวนการทางธาตุอาหารและน้ำภายในต้นไม้ เพราะเป็นการเปลี่ยนแปลงในระดับการทำงานหรือองค์ประกอบมากกว่าที่จะเป็นการเปลี่ยนแปลงทางด้านรูปร่าง หรือระยะการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงภายในเหล่านี้สามารถเป็นตัวกระตุ้นการเปลี่ยนแปลง

ภายนอกซึ่งอาจจะถูกกระตุ้นมาจากสภาวะภายนอกหรือภายในก็ได้ มีการเปลี่ยนแปลงภายในนับร้อย
ขบวนการที่เกิดภายในต้นพืช แต่ไม่ก็ขบวนการที่นักพืชสวนสามารถทำการวัดได้ ดังเช่น

สภาวะของฮอร์โมน

การสังเคราะห์แสงและการหายใจ

สภาวะน้ำในพืช

ธาตุอาหารในพืช

คาร์โบไฮเดรตในพืช

สภาวะของฮอร์โมน, การสังเคราะห์แสง และการหายใจ, สภาวะน้ำในพืช จำเป็นต้องใช้เครื่องมือสมัยใหม่
และมีราคาแพง และต้องการบุคคลที่ได้รับการฝึกหัดมาแล้วเพื่อจะได้วัดการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ได้อย่างถูกต้อง
ตามปกติการวัดเหล่านี้จะทำในระยะสั้นโดยทดลองเลียนแบบธรรมชาติมากกว่าที่จะทำในระยะยาวตลอดปี
ยกเว้นการวัดสภาวะน้ำในพืช ซึ่งปัจจุบันนี้สามารถวัดได้สม่ำเสมอ และด้วยเครื่องมือการวัดการสังเคราะห์แสง
ที่พกติดตัวได้ในปัจจุบันก็ยังทำให้การวัดขบวนการนี้ทำได้อย่างสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้นด้วย

สภาวะของธาตุอาหาร และระดับคาร์โบไฮเดรตในพืช ก็สามารถทำการวัดได้อย่างสม่ำเสมอเช่นกัน
โดยอาจวัดในทุกๆเดือน ส่วนธาตุอาหารพืชในใบทำได้โดยการสุ่มตัวอย่างใบพืชมา 5 ใบต่อต้นประมาณ 10
ต้น (ทำทุกๆเดือน) นำมาล้างตากให้แห้ง และบดเพื่อนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักและธาตุรอง (ซึ่งผลที่ได้นี้
อาจสัมพันธ์กับธาตุอาหารในดินซึ่งวิเคราะห์หา 2 ครั้งต่อปี) ในการวิเคราะห์หาระดับคาร์โบไฮเดรตนั้นใช้ส่วน
ของเปลือกไม้และเนื้อเยื่อไม้ที่ลอกออกจากลำต้นในระดับสูงเหนือรอยทาบ (ประมาณ 25-50 ซม.) โดยเจาะรู
กว้างประมาณ 2 ซม. ลึก 5-10 มม. ขึ้นอยู่กับความหนาของเปลือก การสุ่มตัวอย่างควรทำทุกเดือนโดยเจาะ
เป็นแนว spiral รอบต้นทั้งเปลือกและเนื้อไม้จะแยกวิเคราะห์หาจำนวนน้ำตาล และแบ่งทั้งหมดที่ละลายได้ใน
ethanol โดยคำนวณจากนน. แห้งของส่วนที่เหลือ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่จำเป็นอย่างยิ่งที่จะวัดจำนวนของ
สารเหล่านี้ที่มีอยู่ในผนังเซลล์ของเปลือกและเนื้อไม้ การสุ่มตัวอย่างขึ้นอยู่กับวิธีการทดลองและการวางแผน
การทดลองหรือสุ่มจากสวนอย่างน้อย 10 ต้นในกลุ่มที่มีการจัดการคล้ายกัน

การใช้ข้อมูลทาง phenology

เราใช้ข้อมูลนี้ในการสร้างภาพ รูปแบบการพัฒนาของไม้ผล และรู้ถึงการทำงานของไม้ผลในแต่ละเดือนตลอดปี เราก็สามารถวางแผนการจัดการเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด

ในรูปที่ 1 แสดงถึงวัฏจักร phonological ของ avocado ตลอดปี ทางตะวันออกเฉียงใต้ของรัฐควีนแลนด์ ประเทศออสเตรเลีย แสดงถึงระยะที่สำคัญทั้งหมด หรือระยะการเจริญในการพัฒนาของ avocado รวมทั้งการจัดการด้านการปลูกที่สัมพันธ์กับระยะเจริญและเวลา (ดู Cull, 1986) ขึ้นต่อไปก็คือการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลดังกล่าวกับสภาพภูมิอากาศในภูมิภาคนั้น โดยการเขียนกราฟแสดงอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุด ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิดิน การระเหย การแผ่รังสีของแสง ความสมดุลของน้ำในดิน ฯลฯ ตลอดปี และนำมาเปรียบเทียบกับรูปที่ 1 ก็จะทำให้เราแจ้งได้ว่าสภาพภูมิอากาศมีผลต่อการเจริญและการจัดการไม้ผลอย่างไร แต่บางทีก็ใช้ไม่ได้กับไม้ผลบางชนิด ถ้าพันธุ์นั้นไม่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมซึ่งจะนำไปสู่การออกดอกและติดผล จึงเป็นการยากที่จะบริหารจัดการกับพืชนั้น สิ่งสำคัญที่ควรจะต้องเข้าใจไว้ก็คือ การปฏิบัติการเฉพาะอย่างต่อพืช หรือธาตุอาหารนั้น มีอิทธิพลอย่างมากต่อการตอบสนองทางการเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative growth) ไนโตรเจนและน้ำเป็นตัวเร่ง (manipulators) ที่มีอำนาจมากในการเจริญเติบโตทางลำต้นของพืช ดังนั้น การเจริญทางการให้ผลผลิต (reproductive growth) จึงขึ้นอยู่กับแสง หรือการชลอให้ธาตุอาหารนี้แก่พืช เราอาจเรียกธาตุอาหารนี้ว่าเป็น ตัวจัดการทางสรีรวิทยาทั้งหมด (Gross Physiological Manipulator) เนื่องจากเป็นตัวที่มีอำนาจในการจัดการมาก

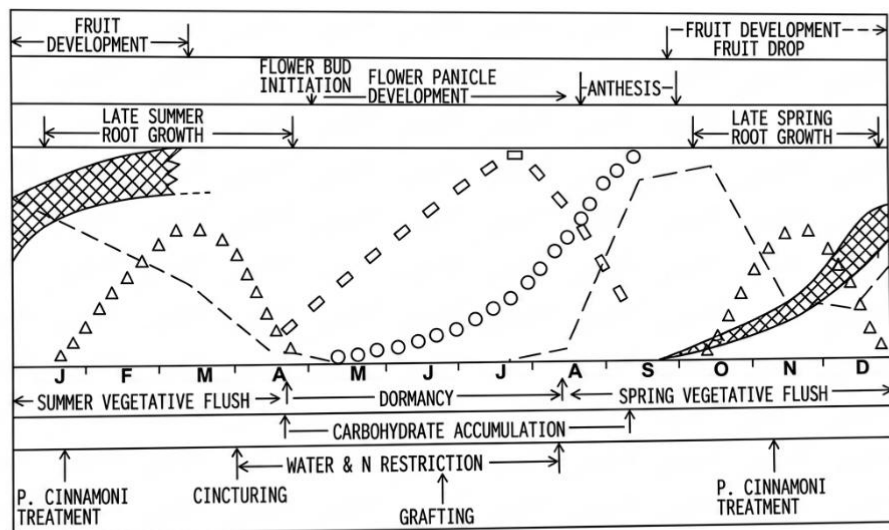


Figure 1. Diagrammatic Representation of Avocado Phenological Cycle.

— — Vegetative; OO Flower; □□ Carbohydrate; ΔΔ Root; ■■■ Fruit

หมายเหตุ : ขบวนการ phenology แตกต่างกับระหว่างชนิดของพืช และเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้สามารถชี้ชัดถึง phenophase นั้นโดยเฉพาะ เพื่อที่จะวางแผนการจัดการ การจัดการนั้นได้ถูกกำหนดขึ้นเสมอโดย phenophase ของต้นไม้ ไม่ใช่ถูกกำหนดขึ้นโดยวันเวลา

การติดตามการเจริญเติบโตของพืชโดยรวมข้อมูลทาง Phenology และหาความสัมพันธ์กับภูมิอากาศจะช่วยให้รู้ได้โดยเร็วถึงพันธุ์ที่ปรับตัวได้หรือไม่ ได้ เมื่อรู้ว่าเป็นพันธุ์ที่ปรับตัวได้ข้อมูลทาง Phenology ก็จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการจัดการเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด

ค) ข้อมูลทางประชากรของแมลง และโรค

ผู้เขียนไม่ตั้งใจที่จะกล่าวรายละเอียดเกี่ยวกับหัวข้อนี้ในงานวิจัยไม้ผล เนื่องจากโดยตัวของมันเองแล้วสามารถที่จะแยกเป็นอีกหัวข้อหนึ่งได้ทั้งทางด้านวิธีการและเทคโนโลยี แต่สิ่งที่ผู้เขียนตั้งใจจะกล่าวก็คือการที่นักพืชสวน นักสรีรวิทยา นักขยายพันธุ์พืช ได้รู้ถึงแมลงและโรคที่ทำลายพืชผลในงานวิจัยของเขาเองเท่านั้น ยิ่งไปกว่านั้นนักวิจัยที่ทำงานวิจัยในแปลงทดลอง หรือในกระถางควรจะได้มีการจดบันทึกอาการ หรือลักษณะของโรคและแมลงทุกวัน เพื่อที่จะได้หาทางแก้ปัญหา

ถ้าข้อมูลพื้นฐานอย่างนี้ไม่มีการจดบันทึกร่วมกับการทำงานของผึ้ง แมลง และสัตว์อื่นๆ ที่ช่วยถ่ายละอองเกสรแล้ว ผลที่ได้จากการทดลองก็คงจะไม่มี ความหมาย เช่น การปลูกพืชหนึ่งอาจดีกว่าในอีกพืชหนึ่ง เพราะการมีความต้านทานต่อโรค แต่ไม่ใช่เพราะการเป็น super genotype ซึ่งสิ่งเหล่านี้สำคัญมากที่จะต้องทำความเข้าใจ ดังนั้น จึงควรติดตามอาการของโรคและแมลงในการทดลองอย่างใกล้ชิด และโรคนั้นมีผลต่อการทดลอง

มาก จึงควรจดข้อคิดเห็นเสนอแนะด้วย ขอให้จำไว้ด้วยว่าเราไม่เพียงแต่ต้องการผลที่จะได้รับจากงานวิจัยเท่านั้น แต่เราต้องการคำอธิบายถึงผลของงานวิจัยนั้นด้วย

4.1.2 ข้อมูลอนุพันธ์ (Derived Data)

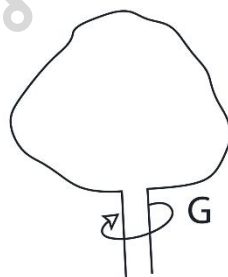
ข้อมูลอนุพันธ์ก็คือ ข้อมูลง่ายๆที่ได้จากการคำนวณจากข้อมูลเบื้องต้น และข้อมูลทุติยภูมิดังกล่าวมาแล้ว ช่วงของอนุพันธ์นั้นกว้างเท่ากับการจินตนาการของคนๆหนึ่ง ดังนั้นการที่จะครอบคลุมช่วงกว้างของข้อมูลนี้จึงเป็นงานที่เป็นไปไม่ได้ สิ่งที่เราเขียนจะกล่าวก็คือการใช้ข้อมูลอนุพันธ์ในงานทดลองไม่ยืนต้น โดยเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับผลผลิต การเจริญทางลำต้น และความสัมพันธ์ที่สมดุลในไม้ยืนต้นนั้นเป็นกุญแจที่นำไปสู่การได้ผลผลิตสูงสุดเมื่อคุณภาพของผลเป็นที่ต้องการ

(ก) การเพิ่มพื้นที่หน้าตัดสัมพันธ์ของลำต้น (R - %/ปี)

เส้นรอบวงลำต้น (G) ที่วัดในหน่วย มม. แต่ละปีสามารถนำมาใช้ได้โดยตรงในทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบ treatment และพันธุ์ในงานทดลอง

R (การเพิ่มพื้นที่หน้าตัดสัมพันธ์ของลำต้น มีหน่วยเป็น %/ปี สามารถคำนวณได้จาก

$$R = \frac{100(A_2 - A_1)}{A_1(t_2 - t_1)}$$



เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดของลำต้นในหน่วย ซม. ที่เวลา t_2 และ t_1 (ตามปกติห่างกัน 1 ปี)

$$A \text{ นี้คำนวณได้จากค่า } G \text{ โดย } A = \frac{G^2}{12.566} \quad (G^2 \text{ มีหน่วยเป็น ซม.})$$

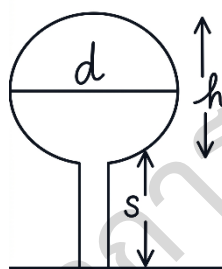
R นั้นคำนวณในแต่ละปีระหว่างการทดลองเริ่มตั้งแต่ต้นที่อายุน้อยซึ่งจะเป็นการง่ายที่จะเห็นค่าความสัมพันธ์ของพื้นที่หน้าตัดว่าลดลงอย่างไร เมื่อต้นไม้เริ่มเก็บผลได้ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงผกผัน เมื่อเทียบจากต้นที่มีการเจริญเฉพาะลำต้นไปสู่ผลได้ ค่า R ในแต่ละ treatment และแต่ละพันธุ์อาจแตกต่างกัน ซึ่งจะแสดงถึงการให้ผลก่อนกำหนด และการเปรียบเทียบที่ผกผันสัมพันธ์

(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและขนาดลำต้น

ข้อมูลทางความกว้างของทรงพุ่มแนวตะวันออก-ตะวันตก เหนือ-ใต้ ความสูงของต้น ความสูงของลำต้น จำนวนกิ่ง (Primary branch) ปริมาตรต้นไม้ และดัชนีความสูงของ crown ร่วมกับข้อมูลอื่นเช่น ความสูงของต้น x ความกว้างของพุ่มตะวันออก - ตะวันตก x ความกว้างของพุ่มแนวเหนือ-ใต้ อาจจะสัมพันธ์กับผลผลิตทั้งหมดประจำปี ผลผลิตสะสมทั้งหมด ผลผลิตที่เป็นการค้าประจำปี ผลผลิตที่เป็นการค้าสะสม ฯลฯ ข้อมูลเหล่านี้คำนวณโดยใช้ regression ของข้อมูลดิบหรือข้อมูลที่แปลงมาแล้ว หรือการใช้ multiple regression (ดู Chapman Parton and Maggs, 1986 และ George and Nissen 1982)

ปริมาณทรงพุ่มของต้นไม้คำนวณได้จาก

$$V = \left(h - \frac{d}{2} - s \right) \cdot \left(\frac{d}{2} \right)^2 + \pi \cdot \frac{2}{3} \left(\frac{d}{2} \right)^3$$



เมื่อ h คือ ความสูงของต้น (เมตร)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงพุ่ม (เมตร-ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางทรงพุ่มแนวเหนือ-ใต้ และแนวตะวันออก-ตก)

s คือ ความสูงจากส่วนล่างสุดของต้นถึงทรงพุ่ม (canopy skirt height) หน่วยเป็นเมตร

V คือ ปริมาณทรงพุ่ม (ลบ.ม.)

สำหรับพื้นที่ทรงพุ่มของพืชตระกูลส้ม สามารถคำนวณแบบง่ายๆ โดยการใช้ประมาณได้ดังนี้

พื้นที่ทรงพุ่ม (ตร.ม.) = $\pi \times$ ความสูงของทรงพุ่ม (เมตร) $\times$ เส้นผ่าศูนย์กลางของทรงพุ่ม (เมตร)

ค่า R จาก Regression จะดีหรือไม่ดีขึ้นอยู่กับชนิด (species) ของพืช และระยะการจัดของต้นไม้ เพื่ออธิบายความสัมพันธ์และความแตกต่างระหว่าง treatment หรือ พันธุ์

ผลผลิตต่อพื้นที่หน้าตัดของลำต้น (y_c) อาจจะใช้ได้ดีในการวัดผลผลิต Apple (Westwood and Robert, 1970) และฝรั่ง (Chapman, Paxton and Maggs, 1986) ความสัมพันธ์พื้นฐานของผลผลิตที่เป็นการค้าต่อปี และผลผลิตเป็นตัวแทนแปรตาม (แกน y) และการเติบโตเป็นตัวแทนแปรอิสระ (แกน x) ซึ่งตัวแปรนี้จะ

ประโยชน์ในการเลือกโปรแกรมและอาจได้ประโยชน์จากการแปลงข้อมูลไปเป็น log-log เช่น ในมะคาเดเมีย (Chapman, Bell and Bell, 1986)

การวัดเส้นรอบวงต้นฝรั่ง และการใช้ข้อมูลผลผลิตต่อพื้นที่หน้าตัดของ butt จะเป็นประโยชน์ต่อดัชนีชี้ประสิทธิภาพการให้ผลผลิตมากกว่าการใช้วิธีอื่นที่ซับซ้อนรวมทั้งดัชนีการให้ผล (fruitfulness) ของ Moore (1968) และ multiple regression ของ shikhamany et.al.1978 เราพบว่าข้อมูลเส้นรอบวงฝรั่งสามารถประมาณขนาดของต้นได้ดีเท่าการใช้ Vigour index ของ Moore(1968) ค่า fruitfulness และ Vigour index คำนวณได้จากเส้นรอบวงลำต้นทั้งหมด และค่าผลผลิตสะสมหารด้วย Standard Error (S.E.) ผลบวกของทั้ง 2 ค่า เป็นค่า Vigour และผลต่างจะให้ค่า fruitfulness ใน treatment และพันธุ์ที่ต่างกัน ดังนี้

$$\text{vigour} = \frac{\text{ผลผลิตสะสม}}{S.E.} + \frac{\text{เส้นรอบวงลำต้น}}{S.E.}$$

$$\text{fruitfulness} = \frac{\text{ผลผลิตสะสม}}{S.E.} - \frac{\text{เส้นรอบวงลำต้น}}{S.E.}$$

ผลผลิตของไม้ผลทั้งผลผลิตที่เป็นการค้า ผลผลิตรวม ประจำปี หรือสะสมก็ตามมีความสัมพันธ์กับหน่วยอื่นๆ เช่น ผลผลิต/ต้น ผลผลิต/เฮกตาร์ ผลผลิต/ไร่ ผลผลิต/หน่วยของinput ผลผลิต/ขนาดของต้น/หน่วยพื้นที่ ผลผลิต/พื้นที่ทรงพุ่ม ผลผลิต/พื้นที่ร่มเงาของทรงพุ่ม ฯลฯ ในทางพืชไร่หรือความเห็นของเกษตรกร ผลผลิตที่เป็นการค้าเป็นตัววัดที่น่าสนใจที่สุด เช่น มะคาเดเมีย ตัวที่สำคัญที่สุดของ Kernel เกรด 1 ในไม้ผลส่วนใหญ่ ผลผลิต/หน่วยขนาดต้นเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากขนาดของต้นและความหนาแน่นของพืชจะเป็นตัวกำหนดผลผลิตต่อเฮกตาร์

การเพิ่มขึ้นของผลผลิต/เฮกตาร์ ในไม้ผลส่วนใหญ่ที่ทำการทดสอบ จะเป็นผลมาจากขนาดของต้นที่เล็กลงและจำนวนต้นต่อเฮกตาร์มากขึ้น และมีทรงพุ่มโปร่ง (illumination) ซึ่งก็เนื่องมาจากต้นไม้จะใช้อาหารในการสร้างผลโดยตรงแทนที่จะนำไปสร้างโครงสร้างค้ำยัน ต้นขนาดเล็กนี้จะมีดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงกว่าโดยเทียบผลผลิตกับขนาดลำต้น 1 หน่วย (Chapman Bell and Bell, 1985)

เนื่องจากผลผลิต/ขนาดต้น 1 หน่วยนั้นเป็นสิ่งสำคัญ การวัดความสัมพันธ์นี้ทำได้หลายวิธี บางวิธีได้กล่าวไปแล้ว เช่น ผลผลิต/พื้นที่หน้าตัดของ Butt และความสัมพันธ์ของผลผลิต/ขนาดของต้น จากการศึกษาในมะคาเดเมีย พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับพื้นที่ทรงพุ่มและผลผลิตกับพื้นที่ร่มเงาของทรงพุ่มนั้นเป็นที่น่าสนใจ (Chapman, Bell and Bell, 1986) กล่าวคือ พื้นที่ทรงพุ่มหรือพื้นที่ร่มเงามีการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตถึง 77% ความสัมพันธ์นี้สำคัญมากในการบอกถึงผลของ treatment และพันธุ์ และยังสามารถนำไปใช้ในการคัดเลือกต้นได้อีกด้วย (Chapman, Bell and Bell, 1986 and wink, Bell and Bell, 1986) ความสัมพันธ์ข้างต้นระหว่างผลผลิตและขนาดของต้น สามารถทำการวัดได้หลายฤดูปลูก ในการทดลองการ

คัดเลือกพันธุ์ การวัดความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ควรที่อย่างน้อย 3 ฤดูปลูก ในพืชที่ให้ผลผลิตสูง เช่น ฝรั่ง และ 5 ฤดูปลูกในพืชที่ให้ผลน้อย เช่น ลิ้นจี่ ค่าของผลผลิต/พื้นที่ตัดของ Butt และค่าของผลผลิต/พื้นที่ร่มเงาทรงพุ่ม ก็อาจจะใช้เป็นตัววัดได้ ส่วนการหาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) หรือ regression นั้นอาจหาจากลักษณะอื่นๆ ก็ได้ เช่น จำนวนผลและจำนวนของกิ่งก้านที่อ่อนแอของน้อยหน่า (George and Nissen, 1986)

(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และอนุพันธ์

บ่อยครั้งที่การหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปฐมภูมิ ทุติยภูมิ หรือ อนุพันธ์ กับ เดือน หรือ เวลา หรือภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิต่ำสุดในอากาศ ฯลฯ นั้นมีประโยชน์มาก ข้อมูลเหล่านี้อาจจะแสดงโดยกราฟ เช่น ช่วงการออกดอกที่สัมพันธ์กับเดือน หรือ สภาพภูมิอากาศ หรือ เราอาจจะหาสหสัมพันธ์ (Correlation) ของ อุณหภูมิต่ำสุดในช่วงออกดอกกับจำนวนมะม่วงผลเล็กที่ไม่มีเมล็ด (nubbins) เมื่อเก็บเกี่ยว ซึ่งเกิดในพันธุ์ที่ต่างกัน หรือปลูกในแหล่งต่างกัน เพื่อทราบถึงช่วงแน่นอนของการออกดอก อุณหภูมิ และการติดผล

ในลิ้นจี่อาจหาสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของกิ่งข้างที่พักตัวในช่วงเวลาหนึ่งของปี กับเปอร์เซ็นต์ของกิ่งข้างที่ออกดอกในช่วงต่อมาของปี

เหล่านี้เป็นเพียงตัวอย่างเล็กน้อยเท่านั้น ยังมีความสัมพันธ์อื่นอีกมากมาย ซึ่งสามารถทดสอบได้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปฐมภูมิ ทุติยภูมิ หรืออนุพันธ์ กับตัวแปรอื่นๆ เช่น สภาพภูมิอากาศ หรือข้อมูลทางลักษณะพืชอื่นๆ

(ง) ข้อมูลการวิเคราะห์การเจริญเติบโต (Classical Growth Analysis Data)

ข้อมูลเหล่านี้ได้แก่ Biomass

Relative Growth Rate (RGR)

Net Assimilation Rate (NAR)

Crop Growth Rate (CGR)

Leaf Area Ratio (LAR)

Leaf Weight Ratio (LWR)

Leaf Area Index (LAI)

Leaf Area Duration (LAD)

Specific Leaf Area (SLA)

Harvest Index (HI)

Biomass Duration(BMD)

ฯลฯ

อาจหาอ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้จาก viz kvet, Ondok, Necas and Jarvis (1971), Radford (1967), Charles-Edwards (1982), Watson (1952) and Watson (1963)

การวัดข้อมูลดังกล่าวข้างต้นในไม้ยืนต้นในการทดลองในแปลงนั้นค่อนข้างยาก เนื่องจากการเก็บเกี่ยวที่เป็นขั้นตอนสม่ำเสมอและต้องมีการทำลายส่วนของพืชนั้นทำได้ยากและค่าใช้จ่ายสูง อย่างไรก็ตามมักจะทำในระยะสั้นเฉพาะการทดลองในกระถาง หรือการทดลองทางไม้ดอกที่ปลูกเป็นสภาพไร่ มีสูตรที่ใช้ในการคำนวณ classical growth analysis ในไม้ยืนต้น แต่โดยทั่วไปแล้วจะใช้เฉพาะในการทดลองที่จะหาความเข้าใจพื้นฐานในส่วนของสรีระของพืชและการตอบสนองต่อ treatment ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุม

4-1.3 ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (Auxiliary Data)

Auxiliary Data จะรวมถึงข้อมูลอื่นๆ ทั้งหมดที่จะต้องทำการจดบันทึกเป็นประจำ และทำได้ตลอดปีการทดลอง ซึ่งได้แก่

A) ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ที่นิยมวันกันคือ

i) อุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดที่ยอดหญ้า ในอากาศ และในดินที่ความลึก 10-20 ซม. เมื่อเวลา 9.00-15.00 น.

ii) ปริมาณน้ำฝน วัดเมื่อเวลา 9.00 น.

iii) การระเหยของน้ำ (Class A Pan Evaporation) วัดเมื่อเวลา 9.00 น.

iv) ทิศทางและความเร็วของลม วัดเมื่อเวลา 9.00 และ 15.00 น.

v) ความชื้นสัมพัทธ์ วัดจากเทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะแห้ง และเปียก (เมื่อเวลา 9.00 และ 15.00 น.) และจากเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น

vi) การแผ่รังสีของแสง วัดเมื่อเวลา 9.00 น.

vii) การเกิด frost, cyclones, พายุลูกเห็บ, พายุฝน และ ลมชนิดของเมฆ เมื่อเวลา 9.00 และ 15.00 น.

viii) ความแรงของฝนจาก Pluviograph เมื่อเวลา 9.00 น.

งานวิจัยในแปลงทดลองนั้นอย่างน้อยควรจะต้องบันทึกข้อมูล ข้อ (i) (ii) (iii) และ (v) และคำนวณความดันไออิ่มตัวที่หายไปจากเทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะแห้งและเปียก

ข้อมูลทางอื่นๆ นี้สำคัญมากในการอธิบายการตอบสนองต่อ phonological และ treatment ของไม้ผล

(ข) ข้อมูลการวิเคราะห์ทางใบ

ในการทดลองระยะยาว หรือในช่วงเริ่มต้นของการทดลองตั้งแต่เริ่มปลูกต้นไม้ จำเป็นที่จะต้องรู้สภาวะธาตุอาหารในต้นไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าการทดลองนั้นต่อเนื่องออกไปอีก การวิเคราะห์ธาตุอาหารทางใบที่สมบูรณ์ควรทำอย่างน้อยปีละครั้ง ในการทดลองระยะยาวโดยวิเคราะห์หา N P K Ca Mg Fe Mn Zn Cu B Mo Na Cl S

(ค) ข้อมูลทางปฐพีวิทยา

ในการทดลองไม้ผลระยะยาว ควรจะมีการวิเคราะห์สภาพทางเคมีและทางฟิสิกส์ของดินก่อน โดยเมื่อเริ่มวางแผนการทดลอง ขณะที่ทำการแบ่งบล็อกการทดลองควรมีการเตรียมการสำรวจพื้นที่ในทุก ระยะ 15 เมตร ทางยาวและทุก 0.5 เมตร ในช่วงคอนทัวร์ (Contour) ข้อมูลทางฟิสิกส์ของดินที่ควรทำการสำรวจในช่วงยาว 15 เมตร ในแต่ละบล็อก ได้แก่ ความลึกของดินชั้นบนและชั้นล่าง เนื้อดิน สี โครงสร้างของดินในแต่ละชั้น การเกาะยึดกันของดิน อัตราการระบายน้ำ ความลาดชัน ระดับน้ำใต้ดิน(ถ้ามี) สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีของดินก็สุ่มตัวอย่างจากดินที่คล้ายกัน ภายในบล็อกเดียวกันนำมาวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง ความเค็มและการนำไฟฟ้า ความเป็นต่าง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ วิเคราะห์หาธาตุอาหาร N P K Ca Mg Zn Cu B Mo Na Cl และ S

เมื่อศูนย์ฯ หรือสถานีทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางฟิสิกส์ และเคมีของดินในครั้งแรกแล้วก็ทำการวิเคราะห์เฉพาะข้อมูลทางเคมีดิน เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งเท่านั้น โดยไม่ต้องวิเคราะห์ข้อมูลทางฟิสิกส์อีก ยกเว้นแต่เมื่อมีการจัดการดินเพื่อปรับปรุงสภาพทางฟิสิกส์ของดิน อย่างไรก็ตามควรวิเคราะห์ข้อมูลทางเคมีดินทุกปี โดยอย่างน้อยต้องทำการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเค็มของดิน

(ง) ข้อมูลทางคุณภาพของน้ำ

ก่อนที่จะมีการให้น้ำไม้ผลในการทดลอง ควรมีการทดสอบคุณภาพของน้ำที่จะใช้ก่อน ข้อมูลที่ควรวิเคราะห์ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ความเค็มและการนำไฟฟ้า ความเป็นต่าง อัตราการดูดซับโซเดียม; ปริมาณคลอไรด์; คาร์บอเนต; ไบคาร์บอเนต และ ซัลไฟด์; เหล็ก ถ้าจะมีการให้น้ำแบบ Drip Trickle หรือ Microjet และถ้าในพื้นที่นั้นได้ชื่อว่ามีโบรอนในปริมาณสูงก็ควรทำการวิเคราะห์หาโบรอนด้วย

ถ้าศูนย์ฯ หรือสถานี มีการให้น้ำโดยนำมาจากแหล่งต่าง ๆ กัน ก็ควรทำการวิเคราะห์น้ำในแต่ละแหล่ง ช่วงฤดูแล้งทุกปี ในดินที่มีการระบายน้ำดี ควรมีการวิเคราะห์หา pH และค่าการนำไฟฟ้าและธาตุเหล็กเป็นประจำ ส่วนในดินที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงก็ควรตรวจสอบระดับน้ำใต้ดินเป็นประจำ โดยการใช้ Piezometer tube

(จ) ข้อมูลการจัดการ

i) การรวบรวมข้อมูล - วันที่, ชนิด

เช่น วันที่ 21 พ.ค. 2531 - เก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 , น้ำหนักผล และรายละเอียดการทดสอบ

คุณภาพของผล

- จัดบันทึกวันที่เก็บใหม่ - 20 มิ.ย 2530

20 ก.ค. 2530

- การวัดเส้นรอบวงลำต้น

การเก็บรวบรวมข้อมูลควรมีวันที่กำกับไว้ทุกแผ่น

ii) การให้น้ำ - บันทึกจำนวนและวันที่ให้น้ำควบคู่กับปริมาณน้ำฝนในแต่ละอาทิตย์ และการ
ระเหยของน้ำ

- วันที่และผลของการทดสอบคุณภาพน้ำ

iii) การใส่ปุ๋ย - วันที่ ชนิดของปุ๋ย จำนวนที่ใส่ต่อต้น/ต่อเฮกตาร์ และวิธีการใส่

iv) การใส่ยาปราบวัชพืช - วันที่ ความเข้มข้นทางเคมีของสาร และจำนวนที่ใส่ต่อต้น ต่อ
เฮกตาร์ สารเปียกใบ ฯลฯ

v) วันตัดแต่งกิ่ง/รายละเอียด - น้ำหนักและความยาวของกิ่งที่ตัดออก ฯลฯ

vi) วันปลูก การใส่ปุ๋ยก่อนปลูก และการใส่ปูนขาว - จำนวนที่ใส่ สารเคมีที่ใช้ วิธีใส่ และ
ชนิดของพืชคลุม

vii) การใส่ยาปราบศัตรูพืช และยาฆ่ารา - วันที่ สารที่ใช้ความเข้มข้น สารเปียกใบ จำนวนที่
ใส่หรือพ่นต่อต้น ฯลฯ พร้อมทั้งบันทึกสภาพภูมิอากาศขณะพ่นยา

viii) การทำให้ใบร่วง เช่น ใช้เอทธีลีน - อัตราการใช้ วันที่ จำนวนที่ใช้ สารเปียกใบที่ใส่
สภาพอากาศที่เด่นชัด

ix) การใช้สารกระตุ้นความเจริญ - เหมือนในข้อ (viii)

x) วันสุ่มตัวอย่าง - การวิเคราะห์ทางใบ การวิเคราะห์ทางดิน การทดสอบคุณภาพน้ำ ฯลฯ
และรายละเอียดที่เกี่ยวข้อง

xi) วันที่เริ่มให้สิ่งทดลอง (treatment) และรายละเอียดทั้งหมดของสิ่งทดลอง (treatment)

xii) วันที่กำจัดวัชพืช ตัดหญ้า คลุมดิน การเขตกรรมอื่น ๆ พร้อมรายละเอียด เช่น คลุมดินได้
ไม้ผลในบริเวณทรงพุ่มต้นหญ้าหนา 50 ซม.

xiii) วันที่มีการจัดการอื่น ๆ เช่น การปลิดช่อดอก การปลิดผล ฯลฯ

xiv) รายละเอียดของกิจกรรมอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงในหัวข้อข้างต้น เช่น ชนิดของแมลงที่เข้าทำลายเป็นส่วนใหญ่

การบันทึกข้อมูลที่ดีเกี่ยวกับการจัดการในไม้ผลนั้นสำคัญมาก โดยเฉพาะในการทดลองระยะยาว และควรบันทึกในลักษณะที่ง่ายต่อการเข้าใจ เมื่อมีผู้มารับงานแทนในขณะที่ผู้ปฏิบัติงานคนก่อนลาศึกษาต่อ หรือย้ายไปหน่วยงานอื่น เนื่องจากการทดลองในไม้ยืนต้นเป็นการทดลองระยะยาวและค่าใช้จ่ายสูง จึงควรยึดหลักว่า “ถ้ามีข้อสงสัยให้บันทึกรายละเอียดไว้”

4.1.4 บทสรุป

เมื่อถึงจุดนี้แล้วจะเป็นที่ประจักษ์ว่า นักวิจัยนั้นไม่ใช่แต่จะเป็นนักคิดที่ชาญฉลาดเท่านั้น แต่ยังเป็นนักจัดการที่ดีอีกด้วยสำหรับผู้ที่จะจัดบันทึกข้อมูลดี นอกจากนี้ยังจำเป็นที่จะต้องวางแผนการทดลองไม้ยืนต้นเพื่อเศรษฐกิจอีกด้วย เนื่องจากความต้องการของข้อมูลเพิ่มเติมเพื่ออธิบายผลการทดลองที่ต่างกันของสิ่งทดลอง (treatment) หรือพันธุ์ ข้อมูลที่ต้องการนี้อาจจะเก็บจากแปลงทดลองเดี่ยว หรือแปลงทดลองที่มีการทำหลายๆซ้ำ แต่ไม่อาจเก็บจากแปลงทดลองที่มีขนาดใหญ่มาก

นักวิจัยสามารถเลือกเก็บข้อมูลได้หลายวิธี ดังนั้นจึงต้องนึกไว้เสมอว่าอะไรคือวัตถุประสงค์ของการทดลองและอะไรคือสมมุติฐานที่จะใช้ในการทดสอบ อย่างไรก็ตาม นักวิจัยจะต้องเก็บรวบรวม และสามารถที่จะจัดบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (Auxiliary Data) ได้

นักวิจัยควรระลึกไว้ว่าที่กล่าวมาข้างต้นนี้ เป็นเพียงวิธีเก็บข้อมูลในไม้ผลเท่านั้นและควรจะมีการพัฒนา การสังเกต และการอ่านเกี่ยวกับเทคนิคการเก็บรวบรวมข้อมูลในทุกโอกาส เพื่อพัฒนาความชำนาญของตนเองในการวิจัย

4.2 เทคนิคการสุ่มตัวอย่าง

4.2.1 คำนำ

การวิจัยเกี่ยวกับไม้ยืนต้น ส่วนมากมักมีการใช้วิธีสุ่มตัวอย่างในการทดลองหนึ่งๆ เราประมาณค่าพารามิเตอร์ของประชากรโดยการศึกษาจากการคัดเลือกกลุ่มเล็ก ๆ หรือตัวอย่างที่เลือกจากค่าที่มีอยู่ในประชากรนั้น วิธีการสุ่มตัวอย่างนี้สำคัญมากเมื่อประชากรนั้นไม่สม่ำเสมอ

การแปรปรวนของสมาชิกในประชากรทั้งหมดนำไปสู่การยากที่จะสรุปผลอย่างทั่วไป (General Results) โดยใช้ตัวอย่างชุดเดียวเป็นเกณฑ์ ถ้าไม่มีความแปรปรวนของตัวอย่าง ตัวอย่างที่มีเพียงค่าเดียวก็จะ

บอกค่าของประชากรได้ เทคนิคการสุ่มตัวอย่างนี้ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องเพื่อช่วยให้การอนุมานประชากรตัวอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เหตุผลของการสุ่มตัวอย่างประกอบด้วย

1. การทดลองนั้นไม่มีข้อจำกัดทางปฏิบัติในการเก็บข้อมูลประชากรทั้งหมด
2. การทดลองนั้นเกี่ยวข้องกับการวัดที่ต้องทำลายส่วนที่ถูกวัด (Destructive measurements)

4.2.2 วิธีการสุ่มตัวอย่างแบ่งออกเป็น

ก) การสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple Random Sampling)

ข) การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบ (Systematic Sampling)

ค) การสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (Stratified Sampling)

ง) การสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (Cluster Sampling)

การใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบใดนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของประชากรที่จะสุ่มและทรัพยากรที่มีอยู่ โดยทั่วไปแล้วเทคนิคการสุ่มตัวอย่างจะเกี่ยวข้องกับการเลือกตัวอย่างแบบสุ่มเพื่อป้องกันการลำเอียง ตัวอย่างเช่น การเก็บตัวอย่างต้นพืช 10 ต้นแรกในสวน ที่ไม่ใช่การเลือกแบบสุ่ม ตัวอย่างเหล่านี้อาจจะอยู่ใกล้ถนน หรือเป็นต้นที่แก่ที่สุดหรือใหญ่ที่สุด ดังนั้นจึงเป็นตัวอย่างที่ลำเอียง อันตรายที่คล้ายคลึงคือ การคัดเลือกตัวอย่างที่อยู่ในเกณฑ์เฉลี่ย หรือที่เป็นแบบอย่างในแต่ละกลุ่มมาน้อย ตัวอย่างดังกล่าวก็จะไม่สามารถเป็นตัวแทนของกลุ่มทั้งหมดได้

ก) การเก็บตัวอย่างแบบสุ่ม (Simple random sampling)

วิธีนี้เหมาะกับการสุ่มตัวอย่างที่ประชากรมีความสม่ำเสมอ และ/หรือ ไม่มีการแบ่งแยกจนเห็นความแตกต่าง การสุ่มตัวอย่างโดยวิธีนี้เป็นการให้โอกาสประชากรแต่ละหน่วยในการถูกเลือกเท่า ๆ กัน

ชนิดของประชากรที่ถูกสุ่มตัวอย่างมี 2 แบบ คือ

i) ประชากรที่ไม่ต่อเนื่อง แยกเป็นหน่วยๆได้ง่ายเช่น ต้นไม้ในสวนซึ่งสามารถให้หมายเลขกำกับได้ การสุ่มตัวอย่างแบบง่าย สามารถทำได้ดังนี้ สมมุติต้นไม้หมายเลข 1 ถึง 60 ต้องการสุ่มตัวอย่าง 8 ต้นเพื่อประเมินผลผลิตก็อาจสุ่มมาโดยใช้คอมพิวเตอร์หรือจากตารางเลขสุ่ม เช่น 46, 39, 9, 51, 25, 37, 14, 22 ต้นไม้ที่มีหมายเลขเหล่านี้ก็จะตกเป็นตัวอย่างที่สุ่มแบบง่าย

ii) ประชากรที่เป็นหน่วยเล็ก แบ่งให้เห็นชัดเจนยาก ตัวอย่างเช่น ผลไม้แต่ละผล ดอกไม้แต่ละดอก หรือกิ่งไม้แต่ละกิ่งบนต้นไม้ การสุ่มตัวอย่างแต่ละหน่วยนั้นไม่เป็นที่นิยม จึงมักจะเก็บตัวอย่างมาเป็นกลุ่มเล็ก ๆ เช่น วัดดอกไม้ทั้งหมดบนกิ่งไม้ที่สุ่มมาจำนวนหนึ่ง แทนที่จะสุ่มตัวอย่างจากดอกไม้ทั้งหมดบนต้น

ข) การเก็บตัวอย่างแบบมีระบบ (Systematic Sampling)

เมื่อพิจารณาถึงผลผลิตซึ่งถูกใส่สารเพื่อป้องกันโรคที่จะเกิดกับผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวและวางเรียงเกี่ยวมาเป็นสาย สมมุติว่าต้องการตัวอย่างผลไม้ 5% เราสามารถสุ่มหมายเลขระหว่าง 1 ถึง 20 มา 1 หมายเลข ถ้าเลือกได้หมายเลข 17 ดังนั้นผลไม้ผลที่ 17 37 57 ฯลฯ ก็จะเป็นผลที่ตกเป็นตัวอย่าง ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ปฏิบัติง่ายกว่าการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย

อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาถึงข้อเสียของวิธีนี้ด้วยการสุ่มตัวอย่างแบบนี้ หลีกเลี่ยงความแปรปรวนเป็นรายคาบภายในหน่วยทดลองไม่ได้ และผลที่ตามมาคือคิด อาจจะมีปัญหาในการวิเคราะห์ทางสถิติ การสุ่มตัวเลขมากกว่า 1 ชุดจะหลีกเลี่ยงปัญหานี้ได้

ค) การสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (Stratified sampling)

ใช้การสุ่มตัวอย่างแบบนี้เมื่อทราบล่วงหน้าว่าประชากรมีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มของหน่วยย่อยเช่น ความแตกต่างของต้นตอ หรือ พันธุ์ชนิดเดียวกัน แต่ปลูกในพื้นที่แตกต่างกัน เช่น ปลูกในที่ราบ บนที่ลาดชัน หรือ ในสวนที่ต่างกัน

ในกรณีนี้การสุ่มตัวอย่างแบบง่ายในประชากรทั้งหมดไม่เหมาะสม แต่ควรแบ่งตัวอย่างออกเป็นชั้นหรือเป็นบล็อกตามความแตกต่างของหน่วยย่อยในแต่ละกลุ่ม และสุ่มตัวอย่างมาจากแต่ละกลุ่มอีกที ปัญหา ก็คือจะแบ่งจำนวนตัวอย่างในแต่ละชั้นอย่างไร

มีหลายวิธีที่ใช้กันแต่วิธีที่นิยมที่สุดมักใช้วิธีกำหนดให้เป็นสัดส่วน (Proportional Allocation) คือ จำนวนตัวอย่างที่จะเก็บในแต่ละชั้นขึ้นอยู่กับขนาดของชั้นเมื่อเทียบกับจำนวนประชากรทั้งหมด

ข้อได้เปรียบของการสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมินี้คล้ายกับข้อดีในการแบ่งบล็อกของ RBD, การแบ่งชั้นอย่างมีประสิทธิภาพจะให้การประมาณค่าพารามิเตอร์ของแต่ละชั้นภูมิแม่นยำมากขึ้น และ ประมาณค่าพารามิเตอร์ของประชากรได้น่าเชื่อถือมากกว่าการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย

ง) การเก็บตัวอย่างแบบกลุ่ม (Cluster Sampling)

เป็นการสุ่มตัวอย่างจากส่วนย่อยหลายๆส่วนของประชากร เช่น ถ้าเราสนใจการเกิดโรคของผลไม้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เราก็อาจทำงานสนามให้ง่ายขึ้น และลดค่าใช้จ่ายลงได้โดยการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม แทนการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย ซึ่งการสุ่มตัวอย่างแบบง่ายนี้เราจะต้องเก็บตัวอย่างผลไม้จากทุกสวนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย และทำการตรวจผลไม้ที่เลือกมา ในการนี้อาจจะต้องรวบรวมผลไม้ที่มีลักษณะต่าง ๆ เกือบจะทั้งหมดในบริเวณนั้นซึ่งเป็นงานใหญ่และเกินกว่าทรัพยากรของโครงการ การสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มจะให้ข้อมูลที่น่าไปใช้ได้เร็วกว่า และลดค่าใช้จ่ายลงอย่างมาก โดยการสุ่มตัวอย่างสวนผลไม้เพื่อจะได้ตรวจสอบอย่างถี่ถ้วน ก่อนแล้วจึงสุ่มตัวอย่างผลไม้ในสวนที่ถูกสุ่มมาเพื่อตรวจสอบ

4.2.3 เทคนิคการจัดบันทึกในแปลงทดลอง

การจัดบันทึกนี้มีหลายวิธี เริ่มตั้งแต่การใช้ปากกาและสมุดบันทึกไปจนถึงการบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี แต่ยังไม่มียี่ห้อที่ดีที่สุด เพราะแต่ละสถานการณ์ก็ต้องการใช้วิธีที่ต่างกันไป และควรระลึกไว้ด้วยว่า การจัดบันทึกนี้อาจต้องทำ ท่ามกลางลม และฝน สำคัญสำนึกจึงเป็นสิ่งสำคัญ

เป็นที่ประจักษ์ชัดว่าเครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ นั้น มักเป็นที่นิยมมาก แต่ก็มีข้อจำกัดคือใช้ได้เฉพาะงานทดลองในอาคารเท่านั้น เช่น งานทดลองในโรงเรือน หรือในห้องปฏิบัติการ และเมื่อใช้เครื่องบันทึกแบบนี้ก็จำเป็นที่จะต้องมีสำเนาการบันทึกข้อมูล เช่นการพิมพ์ข้อมูลออกมาระหว่างการบันทึก เพื่อป้องกันเครื่องหรือเทปทำงานผิดพลาด หรือกระแสไฟฟ้าขัดข้อง

วิธีที่ใช้โดยทั่วไปคือ การบันทึกข้อมูลในสมุดก่อน แล้วจึงลอกลงในกระดาษบันทึกข้อมูลที่ปรินต์เพื่อการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ไม่จำเป็นเพราะอาจลอกผิดได้ ควรนำ field book ไปในแปลงทดลองด้วย และบันทึกข้อมูลลงในแผ่นบันทึกข้อมูลโดยตรงเพื่อส่งไปวิเคราะห์ผลทางสถิติพร้อมทั้งถ่ายสำเนาเก็บไว้ด้วย แผ่นบันทึกข้อมูลนี้ควรจะเป็นแผ่นที่ไม่ให้มันติดกัน (Loose leaf) หนีบบนแผ่นแข็งมีปกพลาสติกหุ้มและควรจัดลำดับตามรูปแบบของแปลงทดลองเพื่อสะดวกในการบันทึกข้อมูล การจัดลำดับแบบนี้สามารถที่จะแปลงกลับเป็นรูปแบบมาตรฐานในการวิเคราะห์ทางสถิติ ได้โดยการใช้คอมพิวเตอร์ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ข้อมูล

4.2.4 ข้อมูลสูญหาย

โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ทางสถิติส่วนใหญ่จะคลุมถึงข้อมูลที่สูญหายด้วย ถ้ามีข้อมูลสูญหายไม่มากนัก ตามปกติข้อมูลไม่ควรสูญหายมากกว่า 5-10%

ถ้าใช้ single-tree plots การพิจารณาถึงข้อมูลสูญหายค่อนข้างง่าย กล่าวคือ ถ้าต้นไม้ตายหรือเป็นโรคอย่างรุนแรง ก็ถือว่าเป็นข้อมูลสูญหายเนื่องมาจากความไม่สมบูรณ์ของต้นไม้อาจไม่ต้องไม่ได้เป็นผลลัพธ์ เนื่องมาจากการใส่สิ่งทดลอง (treatment) แต่ถ้าเป็นสิ่งทดลองเป็นสาเหตุ หรือสงสัยว่าจะเป็นสาเหตุของปัญหา ก็ให้จดข้อมูลไว้ ส่วนการตัดสินใจในการวิเคราะห์ตัวเลขหรือเสนอผลข้อมูลนั้นสามารถทำได้เมื่อสิ้นสุดการทดลอง เช่น นักวิจัยประสงค์จะดูอัตราการเจริญเติบโตของพืชทั้งหมด หรือต้องการเฉพาะค่าเฉลี่ยของอัตราการเติบโตที่สมบูรณ์ ก็ให้พิจารณาข้อมูลนั้น ร่วมกับเปอร์เซ็นต์ของต้นพืชที่สมบูรณ์แต่ละสิ่งทดลอง ก็จะทำให้เกิดปัญหาในการทดลองที่ใช้ Multiple-tree plots การใช้การทดลองแบบนี้เนื่องมาจากมีการคาดว่าจะเป็นการแข่งขันระหว่างต้น ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ (เช่น น้ำ ธาตุอาหาร แสง ฯลฯ) ที่ไม่ได้ถูกใช้โดยต้นที่ตายแล้วหรือต้นที่เป็นโรค จะถูกใช้โดยต้นอื่น ๆ รอบต้นที่ตายแล้ว ดังนั้นจึงไม่ควรจดบันทึกข้อมูลจากต้นที่อยู่ติดกับต้นที่ตายแล้ว ถ้าต้นที่ตายไปเป็นต้นที่อยู่ในแถวคอกก็จะมีปัญหาน้อย แต่ถ้าเป็นต้นที่เก็บผลอาจจะทำให้ไม่เหลือต้นสำหรับบันทึกข้อมูลเลย ตามปกติแล้วจะค่าเฉลี่ยของต้นที่ไม่ถูกกระทบทั้งหมด (เช่น ต้นที่ล้อมรอบด้วยต้นที่เหมือนกัน) เป็นข้อมูลของแปลงย่อยนั้น ๆ เช่นในแปลงย่อยนั้น ๆ เช่นในแปลงที่มี 16 ต้น (4x4) 4

ต้นข้างในจะเป็นต้นที่เก็บข้อมูล และเป็นที่คาดหวังว่าทุกแปลงย่อยจะเก็บข้อมูลได้จาก 4 ต้น แต่เนื่องจากบางแปลงอาจจะมีต้นขาดหายไปก็ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของ 3 ต้น, 2 ต้น หรือ 1 ต้น บางแปลงอาจจะสูญหายทั้งหมด ใช้ข้อมูลเหล่านั้นวิเคราะห์ข้อมูลสูญหายนี้ด้วย

คำนิยม

คณะบรรณาธิการขอขอบคุณ น.ส. มณฑนา จิรพันธุ์วานิช และนางสาวนีย์ พิสิฐพันธุ์ ที่ช่วยแปลเอกสารฉบับภาษาอังกฤษเป็นภาษาไทย และขอขอบคุณ ดร. ดี ไชวรี มร. ปี กอดดาร์ด แห่งโครงการวิจัยเกษตรแห่งชาติส่วนความช่วยเหลือจากรัฐบาลออสเตรเลียที่ช่วยจัดการเริ่มต้นดำเนินการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ ซึ่งการสัมมนานี้ทำให้ได้วัตถุดิบสำหรับการเรียบเรียงเอกสารฉบับนี้ ขอขอบคุณ มร. แอล อาดัมสัน ที่ช่วยตรวจต้นฉบับภาษาอังกฤษ และสุดท้ายขอขอบคุณเจ้าหน้าที่พิมพ์ดีดของโครงการวิจัยเกษตรแห่งชาติ และผู้ตรวจทานการพิมพ์ที่ช่วยในการเตรียมเอกสารสำหรับการพิมพ์ครั้งนี้

Reference

- Antcliff, A.J., May, P. Webster, W.J. and Hawkes, J. (1972). The Merbein Branch count – a method to analyze the performance of grape vines. Hort. Sci. 7(2) : 196-197.
- Bell, D.J.D. and Bell, H.F.D. (1983). Relationship between leaf canopy surface area and yield. Proc. First Aust. Macadamia Workshop. Ed. By R.A. Stephenson and E.C. Gallagher, Session 14 Paper 2. Pp. 7.
- Bradley, R.A. (1953). Some statistical methods in taste testing and quality evaluation, Biometrics 9,22 to 38.
- Chapman, K.R., Bell, H.D. and Bell, D. (1985). Rethinking the Design of future Macademia plantations in Australia. Calif. Macadamia Soc. Yearbook. Vol XXX. Pp. 82-88.
- Chapman, K.R., Bell, H.F.D. and Bell, D.J.D. (1986). Some methods for relating yield to tree size in Macadamia. ACTA Hort. No. 175. Pp. 43-48.
- Chapman, K.R., Paxton, B., and Maggs, D.H. (1986). Growth and yield of clonal guavas in south-eastern Queensland. Aust. J. Exp. Agric. 26: 619-624.
- Charles-Edwards, D.A. (1982). "Physiological Determinants of Crop Growth". Academic Press, Sydney. pp. 161.
- Cochran, W.G. and Cox, G.M. (1957). Experimental Designs, second edition, Wiley.
- Cull, B.W. (1986). A phenological cycling approach to tree crop productivity research. ACTA Hort. No. 175. pp. 151-156.
- George, A.P. and Nissen, R.J. (1982). Yield Growth and quality of the persimmon (*Diospyros kaki* L.) in S.E. Queensland. Qld. J. Agric. Anim. Sci. 39: 149-158.
- George, A.P. and Nissen, R.J. (1986) Growth, yield and scion-rootstock interaction effects of the Custard Apple in S.E. Queensland. Qld. J. Agric. Anim. Sci. 43:73-81.
- Holt, J.E. and Schoorl, D. (1983). Mechanics of failure in fruit and vegetables. J. Text. Stud. 13(1): 83-96.
- Holt, J.E., Schoorl, D., and Mayer, D.G. (1984). A basic program to simulate post-harvest water loss in horticultural products. Commercial Horticulture. 4(2)
- Kramer, A. and Twigg, B.A. (1966). 'Taste testing', in Fundamentals of quality control for the food industry, second edition, 120 to 124.

- Kver, J. Ondok, J.P. Necas, J., and Jarvis, P.G. (1971). Methods of Growth Analysis. In "Plant Photosynthetic Production – Manual of Methods". Ed by Z. Sestak, K. Catsky and P.G. Jarvis Dr. W. Junk N.V. Publishers, The Hague. pp. 343-391.
- Mayer, D.G. Holt, J.E. and Schoorl, D. (1984). A basic program to simulate post harvesting ripening and pathogen growth in horticultural produce. *Commercial Horticulture*. 4(4).
- Moore, C.S. (1968). Response to growth and cropping of apples to treatments studied by a method of component analysis. *J. Hort. Sci.* 43:249-262.
- Pearce, S.C. (1976) "Field Experimentation with Fruit Trees and Other Perennial Plants". C.A.B. England. pp. 182.
- Radford, P.J. (1967). Growth Analysis formulae – their use and abuse. *Crop. Sci.* 7(3).
- Schoorl, D. (1984). "A Methodology for the Management of Quality in Horticultural Distribution". Doctor of Agric. Science Thesis., University of Queensland, Australia.
- Schoorl, D. and Holt, J.E. (1980) Bruise resistance measurement in apples. *J. Text. Stud.* 11(4): 389-394.
- Schoorl, D. and Holt, J.E. (1983b) Cracking in potatoes. *J. Text. Stud.* 14(1): 61-70.
- Schoorl, D. and Holt, J.E. (1983c) Quality and reputation in the market place. *Agric Systems*. 13:191-203.
- Schoorl, D. and Holt, J.E. (1983a) A practical method of tensile testing of apple tissue. *J. Text. Stud.* 14(2): 155-164.
- Schoorl, D. and Holt, J.E. (1984) Post Harvest energy transformations in horticultural produce. *Agric Systems*.
- Schoorl, D. and Holt, J.E. (1985) A Methodology for the management of quality in horticultural distribution. *Agric Systems*. 16:199-216.
- Schoorl, D., Mayer, D.G. and Holt, J.E. (1983). A basic program to calculate bruising in apples during handling. *Commercial Horticulture*. 4(3)
- Schoorl, D., Mayer, D.G. and Holt, J.E. (1984). A basic program to calculate post-harvest shelf life in horticultural produce. *Commercial Horticulture*. 4(3)

Skikhamany, S.D., Iyer, C.P.A., Ramachander, P.R. and Srinivasan, V.R. (1978). Studies on the relationship of certain growth attributes with fruit yield in guava (*Psidium guaiava* L.) (1) Multiple regression analysis. *Vatika*. 1:15-25.

กรมวิชาการเกษตร