

การตรวจเอกสาร

1. ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการแสดงออกของพืช

การแสดงออกของพืชภายในประชากรเกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุ 3 ประการคือ 1) ความผันแปรอันเนื่องมาจากพันธุกรรมซึ่งเกิดขึ้นจากการแสดงออกของพืช 2) ความผันแปรอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม และ 3) ความผันแปรอันเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม ซึ่งความผันแปรอันเนื่องมาจากพันธุกรรมจะสามารถถ่ายทอดไปยังชั่วรุ่นต่อไปได้ แต่ความผันแปรอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมไม่สามารถถ่ายทอดไปยังชั่วรุ่นต่อไปได้ และความผันแปรอันเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมจะเป็นตัวการที่สำคัญที่สุดที่ทำให้พืชแสดงออกแตกต่างกันไปในแต่ละสภาพแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิ ชนิดของดิน เป็นต้น เพราะฉะนั้น พืชพันธุ์หนึ่งอาจจะให้ผลผลิตสูงในสภาพแวดล้อมหนึ่ง ในขณะที่อีกพืชพันธุ์หนึ่งอาจจะให้ผลผลิตสูงในอีกสภาพแวดล้อมหนึ่ง

Allard และ Bradshaw (1964) อ้างโดย Fehr (1987) ได้แบ่งปัจจัยของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการแสดงออกของพืชออกเป็น 2 ปัจจัยคือ

1. ปัจจัยที่สามารถคาดคะเนได้ (predictable factors) เป็นปัจจัยที่เกิดขึ้นอย่างมีแบบแผน หรือ ภายใต้การควบคุมของมนุษย์ เช่น วันปลูก ระยะปลูก อัตราปลูก เป็นต้น
2. ปัจจัยที่ไม่สามารถคาดคะเนได้ (unpredictable factors) เป็นปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น

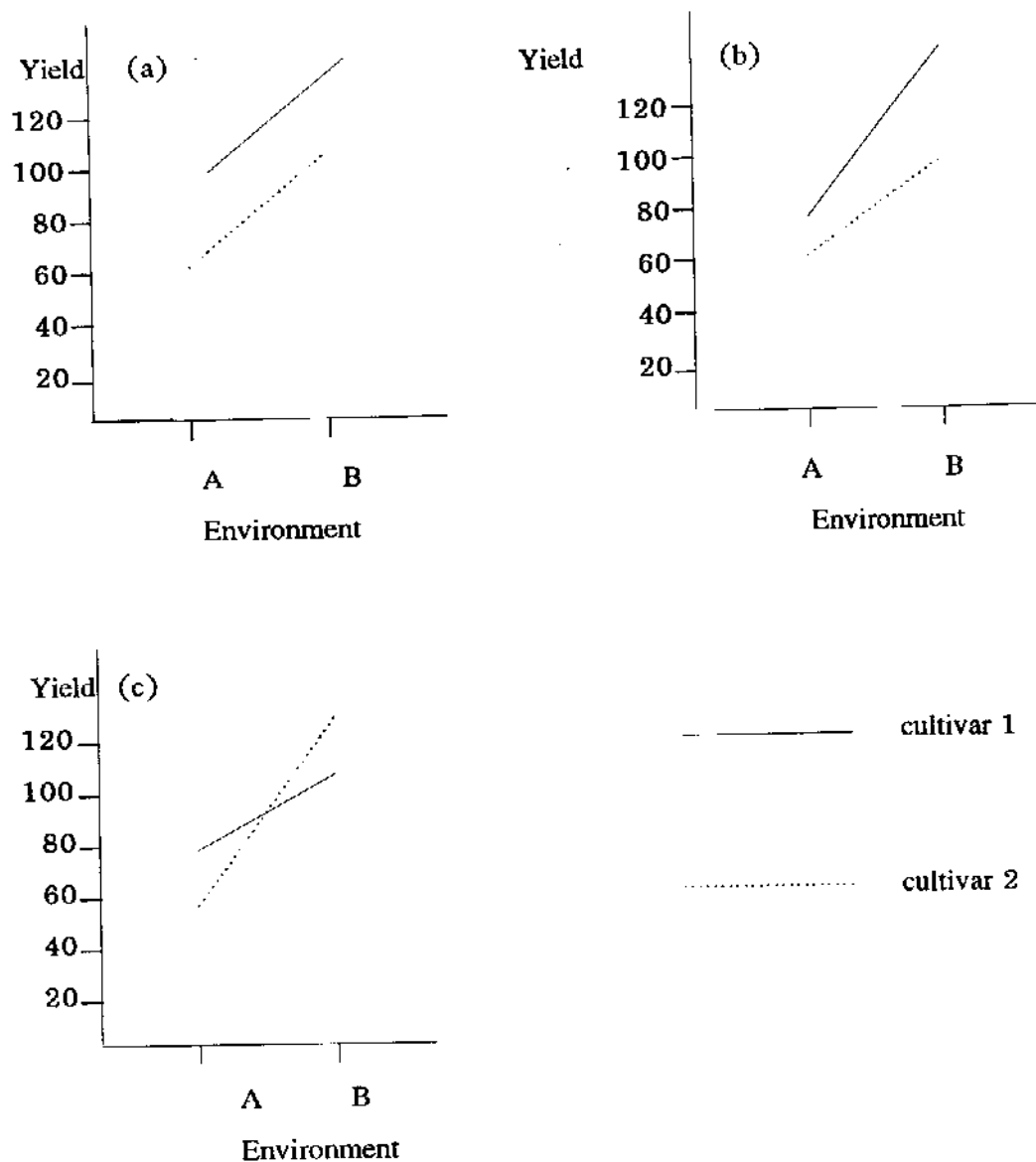
การพิจารณาถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมจะดูที่การแสดงออกของพันธุ์ (relative performance) ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ถ้าพบว่าการแสดงออกของพันธุ์ยังคงที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมแสดงว่าไม่มีความผันแปรอันเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม ซึ่งการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมเป็นไปได้ 2 ทาง คือ

1. ความแตกต่างระหว่างพันธุ์ เมื่อ สภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป ยังคงเรียงลำดับของพันธุ์เดิม แต่ขนาดความแตกต่างของพันธุ์ไม่เท่ากัน ทั้ง 2 สภาพแวดล้อม
2. การเรียงลำดับของพันธุ์เปลี่ยนแปลงไปเมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลง

ไป

(ภาพที่ 1)

ดังนั้น ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม จึงเป็นสิ่งสำคัญมากในการปรับปรุงพันธุ์ โดยเฉพาะการคัดเลือกพันธุ์ ซึ่งอาจจะทำให้การคัดเลือกพันธุ์ผิดพลาดได้ โดยเฉพาะการคัดเลือกในลักษณะทางปริมาณ (quantitative traits) เช่น ลักษณะผลผลิต เป็นต้น



ภาพที่ 1 แสดงการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม

- (a) ไม่เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม
- (b) เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมในทิศทางเดียวกัน แต่ขนาดต่างกัน
- (c) เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมโดยการเปลี่ยน

ลำดับที่ของพันธุ์

ที่มา : Fehr (1987)

Allard และ Bradshaw (1964) อ้างโดย ศุทธิณี (2531) รายงานว่าความผันแปรอันเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม มีความยุ่งยาก และ ซับซ้อนมากและยังพบว่าชนิดของความผันแปรอันเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมมีความเป็นไปได้ถึง $(10)^{145}$ ชนิด ซึ่งมีมากกว่าจำนวนของพืชที่มีอยู่ในโลก

Imrie และคณะ (1981) ทำการศึกษาอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม ที่มีผลต่อผลผลิต และองค์ประกอบของผลผลิตในถั่วเขียว โดยใช้ถั่วเขียว 21 สายพันธุ์ปลูกใน 12 สภาพแวดล้อมพบว่าความผันแปรอันเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม มีผลต่อการแสดงออก ของผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตมากที่สุดคือร้อยละ 66 ในขณะที่อิทธิพลของสภาพแวดล้อมและพันธุกรรม จะมีขนาดความผันแปรเท่ากับร้อยละ 32 และ 2 ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Imrie และ Butler (1982) ใช้ถั่วเขียว 30 สายพันธุ์ ปลูกทดสอบใน 4 สภาพแวดล้อม เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม โดยศึกษาใน ลักษณะ ความสูง อายุวันออกดอก อายุวันเก็บเกี่ยว และ ผลผลิตพบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม มีผลต่อการแสดงออกของพืชในทุกลักษณะที่ทำการศึกษาโดยเฉพาะลักษณะผลผลิตพบว่าขนาดความผันแปรอันเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับ สภาพแวดล้อม จะมีขนาดใหญ่กว่าความผันแปรจากแหล่งอื่น ๆ ซึ่งมีค่าถึงร้อยละ 37.2 ในขณะที่ขนาดของความผันแปรอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมและพันธุกรรม จะมีค่าเพียงร้อยละ 10.7 และ 7.5 ตามลำดับ

Campbell และ Kem (1981) ใช้หัวชูการ์บีต (sugar beet) เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อผลผลิต โดยปลูกทดสอบใน 5 สถานที่ เป็นเวลา 4 ปี พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสถานที่จะมีอิทธิพลต่อหัวชูการ์บีต ซึ่งจะช่วยให้จัดแบ่งลำดับชั้นของพันธุ์ได้ ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่าง พันธุ์ $\times$ สถานที่ ; พันธุ์ $\times$ ปี และพันธุ์ $\times$ ปี $\times$ สถานที่ จะมีผลต่อปริมาณน้ำตาลซูโครส และ ธาตุอาหารน้อย ในขณะที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง พันธุ์ $\times$ ปี ; พันธุ์ $\times$ สถานที่ $\times$ ปี จะมีผลต่อการแสดงออกในลักษณะผลผลิตเกือบจะเท่า ๆ กัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการทดสอบพันธุ์ ไม่จำเป็นต้องปลูกทดสอบหลาย ๆ ปี ได้ แต่เปลี่ยนเป็นทดสอบปลูกในหลายสถานที่ต่อปีแทน ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการลดระยะเวลาในการทดสอบ

Bassett และคณะ (1989) ศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม ที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวสาลี โดยใช้ข้าวสาลี 4 สายพันธุ์ ปลูกใน 63 สภาพแวดล้อม พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมจะมีผลต่อคุณภาพของข้าวสาลีในลักษณะของ cookie diameter hardness

Kang และ Gorman (1989) ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และความชื้นสัมพัทธ์ที่มีผลต่อผลผลิต โดยทดสอบในข้าวโพดลูกผสม 17 สายพันธุ์ปลูกใน 4 สถานที่ เป็นเวลา 3 ปี พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม มีผลต่อค่าเฉลี่ยของผล

ผลิตในทุกสภาพแวดล้อม ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของผลผลิตแตกต่างกันไปในแต่ละสถานที่ แต่ละปี

Yang และ Baker (1991) ได้ศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อม ใน ข้าวสาลี 2 คู่ผสม โดยการประเมินข้าวสาลีในชั่วรุ่นที่ 2 (F_2) ที่เกิดจากคู่ผสมระหว่างพันธุ์ Potan และ Ingal ($P \times I$) และ คู่ผสมระหว่าง RL 3147 กับ Ingal ($R \times I$) โดยศึกษาใน ลักษณะทางปริมาณ 5 ลักษณะ พบว่าอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ $\times$ ปี มีผลต่อทุก ลักษณะที่ทำการศึกษา ยกเว้นลักษณะ kernel hardness ในคู่ผสมของ ($P \times I$) ในขณะที่คู่ผสม ของ ($R \times I$) จะพบปฏิสัมพันธ์ระหว่าง พันธุ์ $\times$ ปี ในลักษณะของอายุวันออกดอก จำนวน เมล็ดต่อรวง และความแข็งแรงของเมล็ด นอกจากนี้ยังพบปฏิสัมพันธ์ระหว่าง พันธุ์ $\times$ ปี ใน ลักษณะของน้ำหนักเมล็ดในคู่ผสมของ ($R \times I$) ซึ่งการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมจะเป็นผลมาจากการขาดความเป็นเอกภาพของความแปรปรวน (heterogeneity of variance) แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงลำดับของพันธุ์ในทุกลักษณะที่ทำการ ศึกษาในทั้ง 2 คู่ผสม

Gravois และคณะ (1991) ทำการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อม ที่มีผลต่อผลผลิตของข้าว โดยใช้ข้าวในการทดสอบ 2 ชนิดคือ head rice และ rough rice 19 สายพันธุ์ ปลูกใน 4 สถานที่ เป็นเวลา 4 ปี พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ $\times$ ปี จะมีอิทธิพล ต่อการแสดงออก ของข้าวชนิด head rice ในขณะที่ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ $\times$ ปี $\times$ สถานที่ จะ เป็นความผันแปรที่สำคัญที่สุดต่อการแสดงออกของข้าวชนิด rough rice ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่าง พันธุ์ $\times$ สถานที่ จะมีความสำคัญน้อยที่สุดต่อการแสดงออกของข้าว นอกจากนี้เขาได้ยังได้แนะนำ ในการทดสอบพันธุ์ข้าวควรจะมีการปลูกทดสอบอย่างน้อย 2 ซ้ำ และ 2 สถานที่ เป็นเวลาอย่างน้อย 3 ปี

Sinclair และคณะ (1991) ได้ศึกษาความแปรปรวนทางพันธุ์กรรมของถั่วเหลืองใน ลักษณะของจำนวนและน้ำหนักของปมโดยใช้ถั่วเหลืองในการศึกษา 100 สายพันธุ์ ซึ่งเป็นถั่ว เหลืองที่มีอายุวันเก็บเกี่ยว ในกลุ่มที่ 5-9 ปลูกทดสอบใน 2 สถานที่ เป็นเวลา 2 ปี ซึ่งในปี ค.ศ. 1983 จะปลูก ถั่วเหลืองทั้ง 100 สายพันธุ์ และทำการคัดเลือกเหลือเพียง 17 สายพันธุ์ ในปี ค.ศ. 1984-1985 พบว่า แต่ละสายพันธุ์แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทั้ง 2 ลักษณะ นอกจากนี้ยังพบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสถานที่จะมีผลต่อการแสดงออกของพืชใน ลักษณะของปมและราก และสภาพแวดล้อมยังมีอิทธิพลต่อการติดปมของถั่วเหลือง

Gross และ Hanzel (1991) ทำการเปรียบเทียบพันธุ์ของทานตะวัน เพื่อหาลักษณะ ของพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อการทำลายของนกนอกจากนี้ยังได้ศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่าง พันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อลักษณะต่าง ๆ ของทานตะวัน โดยในการทดสอบจะให้ พันธุ์ทานตะวัน 6 สายพันธุ์ คือ BRS1 ND208 ND492 ND495 ND162 และ ND 223-16 เปรียบเทียบกับสายพันธุ์ที่ไม่มีความต้านทาน 7 สายพันธุ์ คือ ND221 ND224 ND505

HA89 ND581 ND223-1 และ ND 223-3 ปลุกทดสอบใน 3 สถานที่ เป็นเวลา 2 ปี พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม จะมีผลต่อการแสดงออกของพืช ในทุกลักษณะที่ทำการศึกษา นอกจากนี้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมไม่ใช่ตัวการสำคัญที่ทำให้ลำดับของสายพันธุ์ด้านทานและสายพันธุ์ไม่ด้านทานเปลี่ยนแปลงไป แต่มีผลทำให้ขนาดการตอบสนองของสายพันธุ์เปลี่ยนแปลง เมื่อปลูกในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

นอกจากนี้ยังมีรายงานอีกจำนวนมากก็ได้ศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม เช่น ประภัสร์ (2532) ศึกษาในข้าวเหนียว และ ข้าวเจ้า : Reich และ Atkins (1970) ; Heinrich และคณะ (1983) ; Saeed และ Francis (1983) ศึกษาในข้าวฟ่าง; Campbell และ Lafever (1980) ศึกษาในข้าวสาลี ; Knight (1970) ศึกษาใน *Dactylis glomerata* : Tai (1971) ศึกษาในมันฝรั่ง ; Bilbro และ Ray (1976) ศึกษาในฝ้าย ; Schilling และคณะ (1983) ศึกษาในถั่วลิสงพันธุ์มัลติไลน์ และ พันธุ์องค์ประกอบ ; Jackson (1992) ศึกษาในอ้อย ; Green และคณะ (1977) ; Weaver และคณะ (1983) ; Panter และ Allen (1989) ศึกษาในถั่วเหลือง

อย่างไรก็ตาม ยังพบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม ยังมีอิทธิพลต่อการประเมินอัตราทางพันธุกรรม (heritability) เพราะว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม จะขึ้นอยู่กับสัดส่วน ของพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม ซึ่งในส่วนของพันธุกรรมจะสามารถถ่ายทอดไปยังชั่วต่อไปได้ แต่ถ้าสัดส่วนของสภาพแวดล้อมมีมาก จะทำให้การคัดเลือกลักษณะความแตกต่างทางพันธุกรรมที่แท้จริงได้ยาก ในขณะเดียวกันถ้าความแตกต่างที่เกิดจากสภาพแวดล้อมมีน้อย จะทำให้การคัดเลือกมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ก็เพราะว่าลักษณะที่ทำการคัดเลือกจะได้ตรงตามพันธุ์ และถูกต้องตามวัตถุประสงค์การปรับปรุงพันธุ์ (กฤษฎา, 2519) ซึ่งได้มีรายงานเกี่ยวกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการประเมินอัตราทางพันธุกรรม เช่น Fatunla และ Frey (1976) ศึกษาในข้าวโอ๊ต; Gravois และคณะ (1991) ศึกษาในข้าว และ Sinclair และคณะ (1991) ศึกษาในถั่วเหลือง

นอกจากนี้ยังพบว่าในการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม มักจะพบเสมอว่าความแปรปรวน ในแต่ละสภาพแวดล้อมมักจะไม่เป็นเอกภาพต่อกัน (heterogeneity of variance) คือความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยไม่สัมพันธ์กัน ซึ่งอาจจะทำให้การแปลผล ขาดความน่าเชื่อถือ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำให้ความแปรปรวนเป็นเอกภาพต่อกัน (homogeneity of variance) ซึ่งการแปลงข้อมูล (data transformation) จะเป็นเทคนิคธรรมดาที่จะลดความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่ไม่ทราบสาเหตุ (error variance) หรือลดความแปรปรวนในทุกสภาพแวดล้อม มีผลทำให้ความแปรปรวนเป็นเอกภาพต่อกัน (homogeneity of variance) วิธีการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมจะขึ้นกับชนิดของความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนกับค่าเฉลี่ย ซึ่งวิธีการแปลงข้อมูล โดยทั่วไป ที่ใช้ในการวิจัยทางเกษตร จะมี 3 วิธีการ คือ

1. Logarithmic transformation เหมาะสมกับข้อมูลที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ สัด ส่วนกับค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปจะพบในข้อมูลที่มีค่าจำนวนมาก ๆ และมีช่วงของค่าแตกต่างกันมาก
2. Square- Root transformation เหมาะสมกับข้อมูลที่มีจำนวนทั้งหมดน้อย และ ความแปรปรวนข้อมูลมีแนวโน้มได้สัดส่วนกับค่าเฉลี่ย
3. Arc-Sine transformation เหมาะสมกับข้อมูลที่เป็น ทศนิยม หรือเป็นเศษส่วน (Gomez, 1983)

Mather และ Jink (1977) อ้างโดย DeLacy (1989) แนะนำว่า scale ที่ใช้วัดหรือ บันทึกข้อมูลนั้นควรเลือก scale ที่สามารถลดปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อม ให้ มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

Finlay และ Wilkinson (1963) ชี้ให้เห็นว่าการแปลงข้อมูลผลผลิตให้เป็นอย่าง log scale จะทำให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองเป็นเส้นตรงได้ดียิ่งขึ้นก็ทำให้ ความแปรปรวนของการทดลองมีความสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นอย่างมีเหตุผล

Eagles และคณะ (1977) ทำการทดสอบกับข้าวโอ๊ต 80 สายพันธุ์ปลูกใน 4 สภาพแวดล้อม ใช้วิธีการแปลงข้อมูล โดยการถอดรากที่ 3 (cube-root transformation) พบว่า การแปลงข้อมูลจะทำให้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมลดลงมากกว่าข้อมูลที่ยัง ไม่ได้แปลง

2. วิธีการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อม

จะเห็นได้ว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมมีผลต่อการแสดงออกของ พืช โดยเฉพาะเมื่อปลูกเปรียบเทียบพันธุ์ในหลาย ๆ สภาพแวดล้อม จะทำให้การเปรียบเทียบ พันธุ์ผิดพลาดได้ดังนั้นจึงได้มีผู้สนใจศึกษาการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับ สภาพแวดล้อมในหลายวิธีการดังต่อไปนี้

Plaisted และ Peterson (1959) อ้างโดย Fehr (1987) เสนอวิธีการศึกษาปฏิสัมพันธ์ ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อม โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม ในแต่ละคู่ของพันธุ์ที่ ใช้ในทุกสภาพแวดล้อม ถ้าพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อม จึงวิเคราะห์ความ แปรปรวนรวม ในแต่ละคู่ทุกพันธุ์ที่ใช้ทุกคู่แบบพบกันหมด ประมาณค่าความแปรปรวนของ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อม จากแต่ละคู่หาค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนอัน เนื่องมาจากปฏิกิริยา ดังกล่าวในแต่ละพันธุ์ ถ้าพันธุ์ใดมีค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนอันเนื่องมา จากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมต่ำสุดจะเป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพที่สุดซึ่งการ

ประเมินสายพันธุ์โดยวิธีนี้จะทำการวิเคราะห์ถึง $n(n-1)$ เมื่อ n คือจำนวนพันธุ์ เพราะฉะนั้นวิธีการนี้ไม่สะดวกเมื่อมีจำนวนพันธุ์มากขึ้น

Wricke (1962) อ้างโดย Jowett (1972) อ้างโดย พิระศักดิ์ (2525) ได้เสนอให้ใช้ค่า *ecovalence* ในการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมและวัดเสถียรภาพของพันธุ์ พบว่าถ้าพันธุ์ใดมีค่า *ecovalence* ต่ำ แสดงว่ามีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยของการทดลองและเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมต่ำในขณะเดียวกันถ้าพันธุ์ใดมี *ecovalence* สูง แสดงว่าจะมีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยของการทดลองและเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมสูง อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้ไม่สามารถวัดความเปลี่ยนแปลงการตอบสนองของพันธุ์ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดีนอกจากนี้ยังเป็นวิธีการที่ขาดความแม่นยำและความยุ่งยากในการคำนวณเมื่อมีจำนวนพันธุ์มากขึ้น

Yates และ Cochran (1938) อ้างโดย พิระศักดิ์ (2525) เป็นผู้ริเริ่มเสนอให้ใช้เทคนิครีเกรสชันในการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อม แต่ได้รับความสนใจน้อยจนกระทั่ง Finlay และ Wilkinson (1963) ; Eberhart และ Russell (1966) ได้มาศึกษาอย่างจริงจังโดย

Finlay และ Wilkinson (1963) ได้ปรับปรุงวิธีการของ Yates และ Cochran (1938) ซึ่งได้เสนอวิธีการสร้างรีเกรสชันของผลต่างระหว่างผลผลิตเฉลี่ยของแต่ละพันธุ์กับผลผลิตเฉลี่ยของพันธุ์อื่น ๆ บนผลผลิตเฉลี่ยของทุกพันธุ์ในแต่ละสภาพแวดล้อมเพื่อประเมินผลการตอบสนองของพันธุ์ต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง แต่พบว่าวิธีการนี้ไม่สามารถอธิบายถึงการตอบสนองของพันธุ์ต่อสภาพแวดล้อมที่ผันแปรได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้น Finlay และ Wilkinson (1963) จึงได้ปรับปรุงวิธีการโดยการใช้ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (regression coefficient) ของค่าเฉลี่ยแต่ละพันธุ์ในแต่ละสภาพแวดล้อมบนค่าเฉลี่ยของทุกพันธุ์ในแต่ละสภาพแวดล้อมซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการวัดและแบ่งชั้นของสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องโดยการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันและผลผลิตเฉลี่ยเพื่อแยกความแตกต่างของผลตอบสนองของแต่ละพันธุ์

Eberhart และ Russell (1966) ได้ปรับปรุงวิธีการของ Finlay และ Wilkinson (1963) โดยการเพิ่มค่าเบี่ยงเบนไปจากเส้นรีเกรสชัน (deviation mean square) เป็นพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งร่วมกับสัมประสิทธิ์รีเกรสชันและค่าเฉลี่ยผลผลิตซึ่งสามารถวัดค่าความแตกต่างระหว่าง

รีเกรสชันเส้นตรง (linear regression) ซึ่งจะพบว่าสามารถแบ่งปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) ความผันแปรอันเนื่องมาจากการตอบสนองของพันธุ์ต่อดัชนีสภาพแวดล้อม และ 2) ความผันแปรอันเนื่องมาจากการเบี่ยงเบนไปจากรีเกรสชัน

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวิธีการของ Finlay และ Wilkinson (1963) ; Eberhart และ Russell (1966) สามารถใช้ค่าความแตกต่างระหว่างรีเกรสชันเส้นตรงของแต่ละพันธุ์อธิบายปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมอย่างไรก็ตามเมื่อมีการวิเคราะห์ความแปรปรวนของทุกพันธุ์

พบว่าวิธีการของ Eberhart และ Russell (1966) ยังมีความสับสนบางประการเกี่ยวกับ degree of freedom ที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อม ดังนั้น Perkins และ Jinks (1968) จึงได้เสนอ model ของความแปรปรวนใหม่ เพื่อหลีกเลี่ยงความสับสนนี้ซึ่งได้ประมาณค่ารีเกรสชันในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของทุกพันธุ์และสภาพแวดล้อมที่เรียกกันว่า regression analysis ซึ่งการใช้เทคนิควิเคราะห์รีเกรสชันเส้นตรงร่วม (joint linear regression) เป็นวิธีการที่ง่ายและใช้ได้ดีที่สุดในการอธิบายการปรับตัวของพืชในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ และสามารถแยกความแตกต่างของพันธุ์ได้ดีเมื่อมีการตอบสนองเป็นเส้นตรงสูง ซึ่งจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมาก และยังสามารถบอกได้ว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมส่วนใดมีความสัมพันธ์กับดัชนีสภาพแวดล้อมในรูปเส้นตรง แต่อย่างไรก็ตามพบว่างานทดลองในไรนาที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมได้ต่ำการใช้เทคนิควิเคราะห์รีเกรสชันค่อนข้างจะใช้ไม่ได้ผล การสรุปผลอาจจะผิดพลาดได้ และ ขาดข้อมูลที่ เป็นประโยชน์ เกี่ยวกับลักษณะของพันธุ์ นอกจากนี้ Knight (1970) แสดงให้เห็นว่าการตอบสนองของพันธุ์ต่อปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งของสภาพแวดล้อม เช่น ปริมาณธาตุอาหาร แสงอาจแตกต่างไปจากการตอบสนองที่วัดโดยใช้ผลผลิตเฉลี่ยของสภาพแวดล้อมซึ่งการใช้เทคนิครีเกรสชันเส้นตรงอาจจะทำให้ลักษณะไม่ใช่รูปแบบการตอบสนองอย่างแท้จริงซึ่งอาจจะทำให้การสรุปผิดพลาดได้ หรือการวิเคราะห์ข้อมูลของพันธุ์ สภาพแวดล้อม และเสถียรภาพจะต้องมีการแปลผลอย่างระมัดระวัง

นอกจากนี้ยังมีผู้เสนอวิธีการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมอีกหลายท่าน เช่น Tai (1971) เสนอให้ใช้พารามิเตอร์ 2 ตัวคือ (α) ใช้วัดการตอบสนองของพันธุ์ต่อสภาพแวดล้อม และ (λ) ใช้วัดค่าเบี่ยงเบนไปจากการรีเกรสชันเส้นตรง ; Hanson (1970) อ้างโดย ดนัย (2530) ได้ใช้ค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าคาดหวังของผลผลิตในสภาพแวดล้อม ; Shuklas (1972) อ้างโดย ดนัย (2532) เสนอให้ใช้ความแปรปรวน (σ_i^2, δ_i^2) ; Kang และ Miller (1984) ; Lin และคณะ (1986) ใช้ ecovalence (W_i) และความแปรปรวน (σ_i^2) เพื่อใช้ในการจัดลำดับช่วงของพันธุ์ ; Francis และ Kannenberg (1978) ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (CV)

จะเห็นได้ว่ามีวิธีการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมในหลายวิธีการ ซึ่งการใช้วิธีการจัดแบ่งกลุ่ม (cluster analysis) ก็เป็นแนวทางหนึ่งในการศึกษา ซึ่งพีระศักดิ์ (2525) กล่าวว่า การจัดแบ่งกลุ่มของสภาพแวดล้อมที่ทดสอบให้แคบลง โดยการจัดสถานที่ที่มีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกัน โดยอาจจะพิจารณาจากอุณหภูมิ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ชนิดของดินหรือ อาจจะใช้ตัวเลขจากค่าเฉลี่ยของลักษณะต่าง ๆ ของพืชที่ทดสอบในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ เป็นตัวบ่งชี้และการจัดรูปแบบการตอบสนองพันธุ์ที่คล้ายกันโดยใช้ตัวเลขจากค่าเฉลี่ยของสภาพแวดล้อมที่พันธุ์นั้น ๆ ปลูกอยู่ นอกจากนี้การจัดแบ่งกลุ่มยังจะทำให้ความผันแปรอันเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมลดลง และช่วยสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง

ลักษณะของพันธุ์หรือสภาพแวดล้อมกับรูปแบบการตอบสนองทำให้ลดปัญหาขนาดความซับซ้อนได้

ดังนั้นการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (cluster analysis) จึงได้ถูกนำมาใช้หรือตรวจสอบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมอย่างกว้างขวาง ซึ่งวิธีการในการจัดแบ่งกลุ่มมีผู้เสนอไว้หลายวิธีการ เช่น

Mungomery และ คณะ (1974) ; Byth และ คณะ (1976) อ้างโดย DeLacy(1989) ได้เสนอวิธีการจัดแบ่งกลุ่มพันธุ์หรือสภาพแวดล้อมใน 3 วิธีการ คือ

1. การจัดแบ่งกลุ่มพันธุ์ ซึ่งจะใช้การแสดงออกของพืชในรูปค่าเฉลี่ยของพันธุ์พืชที่ปลูกอยู่ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ กัน เป็นตัวบ่งชี้ถึงรูปแบบการตอบสนองที่คล้ายคลึงกัน

2. การจัดแบ่งกลุ่มของสภาพแวดล้อมที่คล้ายคลึงกันโดยดูการตอบสนองที่คล้ายคลึงกันของพันธุ์พืชหรือกลุ่มของพันธุ์พืชซึ่งวัดได้จากค่าเฉลี่ยของพันธุ์พืชที่ปลูกอยู่ในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ

3. การจัดแบ่งกลุ่มของสภาพแวดล้อม ที่คล้ายคลึงกัน โดยใช้ค่าเฉลี่ยของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมซึ่งการจัดแบ่งกลุ่มโดยใช้ค่าเฉลี่ยของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมจะให้ผลน่าเชื่อถือมากกว่าการใช้ค่าเฉลี่ยของพันธุ์พืชที่ปลูกในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ (Horney และ Frey, 1957 ; Sief และ คณะ , 1969 อ้างโดย DeLacy, 1989)

Lin และ Butler (1990) ได้เสนอวิธีการจัดแบ่งกลุ่มพันธุ์หรือกลุ่มของสภาพแวดล้อม 4 วิธีการ ซึ่งเป็นวิธีการเดิม 2 วิธีการ และวิธีการที่ปรับปรุงใหม่ 2 วิธีการคือ

วิธีการที่ 1 จะเป็นการจัดแบ่งกลุ่มวิธีการเดิม ซึ่งจะพิจารณาจากพื้นฐานของแบบหุ้ของรีเกรสชัน (regression model) การวัดความคล้ายคลึงกันของพันธุ์หรือสภาพแวดล้อมจะพิจารณาจากจุดตัด (intercepts : a_i) และความชันของเส้นตรง (slopes: b_i)

วิธีการที่ 2 จะจัดแบ่งกลุ่มคล้ายกับวิธีการที่ 1 แต่การวัดความคล้ายคลึงกันของพันธุ์หรือสภาพแวดล้อมจะพิจารณาจากลักษณะความชันของเส้นตรง (Slope : b_i) เพียงตัวเดียว

วิธีการที่ 3 เป็นวิธีการที่ปรับปรุงใหม่ จะพิจารณาจากแบบหุ้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (anova model) การวัดความคล้ายคลึงกันของพันธุ์หรือสภาพแวดล้อมจะพิจารณาจากอิทธิพลทางพันธุกรรม (genotype) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม (genotype x environment interaction)

วิธีการที่ 4 จะคล้ายกับวิธีการที่ 3 แต่การวัดความคล้ายคลึงกันของพันธุ์หรือสภาพแวดล้อมจะพิจารณาจากอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมเพียงตัวเดียว

Lin และคณะ (1992) ได้เสนอวิธีการจัดแบ่งกลุ่มพันธุ์หรือสภาพแวดล้อมเพิ่มขึ้นอีก 1 วิธีการ จากวิธีการเดิม 4 วิธีการเป็น 5 วิธีการคือ

วิธีการที่ 5 จะคล้ายกับวิธีการที่ 1 แต่การวัดความคล้ายคลึงกันจะเพิ่มค่า orthogonal coefficient ของดัชนีสภาพแวดล้อม (environmental index) การที่จะเลือกใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งใน 5 วิธีการจะขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (anova) และการเลือกใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะขึ้นอยู่กับทางเลือกแบบหุ่น (model) โดยทั่วไปถ้าพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมโดยวิธีของ Finlay และ Wilkinson's regression model (1968) การจัดแบ่งกลุ่มโดยวิธีการที่ 1 และ 2 จะเหมาะสมที่สุด เพราะว่า

1. การเปรียบเทียบแต่ละตัวแปร (individual) โดยวัดจากการตอบสนองของเส้นรีเกรสชัน จะเป็นการกำจัดความคลาดเคลื่อนสุ่ม (random error) ทำให้การเปรียบเทียบสายพันธุ์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. ค่าเบี่ยงเบนของ Mean of Square จากเส้นรีเกรสชันจะเป็นส่วนที่เกี่ยวกับการประมาณความคลาดเคลื่อน (error estimate) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความคลาดเคลื่อนในการเปรียบเทียบสายพันธุ์และประมาณความผิดพลาดได้

แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการที่ 1 และ 2 ยังมีข้อจำกัดคือ จะพิจารณาได้อย่างไรว่าการตอบสนองของเส้นตรง (linear) ต่อดัชนีสภาพแวดล้อมจะดีหรือเลว ซึ่ง Lin และคณะ (1992) ได้แนะนำให้ทดสอบค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน(b)หรืออาจจะพิจารณาจากการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ (coefficient of determination : R^2) ซึ่งพบว่า ค่า R^2 จะต้องมีความมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ และแต่ละสายพันธุ์จะต้องเป็นเอกภาพ (homogenous) ซึ่งถ้าไม่เป็นไปตามข้อกำหนด การใช้วิธีการที่ 1 และ 2 จะไม่เหมาะสม และไม่น่าเชื่อถือ ดังนั้น ทางเลือกต่อไปคือ การใช้วิธีการที่ 3 และ 4 ซึ่งการที่จะเลือกใช้วิธีการที่ 3 และ 4 จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของนักปรับปรุงพันธุ์ ใน การที่จะให้ระดับความสำคัญของพันธุ์กรรม หรือ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมหรือทั้งพันธุ์กรรมและปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมเช่นถ้าทราบถึงปัจจัยที่เป็นตัวการที่ทำให้สายพันธุ์แตกต่างกัน การจัดแบ่งกลุ่ม โดยการวัดค่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมเพียงตัวเดียวก็เพียงพอ อย่างไรก็ตาม Lin และคณะ (1992) ได้แนะนำว่าการจัดแบ่งกลุ่มของพันธุ์โดยพิจารณาจากค่าอิทธิพลทางพันธุ์กรรม และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมจะมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมาก ในขณะที่การจัดแบ่งกลุ่มสถานที่ จากค่าของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมจะมีความเหมาะสมมากกว่า

McLachlan และ Basford (1988) อ้างโดย DeLacy (1989) ได้เสนอเทคนิคการจัดกลุ่มแบบผสม (mixture approach) โดยการวัดค่าสมาชิกชุดหนึ่งเพื่อการจำแนกหรือการแยกกลุ่ม ซึ่งสมาชิกในกลุ่มเดียวกันค่อนข้างจะเหมือนกัน ในขณะที่ระหว่างกลุ่มก็จะแตกต่างกัน

จุดประสงค์ของการใช้เทคนิคการจัดกลุ่มแบบผสมเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ (parameter) ที่ยังไม่ทราบ ซึ่งในแบบหุนแบบผสมจะทำได้โดยใช้ภาวะความน่าจะเป็น (likelihood) ความน่าจะเป็นที่สมาชิกจะตกอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง สามารถทำได้โดยการแทนที่พารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าเหล่านี้เป็นรูปภาพ ซึ่งแสดงความน่าจะเป็นที่เหมาะสมด้วยค่าประมาณที่ได้จากภาวะความน่าจะเป็น (likelihood) แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อเสียคือ การคำนวณจะมีความยุ่งยากมาก

Malhotra และ Singh (1991) ได้เสนอวิธีวัดค่าความคล้ายกัน (similarity) ของพันธุ์หรือสภาพแวดล้อมในการจัดแบ่งกลุ่มโดยประมาณจากค่าความสัมพันธ์ (r) ถ้าค่า ($r = 1.00$) แสดงว่าสายพันธุ์หรือสภาพแวดล้อมมีความคล้ายกัน 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ถ้าค่า ($r < 0.00$) จะแสดงว่าสายพันธุ์หรือสภาพแวดล้อมไม่มีความคล้ายกันเลย เช่นเดียวกันกับการรายงานของ McClean และคณะ (1993) นอกจากนี้ เขาได้ทดสอบการจัดแบ่งกลุ่มพันธุ์และสภาพแวดล้อมของถั่วพุ่ม 24 สายพันธุ์ ปลูกใน 24 สภาพแวดล้อม ในปี ค.ศ.1986-1987 พบว่า ถ้าเขาจัดแบ่งกลุ่มสภาพแวดล้อมในลักษณะของค่าเฉลี่ยผลผลิตที่มีความคล้ายกันหรือความสัมพันธ์ที่ระดับ 70 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถจัดแบ่งกลุ่มได้เพียง 2 กลุ่ม แต่ถ้าวัดความสัมพันธ์ที่ระดับ 55 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถแบ่งกลุ่มได้ถึง 7 กลุ่ม ดังนั้น จะเห็นว่าถ้าวัดความคล้ายกันที่ระดับสูง ๆ จะทำให้จัดแบ่งกลุ่มได้จำนวนน้อยกว่าเมื่อวัดที่ความสัมพันธ์ในระดับต่ำ ๆ

ดังนั้น จะเห็นได้ว่าการจัดแบ่งกลุ่มพันธุ์หรือสภาพแวดล้อมโดยวิธีการใด ๆ วิธีการหนึ่งข้างต้น จะมีส่วนช่วยทำให้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมลดลง โดยการกำจัดอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีต่อลักษณะต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา นอกจากนี้หน่วยของข้อมูลยังมีผลต่อการกำจัดอิทธิพลของสภาพแวดล้อมซึ่ง Fox และ Rosielle (1982) รายงานว่าหน่วยของข้อมูลในลักษณะของ standardised data จะกำจัดอิทธิพลของสภาพแวดล้อม ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าหน่วยของข้อมูลในลักษณะของ code data และ ratio data

ซึ่งในงานวิจัยจะใช้วิธีการของการจัดแบ่งกลุ่มด้วยลำดับขั้นของการเกาะกลุ่ม (methodology of agglomerative hierarchical clustering) ที่ประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อม ซึ่งจะจัดแบ่งกลุ่มโดยใช้ลักษณะที่ศึกษาที่แสดงลักษณะคล้าย ๆ กันในทุกสภาพแวดล้อมให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งหลักการจัดกลุ่มโดยการแบ่งชั้นที่เกาะกัน (agglomerative hierarchical) ต้องมีการวัดทั้งความคล้ายกันและไม่คล้ายกันระหว่างพันธุ์เพื่อการจัดกลุ่ม โดยการวัดความไม่คล้ายกันระหว่างพันธุ์จะใช้ค่า unstandardised square Euclidean distance (SED) และการจัดแบ่งกลุ่มของพันธุ์หรือการวัดความคล้ายกันระหว่างพันธุ์จะใช้ค่า Incremental sum of squares (ISS) ซึ่ง Burr (1970) อ้างโดย DeLacy (1989) แนะนำ การใช้ค่า unstandardised (SED) เพื่อรักษาความแตกต่างระหว่าง สภาพแวดล้อมที่แสดงลักษณะเกี่ยวข้องกับพันธุ์กรรม เช่น ถ้าสภาพแวดล้อมนั้นมีช่วงความแตกต่างกันมาก ควรจะใช้การจัดลำดับขั้นช่วย ส่วนวิธีการ ISS คือ วิธีการจำแนกกลุ่มที่ต้องการทำให้เกิดรวมกันในแต่ละระดับ ซึ่งเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นที่น้อยที่สุดในระหว่าง SS ภายในกลุ่ม (within-group sum of

squares) ทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่าง SS ใน $G \times E$ matrix เป็นผลให้ได้การแบ่งชั้น (hierarchical) และการเกาะกลุ่ม (agglomerative) ที่เหมาะสม และมีความแปรปรวนน้อยที่สุด นอกจากนี้ Kuiper และ Fisher (1975) ; Mojena (1977) และ DeLacy (1981) อ้างโดย DeLacy (1989) แนะนำว่าวิธีการ ISS เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการจัดกลุ่มและยังมีคุณสมบัติในการลดขนาดของกลุ่มใหญ่คือ พยายามแบ่งกลุ่มให้ขนาดของกลุ่มค่อนข้างสม่ำเสมอ ซึ่งใช้ได้ดีเมื่อต้องการแบ่งพันธุ์ให้เป็นกลุ่ม ๆ และข้อมูลมีความไม่ต่อเนื่องเล็กน้อย

อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่มีการเปรียบเทียบสายพันธุ์จำนวนมาก จะทำให้ขนาดของ matrix ของตาราง 2 ทางของพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม (genotype by environment matrix) มีขนาดใหญ่ เป็นผลให้การเปรียบเทียบการแสดงออก (performance) ของพันธุ์ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ มีความยุ่งยาก และยังไม่สามารถเปรียบเทียบพันธุ์ได้ตามจุดมุ่งหมายและไม่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีผลทำให้การจัดแบ่งกลุ่ม (classification) ในการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม รวมทั้งรูปแบบการตอบสนอง การแปลผลและการสรุปผลของข้อมูล มีความยุ่งยากและอาจผิดพลาดได้ DeLacy (1989) เสนอว่า การลดขนาดของตาราง 2 ทางของ พันธุกรรมและสภาพแวดล้อม จะทำให้ข้อมูลที่ลดลงแปลผลได้ง่าย แต่ข้อมูลที่ลดลงย่อมจะสูญเสียรายละเอียดบางอย่างได้ ดังนั้นจะต้องทำให้เกิดความสมดุลระหว่างการแปลผลจากข้อมูลที่ลดลง เพื่อการสรุปผลของข้อมูล ที่ง่ายขึ้นกับการที่จะคงรายละเอียดไว้

ขนาดของ Matrix ที่ลดลงจะขึ้นกับขนาดเริ่มต้นของการจัดการปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรม กับสภาพแวดล้อม เพื่อให้สามารถอธิบายผลได้อย่างถูกต้อง เช่น ในกรณีที่จะคัดเลือกสายพันธุ์หลาย ๆ สายพันธุ์ ที่ทดสอบใน 2-3 สภาพแวดล้อม ผลที่ได้ก็คือลำดับของกลุ่มพันธุ์กับการจัดการสภาพแวดล้อม (genotype groups x environment arrays) ซึ่งจะเรียกว่า การจัดลำดับชั้นทิศทางเดียว (one-way classification) หรืออาจจะลดขนาดของสภาพแวดล้อมก็ได้ ถ้ามีการทดสอบสายพันธุ์จำนวนน้อย แต่ปลูกทดสอบในหลาย ๆ สภาพแวดล้อม แต่ถ้ามีทั้งจำนวนสายพันธุ์ และสภาพแวดล้อมมากต้องมีการลดขนาดของทั้งสายพันธุ์และสภาพแวดล้อม ผลที่ได้คือลำดับของกลุ่มพันธุ์กับลำดับของกลุ่มสภาพแวดล้อม (genotype groups x environment groups) ซึ่งเรียกว่า การจัดลำดับชั้น 2 ทิศทาง (two-way classification)

ระดับและชนิดของการลดขนาด Matrix เท่าที่จำเป็นและเหมาะสมขึ้นอยู่กับแต่ละกรณี และการตัดสินใจของผู้ทำการทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่า การจัดลำดับของสภาพแวดล้อมมักจะสูญเสียรายละเอียดน้อยกว่าการจัดลำดับพันธุ์

หลักในการช่วยตัดสินใจจำนวนกลุ่มพันธุ์และกลุ่มสภาพแวดล้อม จะพิจารณาจาก

1. ขนาดของการจัดการ (arrays) ในขั้นสุดท้าย พบว่าการประมาณการจัดการในขั้นสุดท้ายที่จะสามารถคำนวณได้ จะอยู่ในช่วง 100-150 cell ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบการตอบสนองของพันธุ์และสภาพแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ค่าผลรวมยกกำลังสอง (sum of squares : SS) ระหว่างกลุ่มที่คงอยู่ซึ่งการเพิ่มความแปรปรวนระหว่างกลุ่มที่คงอยู่และมีความเหมาะสมที่สุดจะต้องมีการเพิ่มความ

2.1 ค่าร้อยละของ Total (SS) ที่คงอยู่ระหว่างกลุ่มพันธุ์ (genotype) รวมกับระหว่างกลุ่มสภาพแวดล้อม (environment) รวมทั้งค่าระหว่างกลุ่มปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม (genotype by environment interaction)

2.2 ค่าร้อยละของ Genotype (SS) ที่คงอยู่ระหว่างกลุ่มพันธุ์

2.3 ค่าร้อยละของ Environments (SS) ที่คงอยู่ระหว่างกลุ่มสภาพแวดล้อม

2.4 ค่าร้อยละของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม genotype by environment (SS) ที่คงอยู่

การที่จะให้มีการเพิ่มทุกค่าย่อมจะเป็นไปไม่ได้ ดังนั้น ควรจะเลือกเพิ่มค่าที่มีความสำคัญมากที่สุด เช่น ในกรณีที่มีการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม ก็ควรจะมีการเพิ่มค่าร้อยละของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม

3. ความแปรปรวนภายในกลุ่ม (variation within groups)

ความแปรปรวนภายในแต่ละกลุ่ม ถ้ากลุ่มที่มีสมาชิกภายในกลุ่มมากหรือ ความแตกต่างกันภายในกลุ่มมากก็ควรจะแบ่งออกเป็นหลาย ๆ กลุ่ม

จะเห็นได้ว่าการจัดแบ่งกลุ่มพันธุ์หรือการตอบสนองของกลุ่มพันธุ์ต่อสภาพแวดล้อมที่กำหนดมีประโยชน์ในการปรับปรุงพันธุ์พืชคือ

1. ช่วยในการคัดเลือกสายพันธุ์ที่ปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมที่เฉพาะเจาะจงหรือสภาพแวดล้อมทั่ว ๆ ไป

2. ช่วยในการตัดสินใจ เลือกสภาพแวดล้อม หรือ กลุ่มของสภาพแวดล้อม เพื่อทำการทดสอบในขั้นต้น

3. มีประโยชน์ในการสรุปรูปแบบการตอบสนองของพันธุ์หรือสภาพแวดล้อม

4. ทำให้ทราบถึงปัจจัยของสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดความแตกต่างของพันธุ์

5. ทำให้การแสดงออกของพันธุ์ และ การเปรียบเทียบพันธุ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. ทำให้ทราบถึงประวัติของพืชได้อย่างชัดเจน ตามลักษณะของพฤติกรรม การแสดงออกของพืชซึ่งปลูกในหลาย ๆ สภาพแวดล้อม

7. ช่วยในการค้นหาสายพันธุ์ที่จะนำมาเป็นสายพันธุ์พ่อ-แม่ เพื่อที่จะผลิตสายพันธุ์ลูกผสม

จากวิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่มที่ทำให้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมลดลง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ได้มีนักปรับปรุงพันธุ์พืชหลายท่านนำวิธีการดังกล่าวไปใช้ในการศึกษาในพืชชนิดต่าง ๆ เช่น

Mungomery และคณะ (1974) จัดแบ่งกลุ่มของสภาพแวดล้อมที่คล้ายกันในลักษณะของค่าเฉลี่ยผลผลิตและเปอร์เซ็นต์โปรตีนในเมล็ด โดยใช้ถั่วเขียว 58 สายพันธุ์ ปลูกใน 12 สภาพแวดล้อม เขาสามารถจัดแบ่งกลุ่มสภาพแวดล้อมได้ 10 กลุ่ม นอกจากนี้ยังพบว่าการจัดแบ่งกลุ่มของสภาพแวดล้อมสามารถลดความผันแปรอันเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรม กับสภาพแวดล้อมได้โดยที่ความผันแปรระหว่างกลุ่มจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 2042×10^3 และ 41.71 ในลักษณะผลผลิต และเปอร์เซ็นต์โปรตีนตามลำดับ ในขณะที่ความผันแปรภายในกลุ่มจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 213 และ 2.36 ในลักษณะผลผลิตและเปอร์เซ็นต์โปรตีนตามลำดับ

Byth และคณะ (1977) อ้างโดย DeLacy (1989) วิเคราะห์ข้อมูลของ The Tenth International Spring Wheat Yield Nursery (ISWYN-10) ซึ่งการทดลองนี้ประกอบด้วย ข้าวสาลี 49 สายพันธุ์ ปลูกใน 64 สภาพแวดล้อม ซึ่งการจัดแบ่งกลุ่มพันธุ์จะใช้ลักษณะค่าเฉลี่ยของผลผลิต ส่วนการจัดแบ่งกลุ่มของสถานที่ปลูก จะวัดจากอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่าง พันธุ์กรรม กับสภาพแวดล้อม พบว่าสามารถจัดแบ่งกลุ่มพันธุ์ได้ 8 กลุ่ม และกลุ่มของสถานที่ปลูกได้ 13 กลุ่ม

Ghaderi และคณะ (1980) ศึกษาการวิเคราะห์การจัดแบ่งกลุ่มพันธุ์และสภาพแวดล้อม โดยทำการศึกษาในข้าวสาลี 41 สายพันธุ์ ปลูกใน 16 สภาพแวดล้อม ซึ่งการจัดแบ่งกลุ่มพันธุ์จะวัดจากการตอบสนองที่คล้ายคลึงกันของการแสดงออกของพืช (phenotypic response) เมื่อปลูกในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ส่วนการจัดแบ่งกลุ่มของสภาพแวดล้อมจะวัดจากความคล้ายคลึงกันของอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อม พบว่า สามารถจัดแบ่งกลุ่มพันธุ์ได้ 10 กลุ่ม ในขณะที่จัดแบ่งกลุ่มสภาพแวดล้อมได้ 4 กลุ่ม

Broich และ Palmer (1980) ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์การจัดกลุ่มเพื่อทดสอบความแปรปรวนของสายพันธุ์ถั่วเหลือง โดยใช้สายพันธุ์ถั่วเหลืองจาก USDA ซึ่งประกอบด้วยสายพันธุ์ที่นำเข้ามาจากแต่ละแห่งเพื่อนำมาทดสอบเป็นพันธุ์แนะนำ ซึ่งประกอบด้วยสายพันธุ์ในกลุ่มของ *Glycine max* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ป่า 10 สายพันธุ์ กลุ่มของ *Glycine gracilis* 10 สายพันธุ์ และในกลุ่มของ *Glycine soja* 10 สายพันธุ์ พบว่าลักษณะสัณฐานของสายพันธุ์ (morphological) ในกลุ่มของ *Glycine gracilis* จะพบลักษณะเฉพาะร่วมกับกลุ่มของ *Glycine max* ที่เป็นเช่นนี้อาจจะเป็นไปได้ว่าในกลุ่มของ *Glycine gracilis* อาจจะเป็นตัวแทนของสายพันธุ์พืชที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสายพันธุ์ปลูก เพราะว่าลักษณะการแสดงออกของ *Glycine gracilis* สามารถแบ่งแยกออกจาก *Glycine max* เพราะฉะนั้นจะพบว่าสายพันธุ์ที่แนะนำใหม่ในกลุ่มของ *Glycine max*

จะมีที่มาจาก *Glycine gracilis* นอกจากจะได้สายพันธุ์ใหม่ที่ดีแล้ว ยังมีประโยชน์ในการผลิตสายพันธุ์ลูกผสมใหม่ที่ได้จากสายพันธุ์ในกลุ่ม *Glycine max* และ *Glycine soja*

Imrie และคณะ (1980) ได้ทำการศึกษาความแปรปรวนอันเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรม กับสภาพแวดล้อมของถั่วเขียว โดยใช้ถั่วเขียว 21 สายพันธุ์ ปลูกใน 24 สภาพแวดล้อม บันทึกลักษณะของผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต พบว่าสามารถจัดแบ่งกลุ่มพันธุ์ที่มีการตอบสนองต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตที่ใกล้เคียงกันได้ 8 กลุ่ม และสามารถจัดแบ่งกลุ่มสภาพแวดล้อมที่ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตใกล้เคียงกันได้ 15 กลุ่ม

Brennan และคณะ (1981) ได้จัดแบ่งกลุ่มของสภาพแวดล้อมของพื้นที่ที่ปลูกข้าวในรัฐควีนส์แลนด์เข้าด้วยกันโดยวัดจากการตอบสนองที่คล้ายคลึงกันของข้าวสาลีที่ปลูกในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ

Hayward และคณะ (1982) วิเคราะห์การจัดแบ่งกลุ่มของประชากร *Lolium multiflorum* 43 ประชากรใน 15 สภาพแวดล้อม ซึ่งการจัดแบ่งกลุ่มจะวัดจากค่า unstandardise square Euclidean distance เพื่อวัดความไม่คล้ายกัน เขาพบว่าเนื่องจากขนาดของตาราง 2 ทางของ พันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมมีขนาดใหญ่ จึงจำเป็นต้องลดขนาดของตาราง 2 ทางลงเพื่อการ จัดแบ่งกลุ่มซึ่งเขาได้ใช้หลักในการพิจารณา 3 ข้อคือ 1) การจัดการขั้นสุดท้าย 2) ร้อยละของ Sum of square ที่ยังคงอยู่ระหว่างกลุ่มและ 3) ความแปรปรวนภายในกลุ่ม โดยเขาสามารถจัดแบ่งกลุ่มพันธุ์ได้ 12 กลุ่ม ทำให้ขนาดของการจัดการลดลงร้อยละ 72 และค่า sum of squares : (SS) ที่คงอยู่ในส่วนของ Total (SS) , Pop (SS) และ Pop x Environment (SS) จะมีค่าร้อยละ 99 85 81 ตามลำดับ

Malhotra และ Singh (1991) ใช้ถั่วพุ่ม 24 สายพันธุ์ ในการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรม กับสภาพแวดล้อม โดยการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม ซึ่งจะทดสอบปลูก 2 ปี คือในปี ค.ศ. 1985-1986 ปลูกใน 37 สถานที่ และในปี ค.ศ. 1986-1987 ปลูกใน 39 สถานที่ ทำการจัดแบ่งกลุ่มพันธุ์และสภาพแวดล้อมในลักษณะค่าเฉลี่ยผลผลิต และมีการควบคุมปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรม กับสภาพแวดล้อมพบว่าในปี ค.ศ. 1985-1986 จะแบ่งกลุ่มพันธุ์ได้ 5 กลุ่ม นอกจากนี้ยังพบว่าการจัดแบ่งกลุ่มสภาพแวดล้อมสามารถลดขนาดของความแปรปรวนและยังเป็นประโยชน์ในการคัดเลือกสภาพแวดล้อมเพื่อการคัดเลือกพันธุ์ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมเฉพาะหรือสภาพแวดล้อมทั่วไป

Yau และคณะ (1991) ได้จัดแบ่งกลุ่มของสภาพแวดล้อมที่คล้ายคลึงกัน โดยการวัดจากการตอบสนองค่าเฉลี่ยของผลผลิตใน bread wheat (*Triticum aestivum*) (L.) โดยใช้ข้อมูลของข้าวสาลี 21-23 สายพันธุ์ ปลูกเป็นเวลา 2 ปี ซึ่งจะใช้อัตราที่ปลูกใน 2 ช่วง คือ ในปี ค.ศ. 1983-1984 และในช่วงปี ค.ศ. 1985-1986 พบว่าในปี ค.ศ. 1985-1986 จะแบ่งกลุ่มสภาพแวดล้อมได้ 4 กลุ่ม นอกจากนี้ยังพบว่าการจัดแบ่งกลุ่มสภาพแวดล้อมสามารถลดความแปรปรวนอันเนื่องมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรม กับสภาพแวดล้อมได้คือ เมื่อไม่มีการจัด

แบ่งกลุ่มจะมีความแปรปรวนเท่ากับร้อยละ 30 ในขณะที่เมื่อมีการจัดแบ่งกลุ่มจะมีความแปรปรวนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมเท่ากับร้อยละ 17 ,14 และ 9 ในกลุ่มที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ในปี ค.ศ.1983-1984

อย่างไรก็ตามถึงแม้การจัดแบ่งกลุ่มจะมีประโยชน์มากในการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรม กับสภาพแวดล้อมแต่พบว่ามีข้อจำกัดคือ ในการจัดแบ่งกลุ่มปัจจัยของสภาพแวดล้อม ที่ทำให้เกิดความแตกต่างของพันธุ์นั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร ดังนั้น การจัดแบ่งกลุ่มจะทำให้ไม่ทราบรายละเอียดของปัจจัยที่เฉพาะเจาะจงในแต่ละสภาพแวดล้อมที่ทำให้ลักษณะของพืช แตกต่างกัน ดังนั้น Shorter และคณะ (1977) ; Shorter และคณะ (1981) อ้างโดย DeLacy (1989) ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์รายละเอียดสนับสนุนการจัดกลุ่ม (contribution analysis) เพื่อประเมินผลการจำแนกความแปรปรวนของสภาพแวดล้อม และกลุ่มของสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเพิ่มของลักษณะประจำพันธุ์อาจจะไม่สามารถบันทึกได้ครบทุก สภาพแวดล้อม เพราะฉะนั้นการใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะประจำพันธุ์ ซึ่งจะช่วยในการแปลความหมายต้องทำด้วยความรอบคอบโดยพิจารณาความแปรปรวนของลักษณะประจำพันธุ์แตกต่างกันออกไปตามพันธุ์และสภาพแวดล้อม

นอกจากนี้ ยังมีวิธีการอื่นที่ช่วยในการวิเคราะห์เพิ่มเติมเมื่อใช้กับข้อมูลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อม จะทำให้การจัดแบ่งกลุ่มมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น

Gower (1967) อ้างโดย DeLacy (1989) ได้เสนอวิธีการ Ordination เพื่อที่จะลดขนาดความแปรปรวนหลาย ๆ ตัวแปร (multivariate) ได้อย่างมีประสิทธิภาพและยังคงความสัมพันธ์ในแต่ละตัวแปรให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้สรุปความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการตอบสนองให้อยู่ในรูปที่สามารถมองเห็นความแตกต่างระหว่างกลุ่มได้ง่าย และยังแสดงให้เห็นถึงแนวทางของความแปรปรวนระหว่างพันธุ์ หรือสภาพแวดล้อมที่ทดสอบซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรได้อย่างง่าย ๆ ด้วยจำนวนขนาดที่น้อยกว่าตัวแปรเดิม โดยวิธี

1. Principal Component Analysis (PCA) เป็นวิธีการเพื่อให้ได้มาซึ่งกลุ่มใหม่ของแกนร่วม (coordinate axes) ซึ่งจะอธิบายผลของความแปรปรวนระหว่างตัวแปรได้ดีกว่าวิธีอื่น ๆ ซึ่งมีพื้นฐานมาจากตัวแปรเดิม (original variate) ซึ่งการวิเคราะห์จะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่จุดตัดของ 2 แกน สำหรับแกนหลักแรกจะแสดงถึง principal component 1 จะเป็นเส้นตรงซึ่งผ่านกลุ่มจุดที่มีความแปรปรวนมากที่สุด ซึ่งเส้นนี้จะเป็นเส้นที่อธิบายกลุ่มจุดนั้นได้ดีกว่าเส้นอื่น เนื่องจากจะมีความแปรปรวนน้อยที่สุด

วิธีการของ PCA ไม่จำเป็นถึงขั้นการลดขนาดของข้อมูล แต่เป็นการแปลง (transform) ข้อมูลจากชุดของแกนร่วมหนึ่งไปยังอีกชุดหนึ่ง โดยยังคงทรงรูปเดิมไว้ แต่จะสามารถอธิบายได้ง่ายขึ้นเมื่อมีองค์ประกอบสำคัญ 2-3 principle component ซึ่งจะสามารถอธิบายความแปรปรวนส่วนใหญ่ทั้งระบบได้ เช่น ทั้งระบบ (system) ถูกลดลงเหลือเพียง 1 ทิศทางเท่านั้น โดยจะ

พิจารณาแต่เพียง principle component 1 เท่านั้น ซึ่งจะเหมือนกับการย้ายชุดของจุดไปยังระนาบหนึ่ง และจะสามารถอธิบายผลได้ดีที่สุด ทิศทางความสัมพันธ์ของจุดจากการลด principal component นั้น จะเป็นค่าประมาณของตำแหน่งความสัมพันธ์ของจุดจากระบบเดิม ซึ่งก็คือ ระยะระหว่างจุดในขนาดที่ลดรูปซึ่งประมาณระยะทางระหว่างจุดในระบบเดิม ถ้าในกรณีที่มีมากกว่า 2 principal component การแสดงรายละเอียดและการอธิบายในทุกทิศทางพร้อม ๆ กัน จะยุ่งยากมากขึ้น นอกจากนี้การเลือกจำนวนของ principal component ที่คงไว้จะขึ้นอยู่กับ การตัดสินใจ โดยทั่วไปจะพิจารณาถึงความง่ายในการอธิบายและความเที่ยงตรงของตัวแทน หรือพิจารณาจากขนาดของความแปรปรวนที่ยังคงอยู่ในรูปที่ลดแล้ว การตรวจสอบสาเหตุของความแปรปรวนที่สัมพันธ์กับ principal component ใด ๆ จะสามารถตรวจสอบได้โดยการใช้ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันของ linear combination ของตัวแปรเดิม และการกระจายของแต่ละตัวแปรที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบนั้น ถ้าตัวแปรสัมประสิทธิ์รีเกรสชันมีค่าสูง คือ มีค่าใกล้กับ 1 แสดงว่าตัวแปรนั้นมีอิทธิพลสูงต่อสาเหตุของความแปรปรวน แต่ถ้าสัมประสิทธิ์รีเกรสชันมีค่าใกล้กับ 0 แสดงว่าตัวแปรนั้นมีอิทธิพลต่ำต่อสาเหตุของความแปรปรวน

2. Principle Coordinate Analysis (PCA) เป็นวิธีการเพื่อให้ได้มาซึ่งจุดของ rectangular coordinate axes ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ สำหรับความแปรปรวนระหว่างตัวแปร ซึ่งอาจจะลดขนาด (dimension) เพื่อให้ให้อธิบายและแปลผลได้ง่ายขึ้น ซึ่งจะคล้ายกับ วัตถุประสงค์ของ PCA แต่พบว่าพื้นฐานที่มามีลักษณะทั่วไปมากกว่า ซึ่งพบว่าตัวแปรเดิมไม่ได้สมมติ (assume) ว่าอธิบายถึง multidimensional Euclidean space และความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของตัวแปรจะถูก กำหนดโดย Euclidean distance โดยเริ่มด้วยวิธีวัดความสัมพันธ์ระหว่างทุกคู่ของตัวแปร ซึ่งมีวิธีการหลายวิธีการในการวัดค่าความคล้ายกัน (similarity) เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (correlation coefficient) ส่วนค่าความไม่คล้ายกัน (dissimilarity) จะใช้ค่า square Euclidean distance (SED)

Gower (1966) อ้างโดย DeLacy (1989) ได้รวมการวิเคราะห์ 2 ขั้นตอน เพื่อลดการคำนวณเพื่อให้ง่ายขึ้น แต่เขาได้แนะนำว่า matrix เริ่มแรกต้องสมดุลง และ latent root ที่ได้จากการวิเคราะห์จะต้องไม่เป็นค่าลบ

ดังนั้น จะเห็นได้ว่าวิธีการของ Ordination จะมีประโยชน์คือ

1. สามารถอธิบายข้อมูลที่มีหลาย ๆ ตัวแปร (multivariate) ได้ง่ายขึ้น โดยการสรุปความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือระหว่างลักษณะ โดยการใช้จุดซึ่งจะสามารถจำลองลักษณะความสัมพันธ์ที่เป็นที่ยอมรับและไม่ผิดความหมาย

2. เมื่อมีการใช้วิธี Ordination ร่วมกับ การจัดแบ่งกลุ่ม (classification) จะทำให้การจัดแบ่งกลุ่มมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น คือ วิธีการ Ordination จะให้ผลดีในกรณีการกระจายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในกรณีที่มีความต่อเนื่องของข้อมูล ส่วนวิธีการจัดแบ่งกลุ่มจะให้

ผลดีในกรณีที่ไม่มีความต้องการของข้อมูล ดังนั้น แต่ละเทคนิควิธีการจะเป็นส่วนเสริมซึ่งกันและกันให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3. พบว่าการอธิบายปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมโดยทั่วไปจะอธิบายการวิเคราะห์ linear regression โดยการใช้ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (b) ซึ่งพบว่าการใช้วิธีการ Ordination จะอธิบายได้ดีกว่าวิธีการ linear regression เพราะว่าวิธี Ordination จะพิจารณาจากแต่ละแกนหลัก ทำให้สามารถอธิบายได้อย่างละเอียด

แต่อย่างไรก็ตามวิธีการ Ordination ก็ยังมีข้อจำกัดคือ

1. เมื่อมีการใช้วิธีการ Ordination กับแต่ละตัวแปรที่ขาดความสัมพันธ์กัน ซึ่งจะอธิบายได้โดยการลดขนาดโดยใช้แกนหลัก 2-3 component ซึ่งอาจจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรผิดรูปไปเมื่อแทนที่ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยจุดซึ่งเกือบจะซ้อนกับการอธิบายจะยุ่งยากมากขึ้น

2. วิธีการ Ordination จะมีความซับซ้อนของโครงสร้างและความหมายค่อนข้างจะยุ่งยาก ยิ่งไปกว่านั้น การแปลผล PCA และ PC'A จะมีประสิทธิภาพหรือไม่จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของข้อมูลและต้องมีการตอบสนองเป็นเส้นตรง (linear correlation) ถ้าความสำคัญของข้อมูลไม่ตอบสนองเป็นเส้นตรง (non-linear correlation) แล้วการใช้เทคนิค PCA และ PC'A จะทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างจุดผิดรูปไป

Byth และคณะ (1976) อ้างโดย Fox และ Rosielle (1982) เสนอว่า การใช้เทคนิคของ Pattern analysis ซึ่งเป็นการใช้เทคนิคการจัดแบ่งกลุ่ม (classification) ร่วมกับวิธีการ Ordination จะทำให้ทราบรูปแบบการตอบสนองของพันธุ์และสภาพแวดล้อม และยังสามารถประยุกต์ใช้กับการเปรียบเทียบพันธุ์ในท้องถิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวิธีการจัดแบ่งกลุ่มเพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อม นอกจากจะทำให้อธิบายการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมแล้ว ยังทำให้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมลดลง นอกจากนี้ยังสามารถคัดเลือกกลุ่มพันธุ์ที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยได้ดีซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการปลูกเปรียบเทียบพันธุ์และสามารถคัดเลือกกลุ่มพันธุ์ได้ตรงตามวัตถุประสงค์การปรับปรุงพันธุ์เพื่อใช้ในโครงการปรับปรุงพันธุ์พืชหรือได้พันธุ์ใหม่ที่เหมาะสมเพื่อนำไปแก่เกษตรกรต่อไป

อุปกรณ์ และ วิธีการ

อุปกรณ์

การทดลองใช้ถั่วเหลืองเพื่อการทดสอบ 80 สายพันธุ์ ซึ่งประกอบด้วยสายพันธุ์ที่นำมาจากโครงการปรับปรุงพันธุ์ของประเทศบราซิล 60 สายพันธุ์ จากสถาบันวิจัยพืชเขตร้อน International Institute of Tropical Agriculture(IITA) 13 สายพันธุ์ และจากประเทศไทย 7 พันธุ์ใช้เป็นพันธุ์มาตรฐาน (standard variety) สายพันธุ์ที่ใช้ในการทำการทดลองดังกล่าวดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายชื่อสายพันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 80 สายพันธุ์

ลำดับที่	สายพันธุ์	ลำดับที่	สายพันธุ์
สายพันธุ์ ที่นำมาจากโครงการปรับปรุงพันธุ์ของประเทศบราซิล 60 พันธุ์			
1	UFV1	25	CPAC 55-76
2	UFV7	26	CPAC 56-76
3	UFV9	27	CPAC 76-76
4	UFV79-58	28	CPAC 218-76
5	UFV 80-84	29	CPAC 468-76
6	UFV 80-85	30	CPAC 362-76
7	UFV 80-96	31	CPAC 583-76
8	BR 79-32681	32	CPAC 73-76
9	BR 79-22754	33	CPAC 562-76
10	BR 81-8050	34	CPAC 906-76
11	BR 81-3089	35	CPAC 487-76
12	BR81-3173	36	CPAC 502-76
13	BR 81-9693	37	CPAC 160-76
14	BR 81-9658	38	CPAC 150-76
15	BR 81-3251	39	CPAC 385-76
16	BR 78-23403	40	CPAC 423-76
17	BR-1	41	CPAC 392-76
18	IAC -L-108	42	CPAC 446-76
19	IAC -L-109	43	CPAC 527-76
20	IAC -L-131	44	CPAC 452-76
21	IAC 73-5-115	45	CPAC 74-76
22	CPAC 28-76	46	CPAC 453-76
23	CPAC 43-76	47	CPAC 750-76
24	CPAC 46-76	48	CPAC X4-76

ตารางที่ 1 รายชื่อสายพันธุ์ถั่วเหลืองที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 80 สายพันธุ์ (ต่อ)

ลำดับที่	สายพันธุ์	ลำดับที่	สายพันธุ์
สายพันธุ์ ที่นำมาจากโครงการปรับปรุงพันธุ์ของประเทศบราซิล 60 พันธุ์ (ต่อ)			
49	CPAC 1225-76	55	LO 75-1558
50	PARANA	56	LO 75-2089
51	UNTA-2	57	LO 75-2829
52	CANAPOLIS	58	LO 75-1237
53	PAMPIERAS	59	LO 75-2868
54	LO 75-2081	60	JO 4
พันธุ์มาตรฐานซึ่งเป็นพันธุ์ของประเทศไทย			
61	S.J.1		
62	S.J.2		
63	C.M.60		
64	S.J.4		
65	N.W.1		
66	KKU 1007-1 (มข.35)		
67	KKU 1007-2		
สายพันธุ์จากสถาบันวิจัยพืชเขตร้อน (IITA)			
68	TGX 1437-1D		
69	TGX 1440-1E		
70	TGX 1445-2E		
71	TGX 1445-3E		
72	TGX 1447-3D		
73	TGX 1448-2E		
74	TGX 1456-2E		
75	TGX 1458-2E		
76	TGX 1463-1E		
77	TGX 1470-1D		
78	TGX 1478-2E		
79	TGX 1485-1D		
80	TGX 1519-1D		

วิธีการ

ปลูกเปรียบเทียบสายพันธุ์ถั่วเหลืองจำนวน 80 สายพันธุ์ใน 2 ถูปลูกคือ ถูฝน และ ถูดูแล โดยถูฝนปลูกทดสอบ 3 แห่งที่

1. แปลงทดลองที่หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัด

ขอนแก่น ในวันปลูกที่ 10 สิงหาคม 2534 และ 4 มิถุนายน 2535

2. แปลงทดลองที่สำนักงานเกษตรภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ในวันปลูกที่ 11 กรกฎาคม 2535

สำหรับฤดูแล้ง ปลูกทดสอบ 3 แห่งคือ

1. แปลงทดลองที่หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ในวันปลูกที่ 4 มกราคม 2535

2. แปลงทดลองในไร่นาของเกษตรกร ที่ตำบลโนนท่อน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ในวันปลูกที่ 10 มกราคม 2535

3. ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท อำเภอเมือง จังหวัดชัยนาท ในวันปลูกที่ 20 ธันวาคม 2535 การทดลองในแต่ละสถานที่ ใช้แผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) มี 3 ซ้ำ

การเตรียมพื้นที่ปลูก โดยการไถ 2 ครั้ง และพรวน 1 ครั้ง ใส่ปุ๋ยขาวในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยเคมีในอัตรา 3-9-6 กิโลกรัมต่อไร่ ของ $N-P_2O_5-K_2O$ ใส่โดยวิธีการหว่านแล้วพรวนกลบในแต่ละสายพันธุ์จะปลูกหลุมละ 4-5 เมล็ด ก่อนปลูกเมล็ดจะมีการคลุกเชื้อไรโซเบียมโดยขนาดของแปลงย่อย 1 x 6 เมตร มี 1 แถวต่อ 1 แปลงย่อย ระยะระหว่างต้นภายในแปลงย่อย 20 เซนติเมตร และระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ใน 1 แปลงย่อยจะมีจำนวน 31 หลุม ถอนแยกให้เหลือหลุมละ 3 ต้น และทำการปลูกซ่อมเมื่อหลุมใดไม่ออกภายใน 7 วัน

การป้องกัน กำจัดโรค-แมลง ใช้คาร์โบฟูรานในอัตรา 3 กิโลกรัมต่อไร่ โรยกันหลุมก่อนปลูก และทำการฉีดสารเคมี โมโนโครโตฟอส ในอัตรา 40 ซีซี ต่อน้ำ 20 ลิตร เพื่อป้องกันกำจัดโรค-แมลงเมื่อพบว่ามีโรค-แมลงเข้าทำลาย

การกำจัดวัชพืช ทำการฉีดสารเคมี อะลาคลอร์ ในอัตรา 800 - 1000 ซีซี ต่อน้ำ 60 ลิตร เพื่อป้องกันวัชพืชก่อนที่ถั่วเหลืองออกและกำจัดวัชพืชด้วยมือเมื่อถั่วเหลืองออกแล้ว จำนวนครั้ง ในการกำจัดวัชพืชตามความจำเป็น

การให้น้ำ จะมีการให้น้ำอย่างเต็มที่ เพื่อดูการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองเปรียบเทียบกัน โดยจะให้น้ำหลังจากปลูก เพื่อช่วยให้ถั่วเหลืองงอกได้ นอกจากนี้จะมีการให้น้ำอีกในช่วงที่ไม่มีน้ำฝน เพื่อหลีกเลี่ยงภาวะขาดน้ำในพืช

การเก็บเกี่ยว เก็บเกี่ยวเมื่อฝักถั่วเหลืองเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งใน 1 แปลงย่อยจะมีจำนวน 31 ต้น จะเก็บเกี่ยวเฉพาะ 25 หลุมที่อยู่ตรงกลางแถว 5.2 เมตร และทำการสุ่มตัวอย่างถั่วเหลืองจำนวน 5 ต้น ของแต่ละสายพันธุ์



ห้ามยื่นออก

การเก็บบันทึกข้อมูล

บันทึกและรวบรวมข้อมูลในลักษณะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. วันปลูก
2. วันงอก
3. อายุวันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์นับจำนวนวันตั้งแต่วันงอก จนถึงวันที่ 50 เปอร์เซ็นต์ของต้นถั่วเหลืองที่มีดอกบาน
4. อายุวันออกดอกสุดท้าย นับจำนวนวันตั้งแต่วันงอกจนถึง 95 เปอร์เซ็นต์ของต้นถั่วเหลืองที่ไม่มีดอกบาน
5. อายุวันเก็บเกี่ยวนับจำนวนวันตั้งแต่วันงอกจนถึงวันที่ต้นถั่วเหลืองเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทั้งต้น
6. ความสูง วัดเมื่ออายุถึงวันเก็บเกี่ยวครั้งสุดท้าย โดยการวัดจากระดับพื้นดินถึงยอดของถั่วเหลือง วัดจากจำนวนที่สุ่มตัวอย่าง 5 ต้น แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นเซนติเมตร
7. จำนวนข้อต่อต้น นับจำนวนข้อต่อต้นที่สุ่มตัวอย่าง 5 ต้น แล้วหาค่าเฉลี่ยต่อต้น
8. จำนวนกิ่งต่อต้น นับจำนวนกิ่งต่อต้นที่สุ่มตัวอย่าง 5 ต้น แล้วหาค่าเฉลี่ยต่อต้น
9. จำนวนฝักต่อต้น นับจำนวนฝักทั้งหมดจากจำนวนต้นที่สุ่มตัวอย่าง 5 ต้น แล้วหาค่าเฉลี่ยต่อต้น
10. น้ำหนัก 100 เมล็ดเป็นกรัม
11. ผลผลิต เป็นต้นต่อเฮกตาร์
12. บันทึกข้อมูลอื่น ๆ เช่น สีดอก สีขน การเป็นโรค ฯลฯ

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละสถานที่ (individual analysis) ในทุกลักษณะที่ทำการศึกษาของแผนงานทดลอง Randomized completed block design ซึ่งมี Model ดังนี้

$$y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \epsilon_{ij}$$

โดยที่

- i = ลำดับของพันธุ์ที่ i มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3, ..., v
 j = ลำดับของซ้ำที่ j มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3, ..., r
 y_{ij} = ค่าสังเกตของพันธุ์ที่ i ในซ้ำที่ j

μ = ค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งงานทดลอง

T_i = อิทธิพลของพันธุ์ที่ i

B_j = อิทธิพลของซ้ำที่ j

$\mathcal{E}_{ij}$ $N(0, \sigma^2)$ ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มของพันธุ์ที่ i ในซ้ำที่ j ซึ่งมีทั้งการกระจายแบบปกติ (normal distribution) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวน (variance) เท่ากับ σ^2 กำหนดให้พันธุ์ และซ้ำเป็นอิทธิพลสุ่ม (random effects)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนและค่าความคาดหวังของความแปรปรวนแบบผสม (mixed model) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนงานทดลองแบบ Randomized complete block design ของแต่ละสภาพแวดล้อม

Source of variation	DF	MS	EMS
Replications	(r-1)	M1	$\sigma_e^2 + r\sigma_v^2$
Varities	(v-1)	M2	
Error	(r-1)(v-1)	M3	
Total	(rv-1)		

หมายเหตุ

v = จำนวนของพันธุ์

r = จำนวนซ้ำ

M1 = Mean square of replications

M2 = Mean square of varities

M3 = Mean square of error

$\sigma_v^2 = \sum_i (T_i)^2 / (v-1)$ เมื่อ T_i เป็น population effects ของพันธุ์ที่ i

σ_R^2 = Variance component due to replications

σ_e^2 = Variance component due to error

2. การทดสอบความเป็นเอกภาพของความแปรปรวน (homogeneity of variance)

ตามวิธีของ Bartlett's test หลังจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแต่ละสภาพแวดล้อมแล้วจะทำการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสถานที่ต่าง ๆ จึงต้องมีการทดสอบความเป็นเอกภาพของความแปรปรวนเพราะว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combined analysis of variance) จะต้องมีเอกภาพในระดับเดียวกัน หลังจากการทดสอบความเป็นเอกภาพของความ

แปรปรวนแล้ว ถ้าพบว่ามีบางส่วนที่ยังไม่เป็นเอกภาพในระดับเดียวกัน จะต้องมีการแปลงข้อมูล เพื่อให้ error variance ของลักษณะนั้นมีเอกภาพในระดับเดียวกัน และ error variance ลดลง ซึ่งในงานวิจัยลักษณะที่ทำการศึกษามีความแปรปรวนไม่เป็นเอกภาพต่อกันต้องมีการแปลงข้อมูล ทุกลักษณะที่ทำการศึกษา

3. การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combined analysis of variance) นำข้อมูล แต่ละลักษณะจากทุกสถานที่ซึ่งมีเอกภาพของความแปรปรวนมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ ระหว่างพันธุ์กรรมกับสถานที่ตาม Model ดังนี้

$$y_{ijk} = \mu + E_k + T_i + R_{j/k} + (E \times T)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

โดยที่

i = ลำดับของพันธุ์ที่ i มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3, ..., v

j = ลำดับของซ้ำที่ j มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3, ..., r

k = ลำดับสถานที่ k มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3, ..., l

y_{ijk} = ค่าสังเกตของพันธุ์ที่ i ในซ้ำที่ j และสถานที่ที่ k

μ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดจากทุกสถานที่ที่ k

$R_{j/k}$ = อิทธิพลโดยสุ่มของซ้ำที่ j ในสถานที่ที่ k

E_k = อิทธิพลของสถานที่ที่ k

T_i = อิทธิพลของพันธุ์ที่ i

$(E \times T)_{ik}$ = อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ที่ i กับสถานที่ที่ k

ε_{ijk} = ค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่ทราบสาเหตุ (random error) ของพันธุ์ที่

i ในซ้ำที่ j และสถานที่ที่ k

กำหนดให้ พันธุ์ และ ซ้ำเป็นอิทธิพลสุ่ม (random effects) การวิเคราะห์ความแปรปรวนดัง ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมเมื่อทดสอบพันธุ์ในหลายสถานที่

Source of variation	DF	MS	EMS
Locations (L)	(l-1)	M1	$\sigma_e^2 + r \sigma_{LV}^2 + rl \sigma_v^2$ $\sigma_e^2 + r \sigma_{LV}^2$ σ_e^2
Replications/L	r(l-1)	M2	
Varieties (V)	(v-1)	M3	
L xV	(l-1)(v-1)	M4	
Pooled error	l(r-1)(v-1)	M5	
Total	(lrv-1)		

หมายเหตุ

l = จำนวนสถานที่

v = จำนวนพันธุ์

r = จำนวนซ้ำ

σ_e^2 = Variance component of error

σ_{LV}^2 = Variance component of locations x varieties interaction

σ_v^2 = $\sum_i (T_i - \bar{T})^2 / (v-1)$ เมื่อ T_i เป็น population effects ของพันธุ์

ที่ i และ $\bar{T}$ เป็น population mean

4. การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมใน 2 ฤดูปลูก (combined season analysis of variance) นำข้อมูลแต่ละลักษณะจาก 2 ฤดูปลูกซึ่งมีเอกภาพความแปรปรวนมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กรรมกับสภาพแวดล้อมตามสูตร (model) ดังนี้

$$Y_{ijkl} = \mu + L_k + T_i + S_l + R_{j/kl} + (T \times S)_{il} + (T \times L)_{ik} + (T \times L \times S)_{ikl} + \varepsilon_{ijkl}$$

โดยที่

i = ลำดับของพันธุ์ที่ i มีค่าตั้งแต่ 1,2,3,...v

j = ลำดับของซ้ำที่ j มีค่าตั้งแต่ 1,2,3,...r

k = ลำดับของสถานที่ที่ k มีค่าตั้งแต่ 1,2,3,...l

l = ลำดับของฤดูปลูกที่ l มีค่าตั้งแต่ 1,2,3,...s

Y_{ijkl} = ค่าสังเกตของพันธุ์ที่ i ในซ้ำที่ j สถานที่ที่ k และฤดูปลูกที่ l

L_k = อิทธิพลของสถานที่ที่ k

T_i = อิทธิพลของพันธุ์ที่ i

S_l = อิทธิพลของฤดูปลูกที่ l

- μ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดจากทุกสถานที่ที่ k และ ฤดูปลูกที่ i
 $R_{j/k}$ = อิทธิพลโดยลุ่มของซ้ำที่ j ในสถานที่ที่ k และ ฤดูปลูกที่ i
 $(T \times S)_{il}$ = อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ที่ i และ ฤดูปลูกที่ i
 $(T \times L)_{ik}$ = อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ที่ i สถานที่ที่ k
 $(T \times L \times S_{ijk})$ = อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ที่ i สถานที่ที่ k และ

ฤดูปลูกที่ i

ε_{ijk} = ค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่ทราบสาเหตุ (random error) ของพันธุ์
 ที่ i สถานที่ที่ k และ ฤดูปลูกที่ i

กำหนดให้พันธุ์ และ ซ้ำ เป็นอิทธิพลสุ่ม (random error) การวิเคราะห์ความแปรปรวน
 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมใน 2 ฤดูปลูก

Source of variation	DF	MS	EMS
Seasons (S)	(s-1)	M1	
Locations(L)	(l-1)	M2	
S x L	(s-1)(l-1)	M3	
Replications within Locations x Seasons	sl(r-1)	M4	
Varieties (V)	(v-1)	M5	$\sigma_e^2 + r\sigma_{VSL}^2 + rl\sigma_{VS}^2 + rs\sigma_{VL}^2 + rls\sigma_V^2$
V x S	(v-1)(s-1)	M6	$\sigma_e^2 + r\sigma_{VSL}^2 + rl\sigma_{VS}^2$
V x L	(v-1)(l-1)	M7	$\sigma_e^2 + r\sigma_{VSL}^2 + rs\sigma_{VL}^2$
V x S x L	(v-1)(s-1)(l-1)	M8	$\sigma_e^2 + r\sigma_{VSL}^2$
Pooled error	sl(r-1)(v-1)	M9	σ_e^2
Total	(slrv-1)		

หมายเหตุ

- s = จำนวนฤดูปลูก
 l = จำนวนสถานที่ปลูก
 v = จำนวนของพันธุ์
 r = จำนวนซ้ำ

σ_e^2	= Variance component of error
$r\sigma^2_{vsl}$	= Variance component of varieties x seasons x locations interaction
$rs\sigma^2_{vl}$	= Variance component of varieties x locations interaction
$rl\sigma^2_{vs}$	= Variance component of varieties x seasons interaction
$rls\sigma^2_v$	= Variance component of varieties

5. การทดสอบความแตกต่างทางสถิติ

5.1 การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของพันธุ์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_n$$

$$F\text{-test, } \sim MS1/MS3$$

ถ้าหากทำการทดสอบโดยใช้ F-test และพบความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองใดจึงหาค่า Duncan's multiple range test (DMRT) เพื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดกับพันธุ์อื่น ๆ

6. การวิเคราะห์โดยการจัดกลุ่ม (cluster analysis)

6.1 การจัดแบ่งกลุ่มพันธุ์โดยการวัดค่าความแตกต่างกัน (dissimilarity)

ระหว่างแต่ละคู่ของพันธุ์ โดยการหาค่า square Euclidean distance (SED) ตามสูตร

$$d_{ii'}^2 = \sum_{j=1}^{ne} (y_{ij} - y_{i'j})^2$$

(Wishart, 1969 อ้างโดย DeLacy, 1989)

โดยที่

i = ลำดับของพันธุ์ที่ i มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3,...v

i' = ลำดับของพันธุ์ที่ i' มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3,...v

j = ลำดับของสภาพแวดล้อมที่ j มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3,...n

$d_{ii'}^2$ = ค่าความแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ที่ i และ i' ในสภาพแวดล้อม

ที่ j

y_{ij} = ค่าสังเกตของ พันธุ์ที่ i ในสภาพแวดล้อมที่ j

$y_{i'j}$ = ค่าสังเกตของ พันธุ์ที่ i' ในสภาพแวดล้อมที่ j

6.2 การรวมกลุ่มของพันธุ์โดย วิธีการวัดความคล้ายกัน โดยวิธี Increment

sum of square fusion strategy (ISS) ซึ่งพันธุ์ที่มีความคล้ายคลึงกันมากที่สุดจะจับคู่กันก่อนและพันธุ์ที่มีความแตกต่างกันมากที่สุดจะจับคู่กันหลัง หาได้โดย

$$D_{II'} = \frac{2}{ne} \frac{n_i}{n_i + n_{i'}} d_{ii'}^2$$

(Burr, 1970 อ้างโดย DeLacy, 1989)

โดยที่

I = ลำดับของกลุ่มพันธุ์ที่ I มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3...V

I' = ลำดับของกลุ่มพันธุ์ที่ I' มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3...V

$D_{II'}$ = ค่าความคล้ายคลึงกันระหว่างกลุ่ม พันธุ์ที่ I และกลุ่มพันธุ์ที่ I'

ne = จำนวนของสภาพแวดล้อมที่ e มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3.... k

n_i = จำนวนของพันธุ์ในกลุ่มพันธุ์ที่ I มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3.....G

$n_{i'}$ = จำนวนของพันธุ์ในกลุ่มพันธุ์ที่ I' มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3.....G

$d_{ii'}^2$ = ค่าความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มพันธุ์ที่ I และกลุ่มพันธุ์ที่ I'

6.3 การแจกแนกกลุ่มพันธุ์ ซึ่งพันธุ์ต่าง ๆ จะถูกจัดเข้าอยู่ในกลุ่มของพันธุ์

ตามสูตร

$$\bar{y}_{ij} = \sum_{i \in I} y_{ij} / n_i$$

(Wishart, 1969 อ้างโดย DeLacy, 1989)

โดยที่

i = ลำดับของพันธุ์ที่ i มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3.....v

j = ลำดับของสภาพแวดล้อม j มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3...k

I = ลำดับของกลุ่มพันธุ์ที่ I มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3.....V

$\bar{y}_{Ij}$ = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มพันธุ์ที่ I ในสภาพแวดล้อมที่ j

$\bar{y}_{I'j}$ = ค่าเฉลี่ยของกลุ่ม พันธุ์ที่ I' ในสภาพแวดล้อมที่ j

โดยระดับของการจัดแบ่งกลุ่มจะพิจารณาจาก

1. ค่าร้อยละของ Total (SS) ที่คงอยู่ระหว่างกลุ่มพันธุ์ (G) รวมกับระหว่างการจัดการสภาพแวดล้อม (E)รวมทั้งระหว่างกลุ่มพันธุ์ (G) x ระหว่างการจัดการสภาพแวดล้อม (E)

2. ค่าร้อยละของ G (SS) ที่คงอยู่ระหว่างกลุ่มพันธุ์ (G)

3. ค่าร้อยละของ G x E Total (SS) ที่คงอยู่ระหว่างกลุ่มพันธุ์ (G) x ระหว่างการจัดการสภาพแวดล้อม (E)

6.4 การวิเคราะห์ข้อมูลสภาพแวดล้อมที่สนับสนุนต่อการจัดกลุ่มพันธุ์

(contribution analysis) โดยการสร้าง contribution ระหว่างการจัดการสภาพแวดล้อมและกลุ่มของพันธุ์ ซึ่งหาได้โดย

$$C_{(H')_j} = \int (H')_j d^2(H')_j$$

(Shorter และคณะ, 1977 อ้างโดย DeLacy, 1989)

โดยที่

I = ลำดับของกลุ่มพันธุ์ที่ I มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3....V

I' = ลำดับของกลุ่มพันธุ์ที่ I' มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3....V

j = ลำดับของสภาพแวดล้อมที่ j มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3....K

$c_{(H')_j}$ = ค่า Contribution ระหว่างกลุ่มพันธุ์ที่ I และ I' ในสภาพแวดล้อม

ที่ j

$d^2(H')_j$ = ค่าความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มพันธุ์ที่ I และ I' ใน

สภาพแวดล้อมที่ j

$\int (H')_j$ = จำนวนค่าสังเกตในกลุ่ม พันธุ์ที่ I และ I'

ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละสภาพแวดล้อมรวมทั้งการทดสอบทางสถิติจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป MSTAT ส่วนการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม รวมทั้ง การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมที่สนับสนุนต่อการจัดกลุ่ม จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป GEBEI ซึ่งได้จากมหาวิทยาลัยควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย