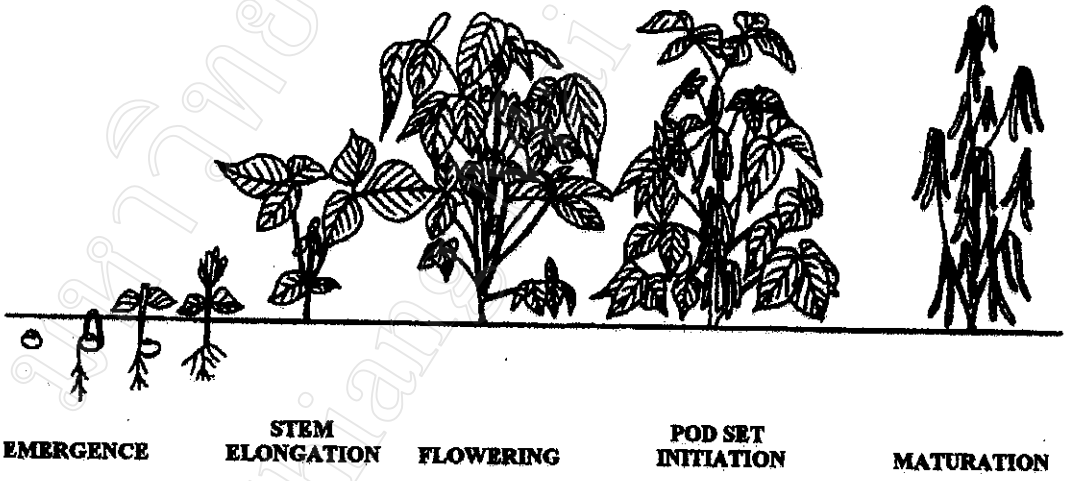
ตรวจเอกสาร

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วอะซูกิ

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Vigna angularis* [Willd.] Ohwi and Ohashi ชื่อสามัญ : Adzuki bean, Azuki bean, Small red bean, Small bean, Atsuki โดยลักษณะทั่วไปของถั่วอะซูกิมีรูปแบบการงอกแบบ hypogeal ใบเลี้ยง (cotyledon) และใบจริงคู่แรก (primary leaves) จะจัดเรียงตัวแบบตรงกันข้าม (opposite) ใบจริงประกอบด้วย 3 ใบย่อยเรียกว่า trifoliate leaves เรียงตัวแบบ alternate มีข้อบนต้นหลัก (main stem) ประมาณ 10 -15 ข้อ มีความสูงประมาณ 30 – 70 ซม. (ภาพที่ 1) ดอกมีสีเหลือง เป็นพืชพวกผสมตัวเอง (self– pollination) และ เป็นพืชที่ตอบสนองต่อวันสั้น (short day plant) (Yoshida, 1998)



ภาพที่ 1 ลักษณะการงอกและการเจริญเติบโตของถั่วอะซูกิ (Murata, 1983)

ความสำคัญของถั่วอะซูกิ

เมล็ดถั่วอะซูกิ (dry seeds) 100 กรัมให้พลังงาน 339 กิโลแคลอรี่ ประกอบด้วยสารอาหารที่สำคัญคือโปรตีน 20.3 กรัม คาร์โบไฮเดรต 54.4 กรัม ไขมัน 2.2 กรัม เส้นใยอาหาร 4.3 กรัม วิตามิน แร่ธาตุ และAmino acid (Harukawa, 1990) เป็นพืชที่สำคัญในแถบเอเชียตะวันออกได้แก่ ประเทศจีน ญี่ปุ่น เกาหลี ไต้หวัน โดยมีการแปรรูปถั่วอะซูกิเป็นแป้งเรียกว่าBean paste นำไปใช้ใน การทำ

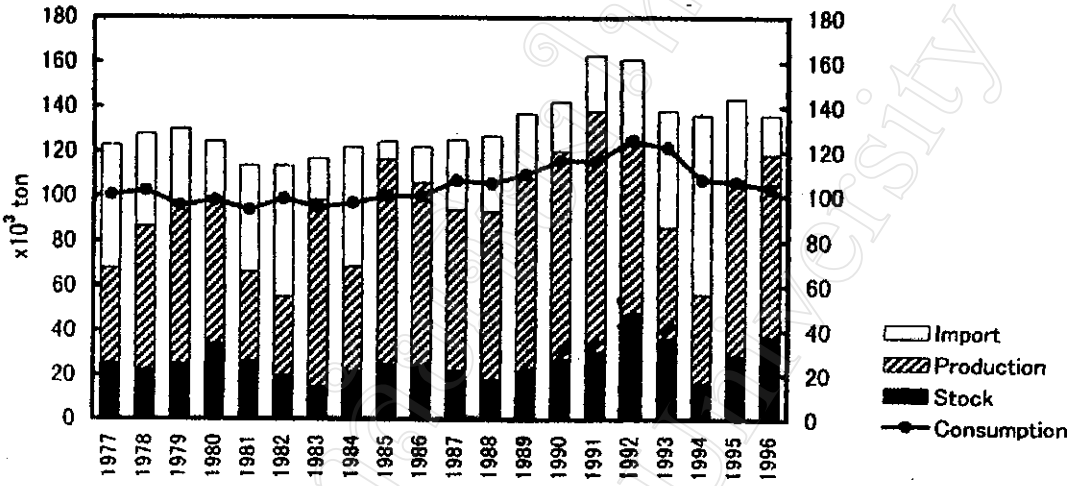
ไส้ขนม ซึ่งในประเทศจีนนิยมนำมาทำ ไส้ขนมไหว้พระจันทร์, ไอศกรีม *an-filled* buns (*manju* [Japannese], *baozi* [Chinese]), โดนัท, ทำครีมเทียมใส่กาแฟ และผสมกับแป้งข้าวสาลีทำเส้นก๋วยเตี๋ยว ถั่วอะซูกิยังใช้ทำลูกอม *(amanatto)* เป็นส่วนประกอบของน้ำซุป (sweet soupe: *zenzai, sarashi ame)* ใช้หุงต้มรวมกับข้าว *(azuki-mochi* and *sekihan)* ทำเป็นถั่วงอก *(moyashi)* สามารถดัดแปลงทำเป็นอาหารคาวหวานได้อีกมากมาย (Lumpkin and McClary, 1994; Lee, 1990) นอกจากนี้ยังมีการนำถั่วอะซูกิมาเป็นส่วนประกอบในการทำเครื่องสำอางได้แก่ facial cream, shampoos ชาวญี่ปุ่นใช้ facial scrup เรียกว่า *azuki no kona* (Anderson - Leigh, 1989) และทางตอนใต้ของอเมริกาและตะวันออกของรัสเซียมีการปลูกถั่วอะซูกิเป็นพืชอาหารสัตว์(forage crops) และปลูกเป็นปุ๋ยพืชสด (Lee, 1990)

แหล่งกำเนิดของถั่วอะซูกิยังไม่ทราบแน่นอน แต่มีการรายงานว่าประเทศจีนเป็นแหล่งกำเนิดมาก่อน (Narikawa, 1972; Hoshikawa, 1985) หลังจากนั้นแพร่กระจายสู่ ญี่ปุ่น เกาหลี ไต้หวัน แต่ Yamaguchi (1992) พบ wild azuki ในญี่ปุ่น จึงอาจเป็นไปได้ว่า ญี่ปุ่นอาจเป็น แหล่งกำเนิดถั่ว อะซูกิก็ได้ ปัจจุบัน แหล่งผลิตถั่วอะซูกิที่สำคัญได้แก่ จีน ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และ ไต้หวัน ส่วนแหล่งผลิตที่สำคัญรองลงมา ได้แก่ อาร์เจนตินา ออสเตรเลีย บราซิล แคนาดา อินเดีย และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น (Duan, 1989; Lumpkin and McClary, 1994; Yoshida, 1998)

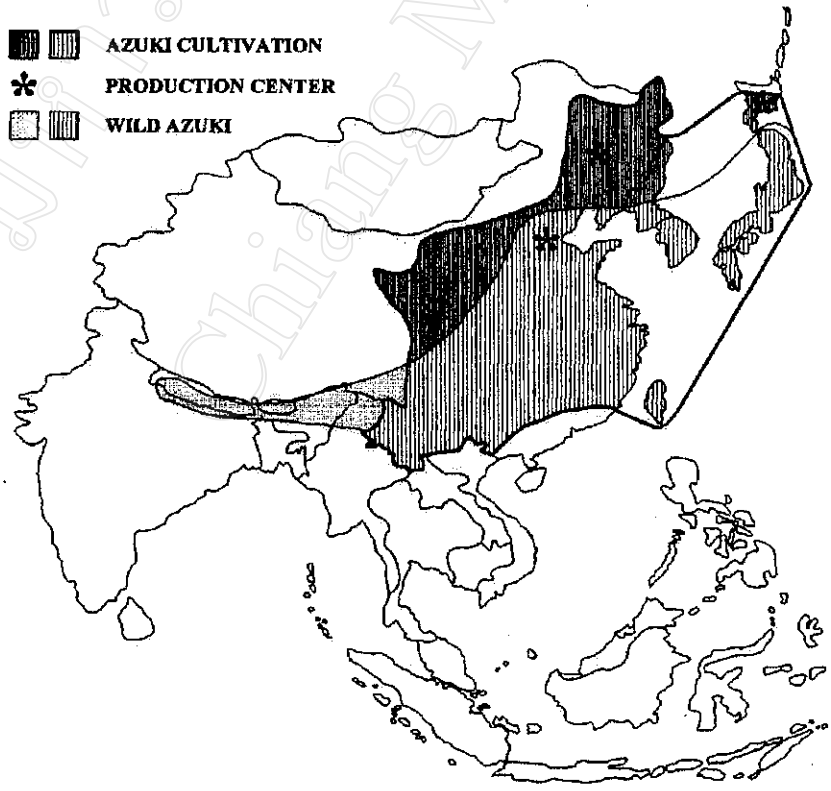
ประเทศญี่ปุ่นมีการใช้ถั่วอะซูกิในการบริโภคประมาณ 120,000 ตันต่อปี (Chikamori, 1997) ถือเป็นประเทศที่ มีการนำเข้าถั่วอะซูกิมากที่สุดในโลก (Japan Bean Fund Association, 1987) เนื่องจากการผลิตภายในประเทศไม่เพียงพอโดยมีการนำเข้าประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณความต้องการในแต่ละปี (ภาพที่ 2) (Yoshida, 1998) ประเทศที่ส่งออกถั่วอะซูกิให้กับญี่ปุ่นคือ จีน ไต้หวัน สหรัฐ ไทยและแคนาดา (Chao, 1982; Tanaka and Konno, 1982; Amarican Embassy Office of Agriculture Affairs, 1987)

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของถั่วอะซูกิ นั้น พบว่ามีถั่วอะซูกิ 6 ชนิด ปลูกในเขตหนาว (temperate regions) ของเอเชียตะวันออก (Ahn *et al.*, 1981) Allard and Zaumeyer(1944) รายงานว่าถั่วอะซูกิสามารถปรับตัวได้ดีเฉพาะ ช่วงละติจูด 40° เหนือ แต่จากภาพที่ 3 พบว่าแหล่งผลิตถั่วอะซูกิที่สำคัญ คือ ประเทศญี่ปุ่น และจีน อยู่ระหว่างละติจูดที่ 35° - 47° เหนือ และพบว่าถั่วอะซูกิสามารถปลูกได้ดี ในระหว่างละติจูด 46° - 48° เหนือ บริเวณ Columbia Basin รัฐ Washington และระหว่างละติจูด 43.5° - 46° เหนือของรัฐ Minnisota ในสหรัฐ และ

แคนาดาตอนใต้ นอกจากจะขึ้นอยู่กับละติจูดแล้ว ถั่วอะซูกิ สามารถปรับตัวได้ดี ถ้ามีปริมาณน้ำฝนอยู่ในช่วง 530-1,730 มิลลิเมตร และอุณหภูมิระหว่าง 7.8-27.8 องศาเซลเซียส (Agriculture Lexicon Editing Committee, 1979; Duke, 1981)



ภาพที่ 2 อุปสงค์ และ อุปทาน ถั่วอะซูกิของประเทศญี่ปุ่น (Yoshida, 1998)



ภาพที่ 3 แสดงแหล่งเพาะปลูก และศูนย์กลางการผลิตถั่วอะซูกิ (Lumpkin and McClary, 1994)

Duan (1989) รายงานว่า ถ้าปลูกถั่วอะซูกิในสภาพที่เป็นดินทราย จะทำให้ระยะเวลาการเจริญเติบโตสั้นลง และถ้าปลูกในสภาพที่เป็นดินร่วน หรือดินร่วนปนดินเหนียว จะทำให้ถั่วอะซูกิมีผลผลิตสูง เพราะมีระยะเวลาการเจริญเติบโตยาวนาน อย่างไรก็ตาม Thomas *et al.* (1974) และ Kay (1979) รายงานว่าสามารถเจริญเติบโตได้ ถ้าดินมีค่า pH ระหว่าง 5.0-7.6

การปลูกถั่วอะซูกิในประเทศไทย

มีรายงานการปลูกทดสอบการให้ผลผลิตของถั่วอะซูกิบนที่สูงโดย Tiyawalee (1978) ได้ปลูกทดสอบพืชตระกูลถั่วที่เป็นพืชเศรษฐกิจต่างๆ บนที่สูง ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ถั่วเขียว ฯลฯ ได้ปลูกถั่วอะซูกิรวมอยู่ด้วย 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Akatsuki Dainagoji (นำเข้าจากประเทศญี่ปุ่น) พันธุ์ KS120 และ พันธุ์ Chien Shien (นำเข้าจากไต้หวัน) ซึ่งพบว่าถั่วอะซูกิทั้ง 3 พันธุ์สามารถขึ้นปรับตัวได้ดี ให้ผลผลิต 178.0, 155.0 และ 157.0 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ

รายงานการปลูกขยายพันธุ์และทดสอบผลผลิตถั่วอะซูกิขั้นต้นในปี 2534 พบว่าถั่วอะซูกิที่ปลูกที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ ในช่วงเดือนสิงหาคมให้ผลผลิตสูงถึง 400 กิโลกรัมต่อไร่ ต่อมาปี พ.ศ. 2539 โครงการวิจัยและพัฒนาถั่วบนที่สูงได้ปลูกทดสอบถั่วอะซูกิพันธุ์ Erimo ที่สถานีเกษตรหลวงปางดะในช่วงเดือนตุลาคมซึ่งพบว่าถึงแม้จะปลูกช้าก็สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ เมื่อส่งผลผลิตไปทดสอบการทำ Bean Paste ที่ประเทศญี่ปุ่นผลปรากฏว่าได้ Paste คุณภาพต่ำกว่ามาตราฐาน ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นในเมล็ดต่ำกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ ในปี 2540 ได้ปลูกทดสอบเพิ่มอีกสองแห่งคือ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองเขียวและศูนย์พัฒนาโครงการหลวงขุนแปะโดยเริ่มปลูกต้นเดือนสิงหาคม พบว่าการเจริญเติบโตของถั่วอะซูกิดีมาก ต่อมาโครงการวิจัยและพัฒนาถั่วบนที่สูง ได้ทดลองปลูกถั่วอะซูกิพันธุ์ Erimo ที่สถานีเกษตรหลวงปางดะ และศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองเขียว ผลการทดสอบในลักษณะที่สำคัญ ได้แก่ผลผลิต พบว่าได้ผลผลิตประมาณ 250 – 300 กิโลกรัมต่อไร่ ขนาดของเมล็ด สีของเมล็ด เปอร์เซ็นต์ความชื้น อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการรับซื้อของบริษัท แต่ยังมีปัญหาเรื่องโรคและแมลงอยู่บ้าง เมล็ดมีขนาดเล็กกว่าเมล็ดถั่วอะซูกิขนาดกลางที่ปลูกในประเทศญี่ปุ่น รวมถึงสีของเมล็ดไม่แดงสดเท่าที่ควร และมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดแข็ง (hard seed)สูง ขณะเดียวกันได้สังเกตลักษณะลำต้น ทรงพุ่ม การแตกกิ่ง ความสูงของต้น สีดอก สีเมล็ด และขนาดของเมล็ด พบว่าถั่วอะซูกิพันธุ์ Erimo ที่ทดลองปลูกนี้มีลักษณะพันธุ์ปนอยู่มาก (สุมินทร์, 2540; สุมินทร์ และคณะ, 2541; Chikamori, 1997)

สุทัศน์ (2543) ได้เริ่มโครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วอะซูกิ โดยมีวัตถุประสงค์คือ 1. เพื่อคัดเลือกถั่วอะซูกิสายพันธุ์ Erimo ให้เป็นสายพันธุ์บริสุทธิ์ (pure line) สามารถขึ้นปรับตัวได้ดี ให้ผลผลิตสูงอย่างมีเสถียรภาพและให้คุณภาพเมล็ดที่ดียิ่งขึ้น 2. เพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์หลักถั่วอะซูกิสายพันธุ์ Erimo ที่ได้รับการปรับปรุงแล้วสำหรับใช้ปลูกเป็นเมล็ดพันธุ์ส่งเสริมที่มีคุณภาพดีให้เกษตรกรได้ใช้ปลูกในอันดับต่อไปซึ่ง พบว่ามีถั่วอะซูกิหลายสายพันธุ์ แสดงความสามารถให้ผลผลิตสูง เมล็ดมีขนาดใหญ่ และ สีของเมล็ดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อใช้สำหรับแปรรูปเป็นแป้งถั่วได้ดี

ปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม

ลักษณะการแสดงออกของพืช (phenotype) ตลอดจนความผันแปรของพืชเกิดขึ้นได้ด้วยปัจจัยทางพันธุกรรม (genotype, G) ร่วมกับปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ใช่พันธุกรรมหรือความผันแปรอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม (environment, E) ดังนั้นการแสดงออกของพืชอาจเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนหรือเรียกว่า ปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม (genotype by environment interaction, G×E) (Byth *et al.*, 1976) ซึ่งการวิเคราะห์หาปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมจะช่วยในการประเมินผลและตัดสินใจประกอบการพิจารณาคัดเลือกได้อย่างเหมาะสม แทนการใช้ค่าเฉลี่ยของผลผลิตเพียงอย่างเดียว (พีรศักดิ์, 2526; นภาวรรณ, 2537) ปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม ทำให้การปรับปรุงพันธุ์ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ทำให้ข้อมูลที่ได้จากสถานที่หนึ่ง ไม่สามารถที่จะนำไปใช้ยังอีกที่หนึ่งได้ ปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรม และสภาพแวดล้อมเป็นสิ่งสำคัญมากต่อนักปรับปรุงพันธุ์พืชในการที่จะสร้างพันธุ์ใหม่ (Allard and Bradshaw, 1964) ซึ่งเมื่อนำสายพันธุ์ที่ได้มาใหม่จากการผสมและคัดเลือก มาทำการเปรียบเทียบกันภายใต้สภาพแวดล้อมต่าง ๆ กัน อันดับของความสามารถในการให้ผลผลิตมักแตกต่างกันไป ทำให้เกิดความลำบากในการที่จะบ่งบอก ว่าพืชพันธุ์ไหนมีความสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อม (adaptability) ดีกว่ากัน นอกจากนี้ถ้ามี G×E จะทำให้ความก้าวหน้าจากการคัดเลือกเพื่อปรับปรุงพันธุ์ลดน้อยลง (พิมพร, 2534)

วิธีการหนึ่งที่ใช้ลด G×E ให้น้อยลงคือ การแบ่งเขตของสภาพแวดล้อมโดยพิจารณาปัจจัยที่แตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิที่แตกต่างกัน การกระจายของฝนและชนิดของดิน ฯลฯ โดยให้สภาพแวดล้อมในแต่ละเขตย่อยมีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด Abou-E-Fittouh *et al.* (1969) ได้เสนอวิธีการเพื่อใช้ในการแบ่งพื้นที่ปลูกฝ้ายของสหรัฐอเมริกาออกเป็นกลุ่มต่างๆ เพื่อให้ภายในแต่ละกลุ่มมี

ปฏิกิริยาร่วมระหว่าง genotype × location ต่ำสุด จะทำให้การประเมินพันธุ์ฝ้ายทำได้ดีขึ้น อย่างไรก็ดี แม้ว่าจะมีการแบ่งเขตของสภาพแวดล้อม เพื่อใช้ในการทดสอบพันธุ์แล้วก็ตาม แต่ปฏิกิริยาร่วมระหว่าง genotype × location ในแต่ละเขตย่อยและ ปฏิกิริยาร่วมระหว่าง genotype × year ในท้องที่เดียวกัน ก็ยังมีค่าสูงอยู่ อีกวิธีหนึ่งที่มีผู้แนะนำให้ใช้ในการลด G×E คือการใช้พืชหลาย genotype มาปนกันปลูกจะดีกว่าการใช้ genotype เดียวหรือพันธุ์บริสุทธิ์เพียงพันธุ์เดียว มีรายงานจำนวนมากที่แสดงให้เห็นว่า เมื่อความแปรปรวนทางพันธุกรรมของประชากรมากขึ้น จะทำให้ลักษณะต่างๆ มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้นภายใต้สภาพแวดล้อมที่ผันแปร (ดำเนิน, 2541)

การแสดงออกของพันธุ์พืชต่อสภาพแวดล้อมนั้น มักจะมีปัจจัยของสภาพแวดล้อมหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นการที่จะเข้าใจถึงการแสดงออกของพืชนั้นๆ จะต้องศึกษาให้ลึกซึ้งถึงข้อจำกัดของการเจริญเติบโต และพัฒนาการของพืช ในสิ่งแวดล้อมเหล่านั้น ซึ่งอาจสังเกตได้จากการแสดงออกของลักษณะที่วัดได้ เช่น ผลผลิตต่ำเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ไม่ดีก็จะทำให้ทราบว่าจะปรับปรุงผลผลิตให้ดีขึ้นได้โดยการเปลี่ยนพันธุ์ หรือเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม ซึ่งการปรับปรุงพันธุ์มักจะแก้ไข เพื่อให้พืชแสดงถึงการปรับตัวได้ชัดเจนกว่า เช่น การใช้พันธุ์อายุสั้น ทนความเย็น และมีลักษณะบางอย่างเฉพาะสำหรับใช้ปลูกเพื่อหลีกเลี่ยงการทำลายของน้ำค้างแข็ง หรือพันธุ์ต้านทานโรค (Byth *et al*., 1976) ซึ่งลักษณะพันธุกรรมเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการปรับตัว (สุทัศน์, 2536) ในทำนองเดียวกัน ก็อาจเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมเพื่อให้พืชเจริญเติบโตได้เช่นกัน แต่วิธีนี้ต้องศึกษาเฉพาะเจาะจงถึง ชนิด และสรีรวิทยาของพืช เพื่อหาข้อจำกัด และกลไกของการปรับตัวของพืช แล้วนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ และคัดเลือกพันธุ์ได้ แต่มีข้อจำกัดมาก และต้องลงทุนสูงมาก เพื่อที่จะสามารถอธิบายความแตกต่างในการปรับตัวของพืชได้ อย่างไรก็ตามก็มีรูปแบบการจำลองสถิติที่ใช้เฉพาะข้อมูลเบื้องต้นของลักษณะที่แสดงออกของพืชมาวิเคราะห์ G×E เพื่ออธิบายถึงการปรับตัว และความมีเสถียรภาพของพืช

เนื่องจากลักษณะพันธุกรรมเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่มีขอบเขตกว้างมาก ซึ่งการกระทำร่วมกันที่ดีระหว่างลักษณะพันธุกรรมของพืชและสิ่งแวดล้อมจะทำให้เกิดเสถียรภาพของผลผลิต (yield stability) และให้ผลผลิตสูง (สุทัศน์, 2536)

ความมีเสถียรภาพ (stability) ซึ่งหมายถึง ความสามารถของพันธุ์พืชที่จะรักษาระดับการแสดงออกในลักษณะใดลักษณะหนึ่งให้คงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะเป็นสถานที่หรือเวลาซึ่งแสดงว่าเกิด ปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมต่ำ

ในลักษณะนั้นๆ แต่อาจไม่มีเสถียรภาพในลักษณะอื่น Lerner (1954) เรียกความสามารถในการที่พันธุ์เหล่านี้ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้ว่า homeostasis ซึ่งเป็นความสามารถของสิ่งมีชีวิตที่จะมีชีวิตรอดและใช้ประโยชน์ของสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้อย่างดี พันธุ์พืชที่มี genetic homeostasis มาก ได้แก่ พันธุ์พืชผสมข้าม (cross pollinated crops) เช่น ข้าวโพด ทานตะวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พันธุ์ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้มีฐานทางพันธุกรรมกว้าง (genetic base) ได้แก่ พันธุ์สังเคราะห์ (synthetic variety) พันธุ์ผสมเปิด (opened variety) พันธุ์ลูกผสมแบบ double cross hybrid จะมี genetic homeostasis มากกว่า single cross hybrid เพราะว่าลูกผสมข้ามมี genetic homeostasis สูง เนื่องจากเหตุผล 3 ประการคือ ประการแรก พืชแต่ละต้นของประชากรมีลักษณะพันธุกรรมเป็น heterozygous genotype ซึ่งจะแสดงความสามารถออกมารวมกัน เหมือนกับว่าเป็น phenotype เดียวกัน ประการที่สอง เนื่องจากเป็น heterogeneous population ดังนั้น genotype บางชนิดอาจแสดงความสามารถได้ดีในสิ่งแวดล้อมหนึ่ง และสามารถชดเชย genotype ที่ไม่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมนั้นได้ และประการที่สาม genotype ชนิดต่างๆ ภายในประชากร จะมีความต้องการปัจจัยของสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน จึงทำให้ผลรวมของความสมารถที่แสดงออกต่อสภาพแวดล้อมของประชากรทั้งหมดมีความสม่ำเสมอ และคงที่ จากสภาพแวดล้อมหนึ่ง ไปยังอีกสภาพแวดล้อมหนึ่ง Simmonds (1962) ใช้คำว่า adaptation เพื่ออธิบายการตอบสนองของ homeostasis ต่อสภาพแวดล้อม ออกเป็น 4 ชนิดคือ specific - genotypic adaptation หมายถึงความสามารถของลักษณะพันธุกรรมใดๆ ที่สามารถปรับตัวได้ภายใต้สภาพแวดล้อมที่จำกัด general - genotyic adaptation หมายถึงความสามารถของลักษณะพันธุกรรมใดๆ ที่สามารถปรับตัวได้ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ผันแปรไปอย่างกว้างขวาง specific - population adaptation หมายถึงความสามารถในการปรับตัวของประชากรซึ่งประกอบด้วยลักษณะทางพันธุกรรหลายชนิดปนอยู่ในประชากรต่อสภาพแวดล้อมที่จำกัด และ general - population adaptation หมายถึงความสามารถในการปรับตัวของประชากรใดๆ ต่อสภาพแวดล้อมที่มีความผันแปรอย่างกว้างขวาง

สำหรับพืชผสมตัวเอง (self pollinated crop) ที่เป็น mixed variety หรือถูกสร้างโดยวิธี multiline จะเป็นพันธุ์ที่มีคุณสมบัติเป็น high yield stability และ wide adaptation เช่นเดียวกับพันธุ์ multiline ของข้าวสาลีที่สร้างโดย CIMMYT ซึ่ง Allard และ Bradshaw (1964) ให้คำแนะนำเพิ่มเติมว่า พันธุ์พืชที่เป็น heterogeneous population จะมี G×E ต่ำ และสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่กว้างมากจึงเสนอคำว่า individual buffering และ population buffering ซึ่ง individual buffering เป็นคุณสมบัติของแต่ละลักษณะพันธุกรรมในประชากรหนึ่ง ที่จะปรับตัวในช่วงใดช่วงหนึ่งของสภาพแวดล้อม โดยที่ลักษณะพันธุกรรมในประชากรจะเป็นแบบ homozygous และ

heterozygous และลักษณะพันธุกรรมแบบ heterozygous จะมีเสถียรภาพสูงกว่า homozygous ส่วนคำว่า population buffering เป็นคุณสมบัติของประชากรซึ่งประกอบด้วยพันธุกรรมหลายแบบ โดยแต่ละลักษณะพันธุกรรมจะมีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้แตกต่างกัน จึงทำให้ประชากรแสดงการปรับตัวได้ดีกับสภาพแวดล้อมในช่วงที่กว้าง และประชากรที่มีพันธุกรรมแบบ heterogeneous จะมีปฏิกิริยาของพันธุกรรมกับสิ่งแวดล้อม (G×E interaction) ในลักษณะที่แสดงออก และผลผลิตน้อยกว่าประชากรที่มีพันธุกรรมแบบ homogeneous นั่นคือ ประชากรที่มีฐานพันธุกรรมกว้าง จะมีเสถียรภาพของลักษณะต่างๆ ดีกว่าประชากรที่มีพื้นฐานทางพันธุกรรมแคบ

อีกวิธีหนึ่งที่ช่วยลดปฏิกิริยาระหว่างพันธุ์และสภาพแวดล้อมคือ การคัดเลือกพันธุ์ที่มี genotype คงที่หรือมีเสถียรภาพของลักษณะที่แสดงออก ซึ่งสามารถประเมินความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ ถึงแม้โดยทั่วไปแล้วอิทธิพลทางพันธุกรรม (genotype effect) ไม่ได้เป็นอิสระจากอิทธิพลจากสภาพแวดล้อม (environment effect) แต่มีนักพันธุศาสตร์หลายคนสังเกตว่า "ความสัมพันธ์" ระหว่างการแสดงออกของ genotype กลุ่มหนึ่งภายใต้หลายๆ สภาพแวดล้อมกับค่าที่แสดงสภาพแวดล้อมมักเป็น "เส้นตรง" หรือเกือบเป็นเส้นตรง และพบว่ามีพันธุ์พืชหลายพันธุ์ที่แสดงสหสัมพันธ์ในทางบวกกับสภาพแวดล้อม จึงสามารถใช้วิธีการ linear regression ในการอธิบายการตอบสนองของ genotype ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันได้ ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางหลักการคือ การกำหนดจุดจากข้อมูลของลักษณะการแสดงออกของพันธุ์หรือ G×E กับดัชนีสภาพแวดล้อม (Finlay and Wilkinson, 1963; Eberhart and Russell, 1966; Perkins and Jinks, 1968; Freeman and Perkins, 1971)

Finlay and Wilkinson (1963) วิเคราะห์การปรับตัวหรือหาเสถียรภาพของผลผลิตของข้าวบาร์เลย์พันธุ์ต่างๆ ต่อสภาพแวดล้อม โดยใช้สมการ simple regression: $Y = a + bx$ แสดงค่าเฉลี่ยของพันธุ์กับดัชนีสภาพแวดล้อม ซึ่งดัชนีสภาพแวดล้อมหาได้จากค่าเฉลี่ยของทุกพันธุ์ที่ปลูกในแต่ละสภาพแวดล้อม (site mean yield) พันธุ์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ regression (b) ใกล้เคียง 1 ถือว่ามีเสถียรภาพเท่ากับเสถียรภาพเฉลี่ยของทุกสภาพแวดล้อม (average stability) พันธุ์ที่มี $b = 1$ และผลผลิตมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมดแสดงว่าพันธุ์นั้นสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้กว้างหรือทั่วไป (general adaptation) ในขณะที่พันธุ์ที่มีค่า $b = 1$ แต่ผลผลิตเฉลี่ยต่ำกว่าค่าเฉลี่ยถูกพิจารณาว่าเป็นพันธุ์ที่ไม่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่ใดได้ดี พันธุ์ที่มีค่า $b > 1$ เป็นพันธุ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง สภาพแวดล้อมหรือมีเสถียรภาพต่ำ สามารถปรับตัวได้ในสภาพ

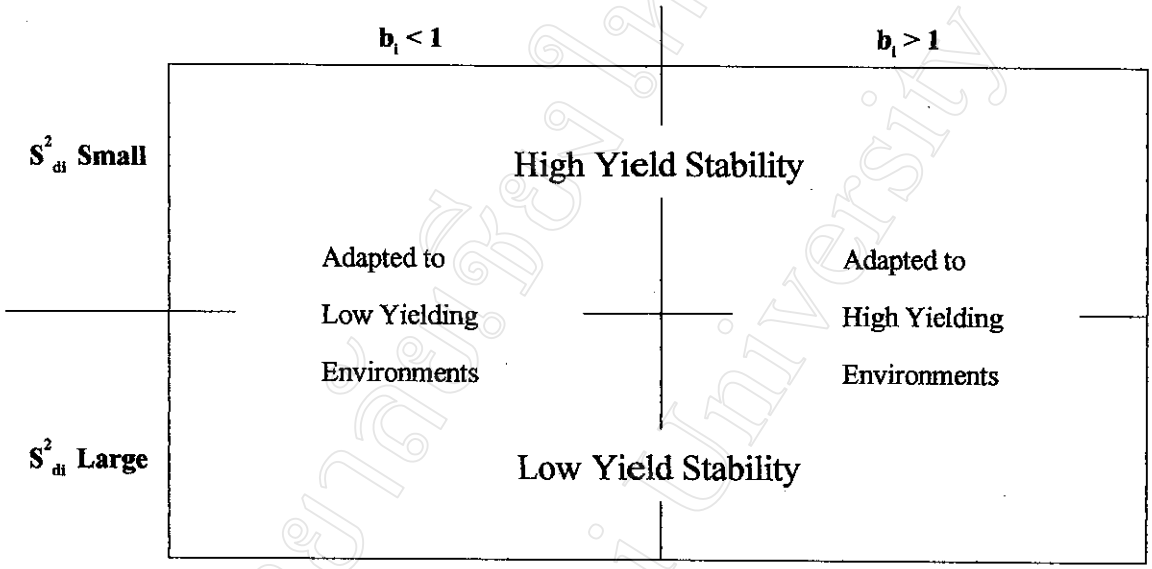
แวดล้อมที่ดีเฉพาะแห่ง (specific adaptation) เท่านั้น ขณะที่พันธุ์ที่มีค่า b < 1 เป็นพันธุ์ที่มีเสถียรภาพสูงกว่าเสถียรภาพเฉลี่ย แสดงความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดี คือเมื่อปลูกในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมจะสามารถให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงกว่าผลผลิตเฉลี่ยรวมทุกสถานี และเมื่อปลูกในสภาพแวดล้อมที่ดีก็จะให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นไม่มาก จัดว่าเป็นพันธุ์ที่สามารถปรับตัวได้เฉพาะกับสภาพแวดล้อมที่เลวหรือ ไม่เหมาะสม

Eberhart and Russell (1966) เสนอวิธีวิเคราะห์ stability parameter โดยพิจารณาจาก 2 parameters คือ ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชัน (regression coefficient: b) และค่าเบี่ยงเบนไปจากเส้น regression หรือ deviation mean square from regression: S^2_{di} ของแต่ละพันธุ์ ซึ่งเป็นค่าที่ผันแปรไปเนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่ควบคุมไม่ได้ ดังนั้นเพื่อใช้พิจารณาเปรียบเทียบและบอกถึงเสถียรภาพของผลผลิตของแต่ละพันธุ์ ซึ่งค่า parameter ทั้ง 2 ค่าหาได้จาก model $Y_{ij} = \mu_i + b_iI_j + d_{ij}$ โดยใช้ค่าดัชนีสภาพแวดล้อม (environment index, I_j) แทนผลผลิตเฉลี่ยของทุกพันธุ์ในแต่ละสภาพแวดล้อมเป็นค่ากำหนดสภาพแวดล้อม ดัชนีนี้คำนวณจากค่าเฉลี่ยของทุกพันธุ์ในแต่ละสภาพแวดล้อม ลบด้วยค่าเฉลี่ยของผลผลิตทั้งหมดจากทุกสภาพแวดล้อม ซึ่งพันธุ์ที่ดีและมีเสถียรภาพในความคิดของ Eberhart และ Russell คือ พันธุ์ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูง มีค่า b ไม่แตกต่างไปจาก 1 และค่า S^2_{di} ไม่แตกต่างไปจาก 0 (ศูนย์) เช่นเดียวกับ Langer *et al* (1979) ใช้ค่า b ในการวัดการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง และค่า S^2_{di} เป็นการวัดเสถียรภาพของผลผลิตที่แท้จริง

วิธีการ Regression จะสามารถนำไปเป็นประโยชน์ได้น้อย ถ้าพิจารณา ค่า b_i เพียงเพื่ออธิบายเสถียรภาพเท่านั้น ซึ่งความคิดเห็นของนักปรับปรุงพันธุ์ส่วนใหญ่ รายงานว่า ค่า b_i เป็นการแสดงการตอบสนองเฉลี่ยของพันธุกรรมใดพันธุกรรมหนึ่ง ต่อสภาพแวดล้อม (Becker and Leon, 1988) ซึ่ง Haufe and Geidel (1978) นำมาแสดงดังภาพที่ 4

Freeman and Perkins (1971) วิจารณ์วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพดังกล่าวข้างต้นว่า การใช้ sum of square และ degree of freedom และวิธีการวัดค่าสภาพแวดล้อม ที่ใช้ในการวิเคราะห์รีเกรสชันของนักวิจัยเหล่านี้ไม่ถูกต้องตามสมมติฐานเบื้องต้นทางสถิติ เนื่องจากดัชนีของสภาพแวดล้อมที่ประเมินโดยใช้ค่าเฉลี่ยของทุกลักษณะพันธุกรรมที่ปลูกในแต่ละสภาพแวดล้อม วิธีการนี้นำไปสู่การวิเคราะห์รีเกรสชันที่ไม่ถูกต้อง โดย sum of square ของการรวมรีเกรสชันจะเป็นค่าเดียวกับ total of sum square ระหว่างสภาพแวดล้อม ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของ total of sum square ระหว่างสภาพแวดล้อมและในการเลือกใช้ดัชนีของสภาพแวดล้อมเพื่อสร้างรีเกรสชันของแต่ละพันธุ์ เขาได้

แนะนำว่าควรจะแบ่งซ้ำของแต่ละพันธุ์ออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งใช้วัดปฏิกิริยาของพันธุ์ และอีกกลุ่มเป็นค่าเฉลี่ยของหลายๆ พันธุ์ซึ่งใช้เป็นดัชนีของสภาพแวดล้อม และอาจจะใช้พันธุ์เดียวหรือหลายพันธุ์เป็นมาตรฐานในการประเมิน สภาพแวดล้อมแต่ละแห่ง



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ b_i และ S^2_{di} เพื่ออธิบายการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม (Haufe and Geidel, 1978)

Lin *et al.* (1986) ได้รวบรวมวิธีวิเคราะห์เสถียรภาพที่คล้ายคลึงกัน 9 วิธีการและจัดแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 กลุ่ม โดยอาศัยพื้นฐานของการเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยของพันธุกรรมหรือ จากปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม และการวิเคราะห์ดัชนีของสภาพแวดล้อม การตัดสินใจว่าพันธุ์ที่ทดสอบมีเสถียรภาพนั้น พิจารณาจาก 3 แนวคิด คือ 1) ความแปรปรวนระหว่างสภาพแวดล้อมมีค่าน้อย 2) ถ้ามีการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมไปในทางเดียวกันกับค่าเฉลี่ยของการตอบสนองของทุกพันธุ์ที่ใช้ในการทดสอบ 3) ถ้าค่า residual mean square จากเส้นรีเกรสชันบนดัชนีสภาพแวดล้อมมีค่าน้อย แต่ทั้งสามแนวคิดไม่สามารถใช้ได้ทุกกรณี เขาได้เสนอความสัมพันธ์ของแต่ละวิธีวิเคราะห์เสถียรภาพของแต่ละกลุ่มที่ถูกจัดแบ่ง โดยแบ่งเป็น 3 แนวทางคือ 1) มีความเท่ากันในการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม 2) มีความเท่ากันของความแตกต่างภายในสภาพแวดล้อม และ 3) มีความเท่ากันของอัตราส่วนภายในทุกสภาพแวดล้อม

Freeman (1973) ได้รวบรวมและเรียบเรียงแนวความคิดเกี่ยวกับ เสถียรภาพของการแสดงออก ของพันธุ์และลักษณะต่างๆ ที่สามารถวัดได้ โดยการใช้วิธีทางสถิติ ส่วนมากแนวความคิดของเสถียรภาพจะแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์การเปรียบเทียบ อย่างไรก็ตามการอธิบายถึงความแตกต่างของการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมย่อมมีประโยชน์มากขึ้น ถ้าสามารถรวบรวมและอธิบายสัดส่วนทั้งหมดของสาเหตุความแตกต่างนั้นได้ Mungomery *et al.* (1974) ให้ความเห็นว่าวิธีการ linear regression ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า G×E interaction เป็นการตอบสนองต่อดัชนีสภาพแวดล้อมในรูปแบบเส้นตรง ซึ่ง Hill (1975) กล่าวว่าการใช้วิธี linear regression นี้จะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการตอบสนองได้ชัดเจนยิ่งขึ้น สำหรับ Perkins (1972) และ Freeman (1973) ตั้งข้อสังเกตว่าผลบวกกำลังสองของส่วนที่เป็นปฏิกิริยาสัมพันธ์จะมีผลต่อประสิทธิภาพของวิธีนี้ ถ้าค่าดังกล่าวมีขนาดใหญ่มาก ประสิทธิภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ก็จะน้อยลง ส่วน Byth *et al.* (1976) และ Shorter (1981) พบว่าตัวที่ทำให้วิธี linear regression ไม่มีความหมายก็คือผลรวมกำลังสองของส่วนเบี่ยงเบนไปจากเส้น regression ที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงควรมีวิธีการที่ใช้การวิเคราะห์และตีความรูปแบบที่มี ส่วนเบี่ยงเบนจากเส้น regression มาเกี่ยวข้อง ซึ่งจะเห็นว่าวิธีการวิเคราะห์ปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมตามวิธีการของ Eberhart and Russell (1966) น่าจะเป็นวิธีการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการตอบสนองของพันธุ์ต่อสภาพแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง

Pfeiffer *et al.* (1995) ทดสอบ G×E ภายในและระหว่างเขตการเพาะปลูกถั่วเหลืองพันธุ์อายุสั้น โดยทดสอบถั่วเหลือง 32 สายพันธุ์ ใน 4 สภาพแวดล้อมของรัฐ Kentucky และรัฐ Minnesota พบ G×E ของถั่วเหลืองในแต่ละสภาพแวดล้อม แต่ไม่พบ G×รัฐ ในทุกลักษณะ ซึ่ง G×E ที่พบนั้นมีความแตกต่างกันน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า การตอบสนองของผลผลิตถั่วเหลืองที่ Kentucky มีความสัมพันธ์กับ Minnesota

Stelling *et al.* (1990) คัดเลือกถั่วลันเตา (*Pisum sativum* L.) ในชั่วแรกๆ พบ G×E สูงมาก เมื่อสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลักคือ ชนิดและโครงสร้างของดินที่แตกต่างกัน และการแข่งขันกันระหว่างต้นพืช (inter - plant competition) Abd-El *et al.*(1989) วัด G×E ผลผลิตและเสถียรภาพในการให้ผลผลิตโดยแยกเป็น ผลผลิตเมล็ด และผลผลิตต้นสด ในระบบเกษตรน้ำฝน โดยพิจารณาค่า S^2_{di} พบว่ามีเพียงพันธุ์ 88/335 จากประเทศเยอรมันให้ผลผลิตสูง และมีเสถียรภาพในการให้ทั้งผลผลิตเมล็ด และผลผลิตต้นสด และพบอีกว่าถั่วลันเตาพันธุ์ท้องถิ่นสามารถให้ผลผลิตสูงได้ในบางสภาพแวดล้อม และไม่มีเสถียรภาพในการให้ผลผลิต

Link *et al.* (1996) ปรับปรุงพันธุ์ faba bean (*Vicia faba* L.) เพื่อหาความสามารถในการปรับตัวแบบ wide adaptation จากถั่วทั้งหมด 20 สายพันธุ์ และพันธุ์ลูกผสม F_1 99 คู่ผสมใน 9 สภาพแวดล้อม พบปฏิกิริยาร่วม G×E เช่นเดียวกับ Link *et al.* (1994) พบว่าลูก F_1 ให้ผลผลิตเฉลี่ย 275 กรัมต่อแถว มากกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ (144 กรัมต่อแถว) ค่า b_i ของ F_1 มีค่าสูงกว่าพ่อแม่ แสดงว่า F_1 มีความสามารถในการปรับตัวแบบ wide adaptation ต่ำกว่าพันธุ์พ่อแม่

Allard (1966) เสนอว่าในกรณีที่ลักษณะที่ศึกษาไม่มี G×E (G×E=0) แสดงว่าลักษณะนั้นมีการแสดงออกทางพันธุกรรมเหมือนกันในทุกสภาพแวดล้อม ซึ่ง Raymer and Bernard (1988) ทดลองปลูกถั่วเหลือง 16 พันธุ์ใน 2 วันปลูก พบว่าลักษณะที่พบ G×E (พันธุ์×วันปลูก) ได้แก่ วันสุกแก่ ความสูงในระยะสุกแก่ ผลผลิต วันออกดอก และความสูงในระยะออกดอก ลักษณะน้ำหนัก 100 เมล็ดไม่เกิด G×E พิมพร (2534) ศึกษาการปรับตัวของถั่วเหลืองพันธุ์พื้นเมือง 14 พันธุ์ภายใต้ 14 สภาพแวดล้อมที่ต่างกัน พบว่าความแปรปรวนของ ลักษณะจำนวนเมล็ดต่อฝัก เกิดจากความแปรปรวนของสภาพแวดล้อม พันธุกรรม และ G×E เท่ากับ 16.8, 45.0 และ 38.1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และความแปรปรวนของผลผลิตเกิดจาก สภาพแวดล้อม พันธุกรรม และ G×E เท่ากับ 17.8, 67.1 และ 15.1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

สุนิตฐา และคณะ (2529) เปรียบเทียบเสถียรภาพของปอแก้วไทยโดยวิเคราะห์ปฏิกิริยาร่วมระหว่าง พันธุกรรมและสภาพแวดล้อม ตามวิธีของ Eberhart and Russell (1966) พบว่า ปอแก้วไทยทั้ง 2 ชุดสายพันธุ์เกิด Location(L) × Year(Y) ในทุกลักษณะที่ศึกษา ปอแก้วไทยชุดที่ 1 พบ Variety(V) × Y ในลักษณะน้ำหนักแห้งเส้นใย ความหนาของเปลือก และเปอร์เซ็นต์เส้นใย และพบ V × L × Y ในลักษณะความสูง และความหนาของเปลือก ส่วนปอแก้วชุดที่ 2 พบ V × L และ V × Y ในลักษณะน้ำหนักต้นสด และลักษณะเปอร์เซ็นต์เส้นใย เมื่อวิเคราะห์เสถียรภาพแล้วพบว่าพันธุ์ NS7643-1-2-3 และNS7643-1-3-3 ในปอแก้วชุดที่ 1 และ NS7645-2-2-2 ในปอแก้วชุดที่ 2 สามารถให้ผลผลิตสูง และมีเสถียรภาพ งามชื่น (2534) ได้รายงานถึงการวิเคราะห์เสถียรภาพผลผลิตฝ้าย 3 พันธุ์โดยวิธีการเดียวกัน ปลูกใน 21 สภาพแวดล้อม พบว่าพันธุ์ รัชดา1 และ พันธุ์ศรีสำโรง2 มีค่าb ไม่แตกต่างจาก 1.00 และS^2_{di} ไม่แตกต่างจากศูนย์ ผลผลิตเฉลี่ยต่ำกว่าพันธุ์ รัชดา 2 ซึ่งมีค่า b แตกต่างจาก 1.00 และ S^2_{di} แตกต่างจากศูนย์ แสดงว่าพันธุ์ที่น่าจะมีเสถียรภาพผลผลิตสูงคือ พันธุ์รัชดา1 และศรีสำโรง2 ส่วนพันธุ์รัชดา2 เป็นพันธุ์เหมาะที่จะปลูกในสภาพที่เอื้ออำนวยต่อการปลูกฝ้าย จินดา (2525) วิเคราะห์ดัชนีความเสถียรภาพ หรือคงที่(Stability Index) ของข้าวโพด

10 พันธุ์ ใน 7 สภาพแวดล้อมโดยใช้วิธีของ Eberhart and Russell (1966) เช่นกันพบว่าข้าวโพดพันธุ์ Thai comp.1 × Phil.DMP1,5 ให้ผลผลิตสูง ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมสม่ำเสมอดี ไม่ถูกกระทบกระทั่ง เนื่องจากสภาพแวดล้อมมาก

พีระศักดิ์ และคณะ (2534) ศึกษาความแปรปรวนของผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของถั่วเขียวพันธุ์ส่งเสริมที่ปลูกในวันปลูกต่างๆกัน เพื่อวิเคราะห์ปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมแล้วจัดกลุ่มพันธุ์ให้เหมาะสมกับวันปลูก และจัดกลุ่มวันปลูกตามผลกระทบที่มีผลต่อพันธุ์ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จ GEBEI (Genotype by environment interaction) พบว่าลำดับการให้ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตเปลี่ยนไปตามวันปลูก แม้ว่าลำดับของพันธุ์ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของพันธุ์ก็เปลี่ยนแปลงไปตามวันปลูก แสดงว่าเกิดปฏิกิริยา G×E อย่างชัดเจน และพบว่าถั่วเขียวพันธุ์ส่งเสริมของไทยในปัจจุบันตอบสนองสูงในสภาพแวดล้อมที่กำแพงแสน แม้จะได้ทำการทดลองติดต่อกันเป็นระยะเวลาหลายปีก็ยังพบว่าความแปรปรวนของลักษณะดังกล่าวไม่สามารถจัดรูปแบบได้อย่างชัดเจน

Chapman *et al.* (1997) นำผลของปฏิกิริยาระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดที่มีลักษณะทนทานต่อการขาดน้ำ และศักยภาพการให้ผลผลิต พบว่าความแปรปรวนที่เกิดเนื่องจาก สภาพแวดล้อมมีสูงถึง 97.9% และความแปรปรวนเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมมีมากกว่าพันธุ์ถึงเกือบสามเท่า สามารถแบ่งแยกกลุ่มของพันธุ์ที่ตอบสนองต่อการขาดน้ำได้ 4 กลุ่มโดยลักษณะต่างๆ ได้แก่ ผลผลิต วันออกดอก จำนวนฝักต่อต้น Byrne *et al.* (1995) ทดสอบหาประชากรของข้าวโพดที่สามารถเจริญเติบโตได้ในหลายสภาพแวดล้อม (Multi – environment trial; MET) พบว่าลักษณะพันธุกรรมตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม โดยวัดความแปรปรวนของ G×E มากกว่าความแปรปรวนเนื่องจาก พันธุกรรม(G) ซึ่งในการแยกผลกระทบเนื่องจาก พันธุกรรม สภาพแวดล้อม และปฏิกิริยาระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมนั้น ต้องทดสอบในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน หรือจากปีหนึ่งไปอีกปีหนึ่ง (สภาพขาดน้ำ,อุณหภูมิ ปุ๋ย) โดยถ้าพบว่า G×E effect มีนัยสำคัญก็จะสามารถใช้ linear regression analysis วิเคราะห์เสถียรภาพของลักษณะต่างๆ ได้แก่ ผลผลิต Brett *et al.* (1987) ใช้ regression ในการวัดการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมของข้าวสาลีพันธุ์ลูกผสม (hybrid) และพันธุ์แท้ (pureline) พบว่าในปี 1982 ค่าเฉลี่ย regression coefficient (b) ของพันธุ์ hybrid ซึ่งมีค่า b = 1.12 จะมีค่ามากกว่าพันธุ์ semidwarf purelines และพันธุ์ tall purelines ซึ่งมีค่า b = 0.99 และ 0.79 ตามลำดับ แสดงถึงว่าพันธุ์ hybrid จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมมากกว่าพันธุ์ pureline นั้นเอง

Mateo *et al.* (1998) ใช้ partial least squares (PLS) regression เพื่ออธิบายปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรม และสภาพแวดล้อมของข้าวสาลี ส่วน Tevor *et al.* (1995) รายงานว่า การวิเคราะห์เสถียรภาพของลักษณะต่าง ๆ นั้นเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยพันธุกรรมในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน

นภาวรรณ (2537) ประเมินเสถียรภาพผลผลิตของประชากรข้าวโพด ใน 5 สภาพแวดล้อม พบว่าประชากรข้าวโพดที่ผ่านการปรับปรุงพันธุ์โดยวิธี modified S_1 recurrent selection เพียงหนึ่งรอบ ให้ผลผลิตเฉลี่ย 5.23 ตันต่อเฮกตาร์ สูงกว่าประชากรที่ไม่ได้รับการคัดเลือก ซึ่งมีผลผลิตเฉลี่ย 3.05 ตันต่อเฮกตาร์ ถึง 71 เปอร์เซ็นต์ และสูงกว่าประชากรแม่ถึง 8 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม ข้าวโพดทุกประชากรตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมไปในทิศทางเดียวกันโดยสามารถอธิบายได้ด้วยสมการรีเกรสชันเชิงเส้นตรง

Allard and Bradshaw (1964) แบ่งความแปรปรวนเนื่องจากสิ่งแวดล้อมออกเป็น 2 แหล่ง คือ ความแปรปรวนที่สามารถคาดคะเนได้ (predictable variation)มีความแตกต่างระหว่างสถานที่ปลูกอย่างถาวรรวมอยู่ด้วยตัวอย่างเช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน หรือความยาวของวัน รวมถึงลักษณะที่เกิดจากการจัดการของมนุษย์ คือ วันปลูก ความหนาแน่นของต้นพืช การเก็บเกี่ยว และการเขตกรรมต่างๆ ถ้าองค์ประกอบความแปรปรวนของปฏิกิริยาระหว่างพันธุ์ต่อสถานที่ปลูกค่อนข้างจะมากกว่าค่าปฏิกิริยาสัมพันธ์ขององค์ประกอบอื่นๆ แสดงว่าควรพัฒนาพันธุ์หรือแนะนำพันธุ์ดังกล่าวเฉพาะกับท้องที่ที่พันธุ์นั้นสามารถปรับตัวได้ดี ซึ่งจะดีกว่าการที่จะแนะนำให้ปลูกพันธุ์ที่สามารถปรับตัวได้ทั่วไปทุกสถานที่ปลูก ดังเช่นถั่วเหลืองที่ปลูกในสหรัฐอเมริกาเพราะว่าช่วงแสงมีความต่างกัน จากใต้ไปเหนือ จึงได้แนะนำพันธุ์ สำหรับปลูกในช่วงเส้นรุ้งแคบ ๆ ส่วนความแปรปรวนที่ไม่สามารถคาดคะเนได้ (unpredictable variation) เช่น การกระจายของปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ได้สะท้อนถึงองค์ประกอบของความแปรปรวนขนาดใหญ่เนื่องจากปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุ์ต่อปี และพันธุ์ต่อปีต่อสถานที่ปลูก ซึ่งถ้าองค์ประกอบของทั้งสองนี้ มีขนาดใหญ่ก็มีความจำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบหลายสถานที่ปลูกเป็นเวลาหลายปี ถ้าองค์ประกอบของความแปรปรวนเนื่องจากปฏิกิริยาสัมพันธ์ของพันธุ์ต่อสถานที่ปลูกและพันธุ์ต่อปีเท่ากับศูนย์หรือน้อยกว่าปฏิกิริยาสัมพันธ์ของสามปัจจัย (พันธุ์×ปี×สถานที่ปลูก) ควรทำการทดสอบหลายสภาพแวดล้อมไม่จำเป็นต้องคำนึงย่อยลงไป หรือจะต้องแยกกลุ่มออกเป็นสถานที่ปลูกหรือปี ถ้าความแปรปรวนของสิ่งแวดล้อมที่ไม่สามารถคาดคะเนได้มีขนาดใหญ่ ควรจะผลิตพันธุ์ที่สามารถปรับตัวได้กว้างหรือต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอนเหล่านี้