

การเปรียบเทียบสายพันธุ์ถั่วฝักยาวในสภาพแล้ง[†]

A Comparison of Yardlong Bean Lines under Drought-Stress Condition

ปราโมทย์ พรสุริยา^{1,*}, ปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน², อภิสิทธิ์ ชิตวานิช¹ และ สุพรรณษา ชินวรรณ¹Pramote Pornsuriya^{1,*}, Patiyut Kwun-on², Apisit Chittawanij¹ and Supansa Chinaworn¹¹คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อำเภอสรีราชา จังหวัดชลบุรี 20110¹Faculty of Agriculture and Natural Resource, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Sriracha, Chonburi 20110, Thailand²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อำเภอสรีราชา จังหวัดชลบุรี 20110²Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Sriracha, Chonburi 20110, Thailand*อีเมล: pornsuriya@hotmail.com

บทคัดย่อ

จากการที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ได้ดำเนินโครงการเก็บรวบรวมพันธุ์ถั่วฝักยาวพันธุ์ท้องถิ่นในเขตจังหวัดชลบุรี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงพันธุ์ และได้ทำการผสมพันธุ์และคัดเลือกสายพันธุ์แบบต้นต่อแถว นำสายพันธุ์ต่างๆ ที่รวบรวมมาจำนวน 36 จีโนไทป์มาปลูกทดสอบในสภาพแล้ง โดยสุ่มในแผนการทดลองแบบซิมเปิลแลตทิซ (6 x 6 simple lattice design) ทำ 2 เซต จำนวน 4 สแควร์ (4 ซ้ำ) ปลูกทดลองในถุงปลูกในโรงเรือนที่ป้องกันฝน จำลองการทดลองในสภาพการขาดน้ำ (drought stress; DS) โดยมีการให้น้ำให้มีความชื้นระหว่าง 80 - 100 เปอร์เซ็นต์ของความจุความชื้นสนาม (field capacity) ตั้งแต่ปลูกจนถึงอายุ 30 วัน หลังจากนั้นจึงควบคุมการให้น้ำโดยให้มีความชื้นต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของความจุความชื้นสนาม ตลอดการเก็บเกี่ยว ผลการทดลองพบว่าสายพันธุ์ถั่วฝักยาวมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในลักษณะความกว้างฝัก น้ำหนักฝัก และผลผลิตต่อต้น และที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ในลักษณะปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบ ความยาวต้น อายุดอกแรกบาน และความยาวฝัก โดยมีสายพันธุ์ที่น่าสนใจที่ให้ผลผลิตฝักสดต่อต้นได้สูงในสภาพแล้ง ได้แก่ สายพันธุ์ No.33P, BP2, P10T26, BP1, No.37G และ No.30P จากโมเดลการวิเคราะห์เส้นทาง (path analysis) ของถั่วฝักยาวทั้ง 36 สายพันธุ์พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบและจำนวนเมล็ดต่อฝักมีอิทธิพลโดยอ้อมต่อผลผลิตต่อต้น (0.074 และ 0.136 ตามลำดับ) โดยผ่านทางความยาวฝักและน้ำหนักฝัก ความกว้างฝักมีอิทธิพลโดยอ้อมต่อผลผลิตต่อต้น (0.230) ผ่านทางน้ำหนักฝัก ความยาวฝักมีอิทธิพลโดยอ้อมต่อผลผลิตต่อต้น (0.289) ผ่านทางน้ำหนักฝัก จำนวนฝักต่อต้นและน้ำหนักฝักมีอิทธิพลโดยตรงต่อผลผลิตต่อต้น (0.912 และ 0.417 ตามลำดับ) โดยทั้ง 6 ลักษณะ ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบ จำนวนเมล็ดต่อฝัก ความกว้างฝัก ความยาวฝัก น้ำหนักฝัก และจำนวนฝักต่อต้น สามารถอธิบายความแปรปรวนของลักษณะผลผลิตต่อต้นได้ 94.6 เปอร์เซ็นต์ โดยลักษณะที่มีอิทธิพลสูงสุดคือจำนวนฝักต่อต้น รองลงมาคือน้ำหนักฝัก และความยาวฝัก ตามลำดับ จากผลการศึกษานี้จึงมีประโยชน์ต่อการคัดเลือกสายพันธุ์และการปรับปรุงพันธุ์ถั่วฝักยาวที่ทนต่อสภาพแล้งต่อไป

คำสำคัญ: ถั่วฝักยาว, การเปรียบเทียบสายพันธุ์, การวิเคราะห์เส้นทาง, สภาพแล้ง

Abstract

Yardlong bean local cultivars from farmer households in Chonburi province had been collected by the Plant Genetic Conservation Project under the Royal Initiative of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn (RSPG), Rajamangala University of Technology Tawan-ok, to conserve local cultivars for plant breeding utilization. They were crossed and selected using plant to row method and then the selected lines were planted under drought-stress condition in rain-protection greenhouse. 36 lines/cultivars were planted in 6 x 6 simple lattice design with 2 sets (4 replications). They were watered to a soil humidity between 80 - 100 % field capacity from planting to 30 days after planting, after that the watering was controlled at a humidity below 50 % field capacity throughout the harvest. The results revealed

[†]การประชุมวิชาการและการนำเสนอผลงาน ชมรมคณะปฏิบัติงานวิทยาการ อพ.สธ. ครั้งที่ 10 (ระหว่างวันที่ 20 - 22 กันยายน 2565 ณ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์)

that 36 yardlong bean lines/cultivars were significantly different at $p < 0.05$ for pod width, pod weight and yield/plant, and at $p < 0.01$ for leaf chlorophyll content, plant length, days to first anthesis and pod length. There were promising lines that gave high fresh pod yield/plant under drought stress such as No.33P, BP2, P10T26, BP1, No.37G and No.30P. The results from path analysis for horticultural characteristics of 36 yardlong bean genotypes showed that leaf chlorophyll content and seeds/pod had indirect effect (0.074 and 0.0136, respectively) on yield/plant via pod length and pod weight. Pod width indirectly influenced yield per plant (0.230) via pod weight. Pod length also indirectly influenced yield per plant (0.289) via pod weight. Whereas pods/plant and pod weight directly influenced yield per plant (0.912 and 0.417, respectively). The 6 characteristics including leaf chlorophyll content, seeds/pod, pod width, pod length, pod weight and pods/plant accounted for 94.6 percent of the variation in yield/plant, and the most influential trait was pods/plant, followed by pod weight and pod length, respectively. The findings of this study can be used to improve line selection and breeding of drought-tolerant yardlong bean cultivars.

Keywords: Yardlong bean, Line comparison, Path analysis, Drought stress

บทนำ

ถั่วฝักยาวมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdc. (Porcher, 2007; Stephens, 2015) อยู่ในวงศ์ Fabaceae (United States Department of Agriculture, 2018) เป็นพืชผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งซึ่งสามารถปลูกได้ในทุกฤดูปลูกในพื้นที่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย จากข้อมูลการผลิตพืชไร่จังหวัดของกรมส่งเสริมการเกษตรรายงานไว้ว่า ปีเพาะปลูก พ.ศ. 2564 มีพื้นที่ปลูกถั่วฝักยาวทั่วประเทศประมาณ 40,234 ไร่ ผลผลิตรวมประมาณ 61,104 ตัน ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 1,032 กิโลกรัมต่อไร่ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2565) ถั่วฝักยาวเป็นพืชผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูง ได้แก่ ไทอามีน ไรโบฟลาวิน แคลเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และเป็นแหล่งของวิตามินเอและซี (National Research Council, 2006) จึงเป็นพืชผักที่เกษตรกรนิยมปลูกและเป็นที่ยอมรับของคนไทยมาช้านานในประเทศไทย

ปัญหาภัยแล้งเป็นสาเหตุที่สำคัญที่สุดที่ก่อให้เกิดความเสียหายให้กับเกษตรกร โดยพืชผักเป็นพืชที่อ่อนแอต่อสภาพแล้งได้มากกว่าเมื่อเทียบกับพืชอื่น ๆ (Kumar et al., 2012) ถั่วฝักยาวเป็นพืชผักที่ต้องการน้ำตลอดฤดูปลูกเพื่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตที่สูงและฝักมีคุณภาพ อย่างไรก็ตาม ในการปลูกถั่วฝักยาวยังไม่มีพันธุ์ทนแล้งที่โดดเด่นสำหรับการปลูกในสภาพพื้นที่ที่ผันผวนจากความแห้งแล้ง ซึ่งปัญหาสภาวะแห้งแล้งทั้งที่มีสาเหตุมาจากฤดูกาลและการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ (climate change) จัดว่าเป็นปัญหาสำคัญในระดับต้นๆของการผลิตอาหารเพื่อเลี้ยงพลเมืองโลก (Budak et al., 2013) ในประเทศไทยสถานการณ์ภัยแล้งส่งผลกระทบต่อความเสียหายของภาคเกษตรกรรมเป็นอย่างมาก จากข้อมูลการสำรวจภัยแล้งที่เกิดขึ้นในประเทศไทยพบว่าพื้นที่การเกษตรได้รับความเสียหายเป็นประจำต่อเนื่องทุกปี และมีมูลค่าความเสียหายเป็นจำนวนหลายร้อยล้านบาท ตามระดับความรุนแรงของภัยแล้งที่เกิดขึ้นในแต่ละปี โดยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 - 2560 มีพื้นที่การเกษตรที่ได้รับความเสียหายจากสถานการณ์ภัยแล้งในแต่ละปีมากน้อยต่างกันตั้งแต่ 64,373 - 13,736,660 ไร่ เฉลี่ย 2,082,516 ไร่/ปี และคิดเป็นมูลค่าความเสียหายเฉลี่ย 949,039,953 ล้านบาท/ปี (สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร, 2562) จากการที่ถั่วฝักยาวเป็นพืชผักที่นิยมปลูกทั่วทุกภาคของประเทศไทย ซึ่งการปลูกในพื้นที่ที่ประสบภัยแล้งหรือพื้นที่ที่ขาดแคลนน้ำก็จะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและทำให้ผลผลิตลดลงเป็นอย่างมาก แนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวคือการวิจัยในการปรับปรุงพันธุ์ถั่วฝักยาวให้มีความทนทานสภาพแห้งแล้ง โดยยังคงให้ผลผลิตอยู่ในระดับสูงที่น่าพอใจ โดยการนำเชื้อพันธุกรรมถั่วฝักยาวจากแหล่งพันธุกรรมต่างๆ และจากสายพันธุ์ที่คัดเลือกมาจากการผสมข้ามพันธุ์มาประเมินในสภาพการปลูกแบบขาดน้ำ เพื่อประเมินคัดเลือกพันธุ์หรือสายพันธุ์ที่มีความทนทานต่อสภาพแห้งแล้งจากการประเมินทดสอบดังกล่าว โดยทั่วไปพืชจะมีกลไกในการทนทานต่อความแห้งแล้งได้ใน 3 รูปแบบหลัก ได้แก่ การหนีแล้ง (drought escape), การเลี่ยงแล้ง (drought avoidance) และความทนแล้ง (drought tolerance) เป็นต้น (Leonardis et al., 2012) จากการศึกษาของ Lestari et al. (2019) พบว่าในถั่วฝักยาว 8 พันธุ์มีกลไกในการทนแล้งทั้งแบบการหนีแล้ง การเลี่ยงแล้ง และความทนแล้ง ดังนั้นจากการเปรียบเทียบสายพันธุ์ถั่วฝักยาวในสภาพแล้งทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการขยายเป็นพันธุ์ได้โดยตรง หรือการนำมาปรับปรุงพัฒนาเป็นพันธุ์ที่ทนแล้ง โดยสามารถให้ผลผลิตได้มากกว่าพันธุ์ทั่วไปในสภาพภูมิอากาศหรือสภาพพื้นที่ที่แล้ง ซึ่งจะส่งผลทำให้อัตราผลิตภาพการผลิตของภาคเกษตรเพิ่มขึ้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสายพันธุ์ถั่วฝักยาวและวิเคราะห์โมเดลเส้นทางของลักษณะทางพืชสวนที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตต่อต้นของสายพันธุ์ถั่วฝักยาวที่ปลูกในสภาพแล้ง โดยงานวิจัยนี้เป็นงานสนองพระราชดำรินโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ

วิธีดำเนินการวิจัย

จีโนไทป์ถั่วฝักยาวที่ใช้ในการทดสอบประเมินประกอบด้วยพันธุ์และสายพันธุ์ของถั่วฝักยาวจากแหล่งพันธุ์กรรมต่างๆ ได้แก่ พันธุ์การค้า พันธุ์ท้องถิ่น สายพันธุ์ที่คัดเลือกจากการผสมข้ามระหว่างพันธุ์ จำนวนทั้งหมด 36 จีโนไทป์ โดยนำสายพันธุ์/พันธุ์ดังกล่าวมาปลูกประเมินในโรงเรือนป้องกันฝนใช้ระบบการให้น้ำแบบหยด โดยปลูกในถุงปลูกสีขาวขนาด 20 x 33 เซนติเมตร (8 x 13 นิ้ว) วางผังแผนการทดลองแบบซิมเปิลแลตทิซ (6 x 6 simple lattice design) โดยทำ 2 เซต จำนวน 4 สแควร์ (4 ซ้ำ) จำลองการทดลองในสภาพการขาดน้ำ (drought stress; DS) โดยควบคุมการให้น้ำให้มีความชื้นในดินระหว่าง 80 - 100 เปอร์เซ็นต์ของความจุความชื้นสนาม ตั้งแต่ปลูกจนถึงอายุ 30 วัน หลังจากนั้นจึงเริ่มตให้น้ำและควบคุมการให้น้ำโดยให้มีความชื้นในดินต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของความจุความชื้นสนาม ตลอดการเก็บเกี่ยว วัดความชื้นของดินในถุงปลูกโดย WET Sensor type WET2 (Delta-T Devices Ltd., UK.) การบันทึกข้อมูล ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบ (วัดด้วย SPAD-502 chlorophyll meter (Minolta Camera Co., Ltd., Japan) ที่อายุ 49 และ 56 วันหลังปลูก) ความยาวต้น (วัดหลังการเก็บเกี่ยวครั้งสุดท้าย) อายุดอกแรกบาน ความกว้างฝัก ความยาวฝัก น้ำหนักฝัก จำนวนเมล็ดต่อฝัก (เฉลี่ยจาก 5 ฝัก/ต้น) และผลผลิตต่อต้น (เก็บเกี่ยวฝักสดวันเว้นวัน ระยะเวลาเก็บเกี่ยว 4 สัปดาห์) การวิเคราะห์ข้อมูล เนื่องจากมีข้อมูลสูญหายจากต้นตายจำนวนมากและเป็นการทดลองในโรงเรือน ดังนั้นจึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองสุ่มทดลองแบบซ้ำไม่เท่า (CRD with unequal replication) แทนการวิเคราะห์ของแผนซิมเปิลแลตทิซ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test และนำข้อมูลจากทั้ง 4 ซ้ำมาวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Pearson correlation) และวิเคราะห์เส้นทาง (path analysis) ของตัวแปรลักษณะทางพืชสวนที่ส่งผลต่อผลผลิตต่อต้นของถั่วฝักยาวที่ปลูกในสภาพแล้งโดยใช้วิธีการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (structural equation modeling; SEM) (Lamb et al., 2011) สถานที่และระยะเวลาทำการทดลอง ทำการทดลองที่โรงเรือนแปลงทดลองพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ. ชลบุรี ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน 2564

ผลและอภิปรายผล

1) การเปรียบเทียบสายพันธุ์ในสภาพแล้ง ได้ผลการทดลองในลักษณะต่างๆ ของสายพันธุ์ถั่วฝักยาวดังต่อไปนี้

1.1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบ (Table 1) จากการวัดด้วย SPAD-502 chlorophyll meter โดยมีหน่วยเป็น SPAD-unit พบว่ามีความแตกต่างกัน ($p < 0.01$) สายพันธุ์ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบมากเป็น 5 อันดับแรก ได้แก่ สายพันธุ์ No.33P, No.18G, No.38P, No.32P และ BP2 (50.08, 48.88, 43.43, 43.13 และ 42.53 SPAD-unit ตามลำดับ) และสายพันธุ์ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบน้อยเป็น 5 อันดับท้าย ได้แก่ สายพันธุ์ Nawa4, No.22G, ChiaN, No.G และ P8T7 (25.70, 25.65, 24.98, 23.15 และ 21.70 SPAD-unit ตามลำดับ) โดยมีค่าเฉลี่ยของทุกสายพันธุ์เท่ากับ 35.11 SPAD-unit

1.2) ความยาวต้น (Table 1) พบว่าพบว่ามีค่าแตกต่างกัน ($p < 0.01$) สายพันธุ์ที่มีความยาวต้นมากเป็น 5 อันดับแรก ได้แก่ สายพันธุ์ Nawa3, Suwan, No.32P, P10T15 และ Nawa4 (451, 437, 430, 429 และ 419 เซนติเมตร ตามลำดับ) และสายพันธุ์ที่มีความยาวต้นน้อยเป็น 5 อันดับท้าย ได้แก่ สายพันธุ์ BPP, Lamna, No.38P, No.36P และ BP2 (299, 293, 291, 279 และ 259 เซนติเมตร ตามลำดับ) โดยมีค่าเฉลี่ยความยาวต้นของทุกสายพันธุ์เท่ากับ 353 เซนติเมตร

1.3) อายุดอกแรกบาน (Table 1) พบว่าพบว่ามีค่าแตกต่างกัน ($p < 0.01$) สายพันธุ์ที่มีอายุดอกแรกบานมากเป็น 5 อันดับแรก ได้แก่ สายพันธุ์ Nigro, No.37G, BP1, P8T7 และ TarnT (43.5, 42.7, 41.5, 41.3 และ 40.5 วัน ตามลำดับ) และสายพันธุ์ที่มีอายุดอกแรกบานน้อยเป็น 5 อันดับท้าย ได้แก่ สายพันธุ์ BP2, No.25G, No.33G, No.32P และ No.22G (36.0, 36.0, 35.8, 35.8 และ 34.8 วัน ตามลำดับ) โดยมีค่าเฉลี่ยอายุดอกแรกบานของทุกสายพันธุ์เท่ากับ 38.4 วัน

1.4) ความกว้างฝัก (Table 1) พบว่าพบว่ามีค่าแตกต่างกัน ($p < 0.05$) สายพันธุ์ที่มีความกว้างฝักมากเป็น 5 อันดับแรก ได้แก่ สายพันธุ์ P8T7, ChiaN, No.1G, T10P15 และ BPP (0.87, 0.81, 0.81, 0.81 และ 0.80 เซนติเมตร ตามลำดับ) และสายพันธุ์ที่มีความกว้างฝักน้อยเป็น 5 อันดับท้าย ได้แก่ สายพันธุ์ No.20G, No.38P, Nigro, No.36P และ BP1 (0.68, 0.68, 0.67, 0.67 และ 0.66 เซนติเมตร ตามลำดับ) โดยมีค่าเฉลี่ยความกว้างฝักของทุกสายพันธุ์เท่ากับ 0.75 เซนติเมตร

1.5) ความยาวฝัก (Table 1) พบว่าพบว่ามีค่าแตกต่างกัน ($p < 0.01$) สายพันธุ์ที่มีความยาวฝักมากเป็น 5 อันดับแรก ได้แก่ สายพันธุ์ No.37G, No.33P, No.30P, No.33G และ No.22G (54.25, 51.53, 50.65, 49.93 และ 48.50 เซนติเมตร ตามลำดับ) และสายพันธุ์ที่มีความยาวฝักน้อยเป็น 5 อันดับท้าย ได้แก่ สายพันธุ์ P8T7, No.38P, Lamna, ChiaN และ TarnT (33.48, 33.39, 31.92, 31.11 และ 26.83 เซนติเมตร ตามลำดับ) โดยมีค่าเฉลี่ยความยาวฝักของทุกสายพันธุ์เท่ากับ 40.66 เซนติเมตร

1.6) น้ำหนักฝัก (Table 2) พบว่าพบว่ามีค่าแตกต่างกัน ($p < 0.05$) สายพันธุ์ที่มีน้ำหนักต่อฝักมากเป็น 5 อันดับแรก ได้แก่ สายพันธุ์ No.33P, No.37G, No.40P, No.32P และ BP2 (16.00, 15.78, 15.56, 15.49 และ 13.89 กรัม ตามลำดับ) และสายพันธุ์ที่มีน้ำหนักฝักน้อยเป็น 5 อันดับท้าย ได้แก่ สายพันธุ์ Nawa3, TarnT, No.36P, No.38P และ Nawa4 (9.64, 9.27, 8.63, 8.47 และ 7.88 กรัม ตามลำดับ) โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝักของทุกสายพันธุ์เท่ากับ 11.98 กรัม

1.7) จำนวนเมล็ดต่อฝัก (Table 2) พบว่าพบว่ามีค่าแตกต่างกัน ($p > 0.05$) สายพันธุ์ที่มีแนวโน้มให้จำนวนเมล็ดต่อฝักมากเป็น 5 อันดับแรก ได้แก่ สายพันธุ์ No.18G, No.25G, No.30P, No.33G และ No.36P (12.78, 12.67, 12.45, 11.90 และ 11.56 เมล็ดต่อฝัก ตามลำดับ) และสายพันธุ์ที่มีจำนวนเมล็ดต่อฝักน้อยเป็น 5 อันดับท้าย ได้แก่ สายพันธุ์ ChiaN, Nawa4, LxBP1, P8T7 และ No.35P (7.53, 7.35, 7.19, 6.83 และ 5.00 เมล็ดต่อฝัก ตามลำดับ) โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดต่อฝักของทุกสายพันธุ์ 9.65 เมล็ดต่อฝัก

1.8) จำนวนฝักต่อต้น (Table 2) พบว่าพบว่ามีค่าแตกต่างกัน ($p > 0.05$) สายพันธุ์ที่มีแนวโน้มให้จำนวนฝักต่อต้นมากเป็น 5 อันดับแรก ได้แก่ สายพันธุ์ BP2, BP1, 33P, BPP และ P10T26 (18.33, 18.00, 18.00, 16.25 และ 15.75 ฝักต่อต้น ตามลำดับ) และสายพันธุ์ที่มีจำนวนฝักต่อต้นน้อยเป็น 5 อันดับท้าย ได้แก่ สายพันธุ์ 24G, 25G, TarnT, ChaiN และ No.35P (8.50, 7.00, 6.50, 5.50 และ 2.33 ฝักต่อต้น ตามลำดับ) โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนฝักต่อต้นของทุกสายพันธุ์เท่ากับ 11.78 ฝักต่อต้น

1.9) ผลผลิตต่อต้น (Table 2) พบว่าพบว่ามีค่าแตกต่างกัน ($p < 0.05$) สายพันธุ์ที่มีผลผลิตต่อต้นมากเป็น 5 อันดับแรก ได้แก่ สายพันธุ์ No.33P, BP2, P10T26, BP1 และ No.37G (287, 269, 208, 207 และ 199 กรัมต่อต้น ตามลำดับ) และสายพันธุ์ที่มีผลผลิตต่อต้นน้อยเป็น 5 อันดับท้าย ได้แก่ สายพันธุ์ No.24G, No.23G, ChiaN, TarnT และ No.35P (94, 86, 63, 60 และ 53 กรัมต่อต้น ตามลำดับ) โดยมีค่าเฉลี่ยผลผลิตต่อต้นของทุกสายพันธุ์เท่ากับ 143.00 กรัมต่อต้น

2) สหสัมพันธ์ของลักษณะ

ลักษณะที่มีความสัมพันธ์ในทางบวกต่อผลผลิตต่อต้น ได้แก่ จำนวนฝักต่อต้น น้ำหนักฝัก ความยาวฝัก ($p < 0.01$) และจำนวนเมล็ดต่อฝัก ($p < 0.05$) ส่วนลักษณะอื่นๆ ที่มีความสัมพันธ์กันในทางบวก ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์กับความยาวฝักและน้ำหนักฝัก ($p < 0.01$) ความกว้างฝักกับน้ำหนักฝัก ($p < 0.01$) ความยาวฝักกับน้ำหนักฝักและจำนวนเมล็ดต่อฝัก ($p < 0.01$) และน้ำหนักฝักกับจำนวนเมล็ดต่อฝัก ($p < 0.01$) ส่วนลักษณะที่มีความสัมพันธ์ในทางลบ ได้แก่ อายุดอกแรกบานกับจำนวนเมล็ดต่อฝัก ความยาวฝัก ($p < 0.01$) และน้ำหนักฝัก ($p < 0.05$) โดยที่ลักษณะความยาวต้นไม่มีความสัมพันธ์กับทุกลักษณะ (Table 3)

3) การวิเคราะห์เส้นทาง (path analysis)

จากการวิเคราะห์เส้นทางของลักษณะทางพืชสวนที่ส่งผลต่อผลผลิตต่อต้นของสายพันธุ์ถั่วฝักยาวที่ปลูกในสภาพแล้ง โดยเมื่อพิจารณาจากค่ามาตรฐาน (standardized estimates) ซึ่งทุกค่ามีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) พบว่ามีเพียง 2 ลักษณะที่มีอิทธิพลโดยตรง (direct effect) ต่อผลผลิตต่อต้น คือ จำนวนฝักต่อต้น และน้ำหนักฝัก (0.912 และ 0.417 ตามลำดับ) ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบและจำนวนเมล็ดต่อฝักมีอิทธิพลโดยอ้อมต่อผลผลิตต่อต้น (0.074 และ 0.136 ตามลำดับ) โดยผ่านทางความยาวฝักและน้ำหนักฝัก ความกว้างฝักมีอิทธิพลโดยอ้อมต่อผลผลิตต่อต้น (0.230) ผ่านทางน้ำหนักฝัก ความยาวฝักมีอิทธิพลโดยอ้อมต่อผลผลิตต่อต้น (0.289) ผ่านทางน้ำหนักฝัก (Figure1, Tables 4 and 5) ซึ่งจากโมเดลการวิเคราะห์เส้นทางดังกล่าวนี้มีดัชนีความสอดคล้องเป็นตามเกณฑ์ที่กำหนดคือ p -value มีค่ามากกว่า 0.05, relative Chi-square มีค่าน้อยกว่า 2, ดัชนี RMSEA มีค่าน้อยกว่า 0.05 และดัชนี GFI, NFI และ TLI มีค่ามากกว่า 0.95 (Schumacker & Lomax, 2016)

Table 1 Leaf chlorophyll content, plant length, days to first anthesis, pod width and pod length of 36 yardlong bean genotypes grown under drought-stress condition.

Genotype	Leaf chlorophyll content (SPAD Unit)	Plant length (cm)	Days to first anthesis (Days)	Pod width (cm)	Pod length (cm)
BP1	37.93 a-e	315 d-h	41.5 a-c	0.66 e	42.40 b-g
BP2	42.53 a-c	259 h	36.0 e-f	0.74 a-e	48.39 a-c
BPP	37.37 a-f	299 e-h	39.0 a-f	0.80 a-c	42.59 b-g
Lamna	29.95 c-f	293 e-h	38.8 a-f	0.77 a-e	31.92 hi
TarnT	27.55 c-f	370 a-g	40.5 a-e	0.80 a-d	26.83 i
Suwan	31.58 c-f	437 ab	39.5 a-f	0.80 a-c	39.24 c-h
ChiaN	24.98 d-f	359 a-h	40.3 a-e	0.81 a-b	31.11 hi
ChiaS	40.85 a-d	341 b-h	37.8 c-f	0.72 b-e	45.13 a-e
Nigro	39.2 a-e	325 c-h	43.5 a	0.67 c-e	36.65 e-h

Genotype	Leaf chlorophyll content (SPAD Unit)	Plant length (cm)	Days to first anthesis (Days)	Pod width (cm)	Pod length (cm)
Nuejo	30.78 c-f	371 a-g	39.3 a-f	0.77 a-e	34.56 f-i
No.1G	23.15 ef	317 d-h	36.5 d-f	0.81 a-b	34.05 g-i
No.18G	48.88 ab	359 a-h	39.3 a-f	0.71 b-e	44.84 a-e
No.25G	27.17 c-f	396 a-f	36.0 e-f	0.77 a-e	46.47 a-d
No.30P	42.45 a-c	339 b-h	37.3 c-f	0.73 b-e	50.65 ab
No.33P	50.08 a	353 a-h	37.3 c-f	0.73 b-e	51.53 ab
No.33G	36.03 a-f	317 d-h	35.8 e-f	0.77 a-e	49.93 ab
No.3P	40.53 a-d	354 a-h	40.3 a-e	0.70 b-e	39.63 c-h
No.10P	33.4 b-f	358 a-h	36.3 e-f	0.71 b-e	44.16 b-f
No.19G	40.43 a-d	328 c-h	37.0 c-f	0.72 b-e	43.22 b-g
No.20G	29.8 c-f	347 a-h	40.5 a-e	0.68 b-e	40.00 c-h
No.22G	25.65 d-f	371 a-g	34.8 e-f	0.76 a-e	48.50 a-c
No.23G	39.4 a-e	312 d-h	38.0 b-f	0.74 a-e	43.87 b-f
No.24G	40.53 a-d	346 a-h	36.8 c-f	0.71 b-e	38.38 d-h
No.32P	43.13 a-c	430 a-c	35.8 e-f	0.77 a-e	47.43 a-d
No.35P	36.7 a-f	305 e-h	38.5 b-f	0.74 a-e	34.00 g-i
No.36P	37.77 a-e	279 gh	36.3 e-f	0.67 de	33.84 g-i
No.37G	37.85 a-e	337 b-h	42.7 ab	0.72 b-e	54.25 a
No.38P	43.43 a-c	291 f-h	37.5 c-f	0.68 b-e	33.39 g-i
No.40P	41.23 a-d	402 a-e	36.5 d-f	0.74 a-e	46.51 a-d
P4T8	29.47 c-f	372 a-g	39.3 a-f	0.73 b-e	37.98 d-h
P8T7	21.37 f	353 a-h	41.3 a-d	0.87 a	33.48 g-i
P10T15	31.05 c-f	429 a-c	37.5 c-f	0.81 a-b	35.91 e-i
P10T26	36.78 a-f	373 a-g	39.5 a-f	0.78 a-e	39.28 c-h
LxBP1	28.45 c-f	387 a-g	37.8 c-f	0.80 a-d	36.58 e-h
Nawa3	30.88 c-f	451 a	40.3 a-e	0.74 b-e	38.49 d-h
Nawa4	25.70 d-f	419 a-d	38.3 b-f	0.72 b-e	38.68 d-h
F-test	**	**	**	*	**
CV (%)	25.46	16.92	7.15	9.56	13.12

* and ** = significant at $p < 0.05$ and 0.01 , respectively.

Means in a column followed by the same letter are not significantly different at $DMRT_{0.05}$

Table 2 Pod weight, number of seeds per pod, number of pods per plant and yield per plant of 36 yardlong bean genotypes grown under drought-stress condition.

Genotype	Pod weight (g/pod)	Number of seeds per pod (seeds/pod)	Number of pods per plant (pods/ plant) ^{1/2}	Yield per plant (g/plant) ^{1/2}
BP1	11.29 a-d	9.60	18.00	207 a-c
BP2	13.89 a-c	10.03	18.33	269 ab
BPP	12.75 a-d	10.73	16.25	178 a-c
Lamna	11.36 a-d	9.58	11.00	112 a-c
TarnT	9.27 cd	8.75	6.50	60 d

Genotype	Pod weight (g/pod)	Number of seeds per pod (seeds/pod)	Number of pods per plant (pods/ plant) ^{1/}	Yield per plant (g/plant) ^{1/}
Suwan	13.46 a-d	10.17	12.50	154 a-c
ChiaN	11.55 a-d	7.53	5.50	63 d
ChiaS	12.75 a-d	10.30	15.25	176 a-c
Nigro	10.32 a-d	8.05	14.50	156 a-c
Nuejo	11.97 a-d	10.94	10.25	136 a-c
No.1G	11.20 a-d	9.60	11.25	131 a-c
No.18G	13.54 a-d	12.78	10.75	140 a-c
No.25G	12.45 a-d	12.67	7.00	94 bc
No.30P	13.39 a-d	12.45	14.50	196 a-c
No.33P	16.00 a	8.98	18.00	287 a
No.33G	12.86 a-d	11.90	12.75	170 a-c
No.3P	11.17 a-d	8.90	11.75	148 a-c
No.10P	11.53 a-d	8.94	10.75	125 a-c
No19G	12.28 a-d	10.68	12.25	150 a-c
No.20G	9.66 cd	8.45	12.50	124 a-c
No.22G	12.31 a-d	11.15	10.00	111 a-c
No.23G	10.03 b-d	11.53	8.75	86 cd
No.24G	10.62 a-d	11.50	8.50	94 bc
No.32P	15.49 ab	10.88	9.75	141 a-c
No.35P	10.56 a-d	5.00	2.33	53 d
No.36P	8.63 cd	11.56	10.75	98 a-c
No.37G	15.78 ab	10.33	10.67	199 a-c
No.38P	8.47 cd	10.53	15.25	129 a-c
No.40P	15.56 ab	10.25	11.00	146 a-c
P4T8	11.39 a-d	9.12	13.75	160 a-c
P8T7	13.15 a-d	6.83	9.25	121 a-c
P10T15	13.33 a-d	7.77	9.50	133 a-c
P10T26	13.19 a-d	7.60	15.75	208 a-c
LxBP1	12.45 a-d	7.19	14.75	186 a-c
Nawa3	9.64 cd	7.88	12.25	110 a-c
Nawa4	7.88 d	7.35	12.25	97 a-c
F-test	*	ns	ns	*
CV (%)	25.91	29.73	28.54	36.60

ns, * and ** = non-significant, significant at $p < 0.05$ and 0.01 , respectively.

Means in a column followed by the same letter are not significantly different at $DMRT_{0.05}$

^{1/} Data are transformed by the square-root($x+0.05$) before statistical analysis and back transformed data are presented.

Table 3 The correlation matrix for studied traits of 36 yardlong bean genotypes grown under drought-stress condition.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
(1) Chlorophyll	1	-0.130	0.046	-0.131	0.288**	0.237**	0.070	-0.005	0.089
(2) Plant length		1	-0.072	0.119	-0.016	0.030	-0.161	-0.075	-0.094
(3) Anthesis			1	-0.134	-0.281**	-0.221*	-0.302**	-0.031	-0.094
(4) Pod width				1	-0.063	0.507**	-0.063	-0.212*	0.031
(5) Pod length					1	0.657**	0.490**	0.158	0.388**
(6) Pod weight						1	0.316**	-0.004	0.402**
(7) Seeds/pod							1	0.126	0.221*
(8) Pods/plant								1	0.886**
(9) Yield/plant									1

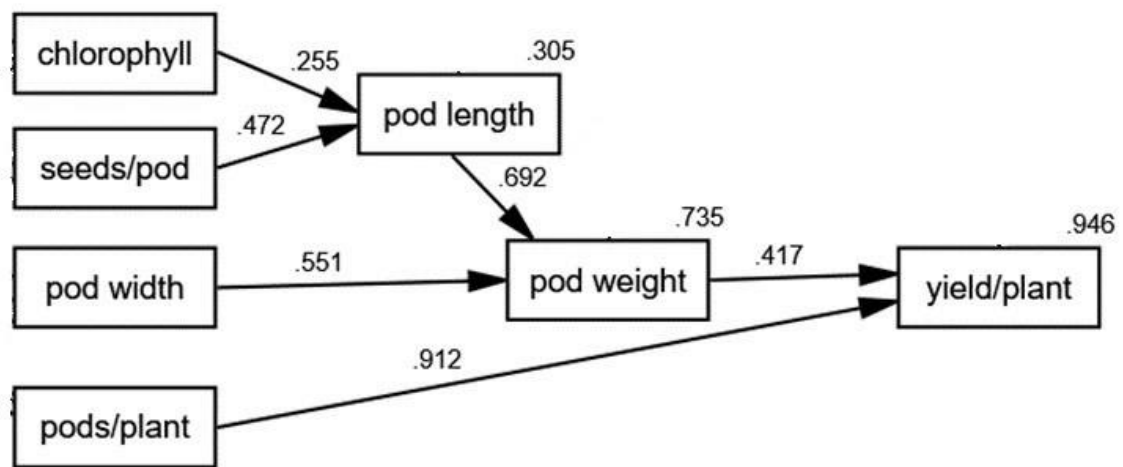
* and ** = significant at $p < 0.05$ and 0.01 , respectively.

Table 4 Unstandardized path coefficients, standard error of the unstandardized coefficients (SE), critical ratio (CR) and p -value for the tests of path coefficient significance, and standardized path coefficients from the observed variable model in Figure 1.

Path	Unstandardized path coefficients	SE	CR	p	Standardized estimates
Chlorophyll → Pod length	0.194	0.055	3.494	< 0.01	0.255
Seeds/pod → Pod length	1.246	0.193	6.461	< 0.01	0.472
Pod width → Pod weight	24.111	1.972	12.225	< 0.01	0.551
Pod length → Pod weight	0.294	0.019	15.348	< 0.01	0.692
Pod weight → Yield/plant	10.767	0.523	20.573	< 0.01	0.417
Pods/plant → Yield/plant	12.747	0.283	44.971	< 0.01	0.912

Table 5 Total effect (TE), direct effect (DE) and indirect effect (IE) of cause variables affecting on dependent variables from the path analysis model in Figure 1 and Table 4.

Cause variables	Dependent variables								
	Pod length			Pod weight			Yield/plant		
	TE	DE	IE	TE	DE	IE	TE	DE	IE
Chlorophyll	0.255	0.255	-	0.177	-	0.177	0.074	-	0.074
Seeds/pod	0.472	0.472	-	0.327	-	0.327	0.136	-	0.136
Pod width	-	-	-	0.551	0.551	-	0.230	-	0.230
Pod length	-	-	-	0.692	0.692	-	0.289	-	0.289
Pod weight	-	-	-	-	-	-	0.417	0.417	-
Pods/plant	-	-	-	-	-	-	0.912	0.912	-
R-square	0.305			0.735			0.946		



Chi-Square = 11.203, df = 9, $p = 0.262$, GFI = 0.977, NFI = 0.982, CFI = 0.996, TLI = 0.992, RMSEA = 0.043

Figure 1 Fitted observed variable path model of 36 yardlong bean genotypes grown under drought-stress condition. Standardized path coefficients are displayed for significant ($p < 0.01$) paths as are R^2 values for the 3 endogenous variables.

จากการเปรียบเทียบสายพันธุ์ถั่วฝักยาวที่ปลูกในสภาพแล้ง เมื่อเปรียบเทียบกับงานทดลองเปรียบเทียบสายพันธุ์ในสภาพปกติที่ผ่านมา (Pornsuriya et al., 2019; Pornsuriya et al., 2021) พบว่าการปลูกในสภาพแล้งทำให้สายพันธุ์ถั่วฝักยาวมีลักษณะต่างๆ ที่ถดถอยลงอย่างเห็นได้ชัด ได้แก่ ความกว้างฝัก ความยาวฝัก น้ำหนักฝัก จำนวนเมล็ดต่อฝัก จำนวนฝักต่อต้น และผลผลิตฝักสด โดยที่สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่อต้นสูงในสภาพแล้งคือสายพันธุ์ที่ยังคงให้จำนวนฝักต่อต้นได้มาก ฝักยาวและมีน้ำหนักฝักมากกว่าสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของลักษณะ ที่จำนวนฝักต่อต้นมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับผลผลิตต่อต้นมากที่สุด รองลงมาคือน้ำหนักฝักและความยาวฝัก ตามลำดับ ในขณะที่อายุดอกแรกบานมีความสัมพันธ์ในทางลบกับความยาวฝัก น้ำหนักฝักและจำนวนเมล็ดต่อฝัก บ่งชี้ว่าสายพันธุ์ที่ทนแล้งจะมีอายุดอกแรกบานเร็ว และเก็บเกี่ยวได้เร็วกว่า ซึ่งการเก็บเกี่ยวได้เร็วเป็นกลไกความทนทานต่อสภาพแล้งแบบการหนีแล้ง (drought escape) ซึ่งพืชจะมีอายุออกดอกและอายุเก็บเกี่ยวที่เร็วขึ้นเพื่อหนีจากสภาพแล้ง (Mitra, 2001) และสอดคล้องกับการทดลองในถั่วฝักยาวของ Lestari et al. (2019) ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ที่มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับความยาวฝักและน้ำหนักฝักซึ่ง 2 ลักษณะดังกล่าวนี้เป็นองค์ประกอบของผลผลิต โดยพบว่าสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่อต้นสูงมีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สูงด้วย โดยที่สภาพแล้งทำให้พืชมีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลง (Chaves et al., 2009) จากการวิเคราะห์เส้นทางโดยใช้วิธีการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างในครั้งนี้มีจำนวนตัวอย่างต้นถั่วฝักยาวในการวิเคราะห์ที่ในจำนวนที่เหมาะสมที่จะทำการทดสอบความสอดคล้องของโมเดลมีความแม่นยำเพียงพอ โดยจำนวนตัวอย่างอย่างน้อยที่แนะนำคือ 100 - 200 ตัวอย่าง หรือ 5 - 10 เท่า ของพารามิเตอร์ในโมเดล (Grace, 2006; Kline, 2011) จากโมเดลการวิเคราะห์เส้นทางดังกล่าวนี้พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบ จำนวนเมล็ดต่อฝัก ความกว้างฝัก และความยาวฝัก ส่งอิทธิพลโดยอ้อมต่อผลผลิตต่อต้น ในขณะที่น้ำหนักฝักและจำนวนฝักต่อต้นมีอิทธิพลโดยตรงต่อผลผลิตต่อต้น และเมื่อพิจารณาจากค่า R^2 พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบและจำนวนเมล็ดต่อฝักสามารถอธิบายความแปรปรวนของลักษณะความยาวฝักได้ 30.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบ จำนวนเมล็ดต่อฝัก ความกว้างฝัก และความยาวฝัก สามารถอธิบายความแปรปรวนของลักษณะน้ำหนักฝักได้ 73.5 เปอร์เซ็นต์ และทั้ง 6 ลักษณะ ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบ จำนวนเมล็ดต่อฝัก ความกว้างฝัก ความยาวฝัก น้ำหนักฝัก และจำนวนฝักต่อต้น สามารถอธิบายความแปรปรวนของลักษณะผลผลิตต่อต้นได้สูงถึง 94.6 เปอร์เซ็นต์ โดยลักษณะที่มีอิทธิพลสูงสุดคือจำนวนฝักต่อต้น รองลงมาคือน้ำหนักฝัก และความยาวฝัก ตามลำดับ ดังนั้นการเข้าใจถึงความสัมพันธ์ของลักษณะและลักษณะที่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของผลผลิตต่อต้นของถั่วฝักยาวที่ปลูกในสภาพแล้ง ก็จะมีประโยชน์ในการคัดเลือกสายพันธุ์และการปรับปรุงพันธุ์ถั่วฝักยาวให้ทนต่อสภาพแล้งได้ต่อไป

สรุปผล

จากการปลูกทดสอบเปรียบเทียบสายพันธุ์ถั่วฝักยาวในสภาพแล้งพบว่ามีการตอบสนองต่อสภาพแล้งของลักษณะที่ต่างกัน โดยมีความแตกต่างกันของของสายพันธุ์ในลักษณะปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบ ความยาวต้น อายุดอกแรกบาน ความกว้างฝัก ความยาวฝัก น้ำหนักฝัก และผลผลิตต่อต้น สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตฝักสดต่อต้นได้สูงในสภาพแล้ง ได้แก่ สายพันธุ์ No.33P, BP2, P10T26, BP1, No.37G และ No.30P และจากการวิเคราะห์เส้นทางพบว่าลักษณะทางพืชสวน 6 ลักษณะ ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบ จำนวนเมล็ดต่อฝัก ความกว้างฝัก ความยาวฝัก น้ำหนักฝัก และจำนวนฝักต่อต้น สามารถอธิบายความแปรปรวนของลักษณะผลผลิตต่อต้นได้ 94.6 เปอร์เซ็นต์ โดยลักษณะที่มีอิทธิพลมากที่สุดคือจำนวนฝักต่อต้น รองลงมาคือน้ำหนักฝัก และความยาวฝัก ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ถั่วฝักยาวให้ทนต่อสภาพแล้งได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ในการสนับสนุนทุนในการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2564

บรรณานุกรม

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2565). ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านเกษตร.

http://production.doae.go.th/report/report_main2.php?report_type=1

สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร. (2562). การช่วยเหลือเกษตรกรเพื่อลดความเสี่ยงจากภัยแล้งด้านการเกษตร.

<https://www.parliament.go.th/library>

Budak, H., Kantar, M., & Kurtoglu, K. Y. (2013). Drought tolerance in modern and wild wheat. *The Scientific World Journal*, 2013, 548246.

Chaves, M. M., Flexas, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of botany*, 103(4), 551-560.

Grace, J. B. (2006). *Structural equation modeling and natural systems*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Kline, R. B. (2011). *Principles and practice of structural equation modeling* (3rd ed.). New York, United States: Guilford Press.

Kumar, R., Solankey, S. S., & Singh, M. (2012). Breeding for drought tolerance in vegetables. *Vegetable Science*, 39(1), 1-15.

Lamb, E., Shirliffe, S., & May, W. (2011). Structural equation modeling in the plant sciences: An example using yield components in oat. *Canadian Journal of Plant Science*, 91(4), 603-619.

Leonardis, A. M. D., Petrarulo, M., Vita, P. D., & Mastrangelo, A. M. (2012). *Genetic and molecular aspects of plant response to drought in annual crop species* (pp. 45-74). In Giuseppe, M., & Dichio, B. (Eds.). *Advances in selected plant physiology aspects*. London, England: InTech Publisher.

Lestari, M. W., Arfarita, N., Sharma, A., & Purkait, B. (2019). Tolerance mechanisms of Indonesian plant varieties of yardlong beans (*Vigna unguiculata* sub sp. *sesquipedalis*) against drought stress. *Indian Journal of Agricultural Research*, 53(2), 223-227.

Mitra, J. (2001). Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current science*, 80(6), 758-763.

National Research Council. (2006). *Lost crops of Africa, vol. II: Vegetables*. Washington DC, United States: The National Academies Press.

Porcher, M. H. (2007). *Sorting Vigna names*. <http://www.plantnames.unimelb.edu.au/Sorting/Vigna.html>

Pornsuriya, P., Pornsuriya, P., & Chittawanij, A. (2019). Augmented analysis for yield and pod characteristics of yardlong bean (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. spp. *sesquipedalis* Verdc.) lines. *International Journal of Agricultural Technology*, 15(6), 975-984.

Pornsuriya, P., Pornsuriya, P., Kwun-on, P., & Chittawanij, A. (2021). Yield stability of new elite lines of yardlong bean (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *sesquipedalis* Verdc.). *International Journal of Agricultural Technology* 17(6), 2251-2264.

- Stephens, J. M. (2015). *Bean, Yard-Long - Vigna unguiculata subsp. sesquipedalis (L.) Verdc.* University of Florida IFAS Extension. <http://edis.ifas.ufl.edu/MV029>
- Schumacker, R. E., & Lomax, R. G. (2016). *A beginner's guide to structural equation modeling* (4th ed.). New York, United States: Routledge.
- United States Department of Agriculture. (2018). *Taxon: Vigna unguiculata (L.) Walp. subsp. sesquipedalis (L.) Verdc.* <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxonomydetail.aspx?41646>