

ความสามารถในการเจริญเติบโตและการพัฒนาในระยะต้นกล้าของ ถั่วมะแฮะ สายพันธุ์คัดเลือก

The Ability of Seedling Growth and Development of Pigeon Pea Selected Lines

มนัสชนก เกตกลางดอน¹, น้ำฝน ชาชัย¹, บัณฑิตา เพ็ญสุริยะ¹, พงศกร นิตยมี¹,
สุรสิทธิ์ วงศ์สัจจามันท์¹, เตชิตา ปิ่นสันเทียะ¹, เรวัตร จินดาเจีย¹, อีระวัฒน์ ศรีสุข,
จักรกฤษณ์ ศรีแสง^{1,*}, ปราโมทย์ ไตรบุญ²

¹สถานีวิจัยลำตะคอง ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ปทุมธานี 12120

²ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
ปทุมธานี 12120

Manaschanok Katklangdon¹, Namfon Chachai¹, Banthita Pensuriya¹, Pongsakorn
Nitmee¹, Surasit Wongsatchanan¹, Tashita Pinsanthie¹, Rawat Chindachia¹, Teerawat
Srisuk¹, Jakkrit Sreesang^{1,*}, Pramote Triboun²

¹Lamtaklong Research Station, Expert Centre of Innovative Agriculture, Thailand Institute of Scientific
and Technological Research, Pathum Thani 12120

²National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC), National Science and Technology
Development Agency (NSTDA), Pathum Thani 12120

Received 7 February 2023; Received in revised 17 July 2023; Accepted 4 March 2024

บทคัดย่อ

ถั่วมะแฮะเป็นพืชโปรตีนทางเลือกที่เจริญเติบโตในเขตร้อนและกึ่งร้อนชื้น ทนทานต่อสภาพแล้งและการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้ดี เมล็ดถั่วมะแฮะมีปริมาณโปรตีน 18.8-24% และมีกรดอะมิโนที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย การคัดเลือกสายพันธุ์ถั่วมะแฮะที่มีประสิทธิภาพในการงอกและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าที่ดี เป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญต่อการเจริญเติบโต การปรับตัวและการให้ผลผลิตของถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกได้ การทดลองนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถในการงอกและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือก จำนวน 30 สายพันธุ์ ที่ได้จากการคัดเลือกสายพันธุ์บริสุทธิ์จากประชากรถั่วมะแฮะสายพันธุ์คละ T9 เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการเจริญเติบโตในระยะแรก ก่อนการประเมินความสามารถในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตในสภาพ

*ผู้รับผิดชอบบทความ: Jakkritoneku@gmail.com

doi: 10.14456/tstj.2024.23

แปลงปลูก ผลการทดลอง พบว่า ถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกมีความแปรปรวนสูงในลักษณะความสูงต้น ความยาว epicotyl ความยาว hypocotyl และความยาวราก ที่อายุ 10 วันหลังเพาะเมล็ด นอกจากนี้ ความแปรปรวนของ ต้นกล้าถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกที่อายุ 30 วันหลังเพาะ พบว่า ลักษณะความสูงต้น ความยาว epicotyl ความยาว ใบ ความกว้างใบ จำนวนราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ของแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตของต้นกล้าที่อายุ 30 วันหลังเพาะ พบว่า ความยาว epicotyl มีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับความสูงต้น (0.77) การประเมินความสามารถในการงอกและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของ ถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือก สามารถคัดเลือกสายพันธุ์ P80-1-1, P38-6-1, P04-1-1 และ P29-1-1 เพื่อประเมินศักยภาพ การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตร่วมกับสายพันธุ์อื่นในโครงการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

คำสำคัญ: ถั่วมะแฮะ; การงอก; ระยะต้นกล้า; สายพันธุ์คัดเลือก; การปรับปรุงพันธุ์พืช

Abstract

Pigeon pea is an alternative protein plants that grows in tropical and subtropical humid regions, and is well-adapted to resist drought and climate change. Pigeon pea contains 18.8-24% protein and includes amino acids that contribute to balanced and beneficial health. Selecting pigeon pea lines that are effective in germination and the seedling growth stage is an important starting point for improving growth, adaptation and yield. This experiment aimed to assess the seed germination and seedling growth stages of selected pigeon pea lines. A total of 30 lines were chosen from the T9 mixed pigeon pea population to identify strains with early growth capacity before evaluating their growth and yield potential under growing conditions. The results showed that the selected pigeon pea line exhibited high variability in plant height, epicotyl length, hypocotyl length, and root length at 10 days after seeding. Additionally, variability in the selected pigeon pea lines at 30 days after seeding indicated statistically significant differences in plant height, epicotyl length, leaf length, leaf width, number of roots, fresh weight, and dry weight. The correlation coefficient of seedling growth at 30 days after seeding showed that plant height was highly positively correlated with epicotyl length (0.77). Lines P80-1-1, P38-6-1, P04-1-1, and P29-1-1 were identified as promising for further assessment of growth and yield potential in breeding programs.

Keywords: Pigeon pea; Germination; Seedling stage; Selected lines; Plant breeding

1. บทนำ

โปรตีนจากพืช (plant-based protein) เป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมอาหารในอนาคต ซึ่งส่วนมากผลิตจากพืชตระกูลถั่ว การบริโภคอาหารในกลุ่มโปรตีนจากพืชและนมพืชมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มสูงขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2561 คาดว่าจะมีการขยายตัวสูงถึง 6.4% มูลค่ารวม 6,725 ล้านบาท ตามความนิยมบริโภคอาหารโปรตีนสูงเพื่อสร้างสมดุลทางโภชนาการแทนเนื้อสัตว์ ซึ่งคาดการณ์ว่าตลาดสินค้าโปรตีนทางเลือกมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง 4-5 หมื่นตัน [1-2] พืชตระกูลถั่ว (Fabaceae) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางโภชนาการและโภชนาการและมีความมั่นคงทางอาหารของโลก นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญที่สามารถลดภาวะทุพโภชนาการในหลายพื้นที่ทั่วโลก ถั่วมะแฮ (Cajanus cajan L. Millsp.) เป็นพืชตระกูลถั่วที่มีปริมาณโปรตีนปานกลางถึงสูง (protein-rich legumes) และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยที่ Ade-Omowaye และคณะ [3] รายงานว่า ถั่วมะแฮเป็นพืชที่มีโปรตีนค่อนข้างสูง (18.8-24%) มีกรดอะมิโนที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายหลายชนิด ได้แก่ กรดอะมิโนลูซีน (leucine) ไทโรซีน (tyrosine) และอาร์จินีน (arginine) ปริมาณ 16.48, 14.77 และ 13.51 g/kg ตามลำดับ นอกจากนี้ ถั่วมะแฮเป็นพืชที่ปลูกได้อย่างกว้างขวางปรับตัวได้ดีในเขตแห้งแล้ง เจริญเติบโตได้ดีในดินแทบทุกชนิด ใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน โดยที่ ลำต้น ใบ และเมล็ด มีโปรตีนและคุณค่าทางอาหารสูง [4-5] และสามารถใช้เป็นปุ๋ยพืชสดเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ใช้ประโยชน์เพื่อเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยเฉพาะในการผลิตโคนม และโคนเนื้อ ทั้งในรูปแบบหญ้าหมัก (silage) และหญ้าแห้ง (hay) รวมถึงยังใช้สำหรับป้องกันการพังทลายของดินในพื้นที่ลาดชันอีกด้วย [6-7]

ถั่วมะแฮเป็นพืชรอง (Minor crop) ที่ปลูกมากในพื้นที่เขตร้อนและเขตกึ่งร้อน [8] ได้แก่ ประเทศอินเดีย เมียนมาร์ มาลาวี แทนซาเนีย และเคนยา โดยในปี พ.ศ. 2565 มีพื้นที่ปลูกมะแฮ 28.32, 2.68, 1.59, 1.11 และ

0.83 ล้านไร่ ตามลำดับ ผลผลิตประมาณ 119-265 กก./ไร่ [9] จากข้อมูลผลผลิตต่อพื้นที่ของถั่วมะแฮทั่วโลก พบว่า มีปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องมาจากระบบการผลิตที่ยังไม่เหมาะสม ปัญหาการระบาดของโรคและแมลงศัตรู ถึงแม้ว่า ถั่วมะแฮจะมีความสามารถในการทนทานต่อสภาพแล้งและการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้ค่อนข้างดี [10] แต่ปัจจัยของสภาพพื้นที่ในกระบวนการผลิต ทั้งสภาพแห้งแล้งหรือน้ำท่วมขัง ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ รวมถึงปัญหาของการขาดแคลนสายพันธุ์ที่เหมาะสม [8, 11] ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการผลิตถั่วมะแฮ รวมถึงส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหารของโลกอีกด้วย

การปรับปรุงพันธุ์ถั่วมะแฮโดยใช้เชื้อพันธุกรรมที่มีความหลากหลาย ได้แก่ สายพันธุ์ปรับปรุงที่ได้จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ พันธุ์พื้นเมือง และพืชป่าใกล้เคียงพืชปลูก (wild relatives) จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและเพิ่มปริมาณผลผลิตของถั่วมะแฮได้ [12-13] การประเมินความสามารถในการเจริญเติบโตในระยะกล้าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้า ซึ่งความเร็วในการงอกและการยืดตัวของต้นกล้าสามารถส่งผลต่อการให้ผลผลิตของพืช การยืดตัวของ hypocotyl และ epicotyl สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการงอกในสภาพแปลงปลูกและการเจริญเติบโตในระยะแรกของพืช นอกจากนี้ ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการตั้งตัวในระยะแรกได้ดี ส่งผลต่อการเจริญเติบโตในระยะต่อไปได้ [14-15] ถั่วมะแฮมีลักษณะการงอกแบบ epigeal ที่มีการยืดตัวของเซลล์บริเวณ hypocotyl และ epicotyl ของต้นกล้า การศึกษาความแปรปรวนทางพันธุกรรมของถั่วมะแฮส่วนใหญ่จะศึกษาลักษณะทางการเกษตรและองค์ประกอบผลผลิต เช่น ความสูงต้น จำนวนกิ่งต่อต้น จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก และผลผลิตต่อต้น เป็นต้น [16-20]

ถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกเป็นสายพันธุ์ที่ได้จากการคัดเลือกสายพันธุ์บริสุทธิ์จากสายพันธุ์คละ T9 ซึ่งเป็นสายพันธุ์พื้นเมืองที่มีความแปรปรวนของลักษณะการเจริญเติบโตและสัณฐานวิทยา ทั้งลักษณะสีเมล็ด สีฝัก และลวดลายฝัก เป็นต้น จากการประเมินความแปรปรวนทางสัณฐานวิทยาของถั่วมะแฮะสายพันธุ์คละ T9 พบว่า สามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มที่มีลักษณะการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตที่แตกต่างกัน โดยกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีจำนวน 81 และ 17 สายพันธุ์ ตามลำดับ [19] ทั้งนี้ การเจริญเติบโตในระยะแรกของต้นกล้าถั่วมะแฮะเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ถั่วมะแฮะมีการเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วและสามารถให้ผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทดลองนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแปรปรวนของลักษณะการงอก การเจริญเติบโตและสัณฐานวิทยาของต้นกล้าถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือก เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการคัดเลือกและใช้เป็นแหล่งพันธุ์กรรมสำหรับโครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วมะแฮะสำหรับส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การคัดเลือกสายพันธุ์บริสุทธิ์ของถั่วมะแฮะสายพันธุ์คละ T9

ถั่วมะแฮะสายพันธุ์คละ T9 เป็นถั่วมะแฮะพื้นเมืองที่มีความแปรปรวนทางสัณฐานวิทยาทั้งในลักษณะสีเมล็ด การมีลาย และการเจริญเติบโต ดำเนินการคัดเลือกสายพันธุ์บริสุทธิ์ของถั่วมะแฮะสายพันธุ์คละ T9 ด้วยวิธีการคัดเลือกแบบหนึ่งเมล็ดต่อต้น รอบการคัดเลือก 3 ครั้ง จำนวน 600 สายพันธุ์ ดำเนินการคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีความคงตัวทางพันธุกรรม และมีความแปรปรวนของลักษณะทางสัณฐานวิทยาต่ำ จำนวน 30 สายพันธุ์ เพื่อทดสอบความสามารถในการงอกและการเจริญเติบโตในระยะกล้า ณ สถานีวิจัยลำตะคอง อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา ดำเนินการทดลองในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565

2.2 การทดสอบการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือก

เพาะเมล็ดพันธุ์ถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือก T9 จำนวน 30 สายพันธุ์ ในกระถางขนาด 24 นิ้ว ใช้ทรายหยาบเป็นวัสดุในการทดสอบการงอกและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้า วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น ให้น้ำกรอง RO (reverse osmosis) 1 ครั้ง/วัน ครึ่งละ 100 มล. วางกระถางในโรงเรือนพลาสติก ไม่มีแสงสว่าง บันทึกรายการงอก ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของประชากรถั่วมะแฮะสายพันธุ์พื้นเมือง T9 สายพันธุ์คัดเลือกที่อายุ 5, 10 และ 30 วันหลังเพาะ โดยบันทึกข้อมูลการงอกครั้งแรก (first count) และครั้งสุดท้าย (final count) ที่อายุ 5 และ 10 วันหลังเพาะ ตามวิธีการประเมินความงอกของ ISTA [21] และสุ่มเก็บข้อมูลความสูงต้น ความยาว epicotyl ความยาว hypocotyl และความยาวราก จำนวน 3 ต้น/ซ้ำ บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตที่อายุ 30 วันหลังเพาะ ในลักษณะความสูงต้น ความยาว epicotyl ความยาว hypocotyl ความยาวราก จำนวนใบ ความยาวและความกว้างใบ จำนวนราก สีราก น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และดัชนีความเขียวใบ (SPAD index) สุ่มเก็บข้อมูลจำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ต้น

2.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS วิเคราะห์การจัดการกลุ่ม (Cluster analysis) จัดทำ dendrogram หรือ phylogenetic tree ด้วยวิธี UPGMA (Unweighted pair-group method with arithmetic average) ตามวิธีการของ Sokal and Michener [22] และวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis, PCA) [23] โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป OriginPro 2021

เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของลักษณะการงอกและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกจำนวน 30 สายพันธุ์ และวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation coefficients) ด้วยโปรแกรม SR Plot [24]

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ความแปรปรวนของความงอกครั้งแรกและความงอกสุดท้ายของถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือก

ความเร็วและความสม่ำเสมอในการงอกของเมล็ดพันธุ์และการเจริญเติบโตของต้นกล้าถั่วมะแฮะมีความสำคัญต่อสรีรวิทยาและระบบการผลิตถั่วมะแฮะที่อายุ 5 และ 10 วันหลังเพาะ การศึกษาความแปรปรวนของความงอกและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของถั่วมะแฮะ ผลการทดลอง พบว่า ความแปรปรวนของความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าถั่วมะแฮะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ในลักษณะความงอกครั้งแรก และความงอกครั้งสุดท้าย โดยถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกมีความงอกครั้งแรกมากที่สุด ได้แก่ P04, P10, P18, P27, P30, P34, P38, P68 และ P70 ความงอกครั้งแรกเฉลี่ย 41.22% ในส่วนของความงอกครั้งสุดท้าย พบว่า ถั่วมะแฮะสายพันธุ์ P04, P10, P18, P27, P34, P38, P68 และ P70 ความงอกครั้งสุดท้ายเฉลี่ย 59.67% ขณะที่ลักษณะความสูงต้น ความยาว epicotyl ความยาว hypocotyl และความยาวรากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกที่มีความสูงต้นกล้าที่อายุ 10 วันหลังเพาะ มากที่สุด ได้แก่ P04, P18, P20, P21, P26, P27, P29, P38, P68, P70, P80 และ P90 ความสูงต้นกล้าที่อายุ 10 วันหลังเพาะ เฉลี่ย 11.61 ซม. ลักษณะความยาว epicotyl และความยาว hypocotyl พบว่า สายพันธุ์ที่มี epicotyl และ hypocotyl ยาวที่สุด คือ P92 โดยมีความยาว epicotyl และความยาว hypocotyl เฉลี่ย 6.06 และ 5.78 ซม. ตามลำดับ ความยาวรากของถั่วมะแฮะ พบว่า

สายพันธุ์ส่วนมากมีรากค้อยข้างยาว ยกเว้นสายพันธุ์ P02, P04, P08, P20, P46, และ P55 มีรากสั้นกว่าสายพันธุ์อื่น โดยที่รากถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกยาวเฉลี่ย 15.77 ซม. (Table 1)

3.2 ความแปรปรวนของการเจริญเติบโตของต้นกล้าถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกที่อายุ 30 วันหลังเพาะ

การประเมินความแปรปรวนของลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้าถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกที่อายุ 30 วันหลังเพาะ พบว่า ลักษณะความสูงต้น ความยาว epicotyl ความยาวใบ และความกว้างใบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกที่มีความสูงต้นมากที่สุด ได้แก่ สายพันธุ์ P04, P26, P27, P29, P30, P34, P38, P68, P71 และ P80 มีค่าเฉลี่ย 24.14 ซม. สายพันธุ์ที่มี epicotyl ยาวที่สุด ได้แก่ สายพันธุ์ P04, P18, P26, P27, P29, P30, P34, P38, P57, P61, P66, P68, P70, P71, P80 และ P96 มีค่าเฉลี่ย 6.02 ซม. ลักษณะความยาวใบ พบว่า สายพันธุ์ถั่วมะแฮะที่มีใบยาวที่สุด ได้แก่ สายพันธุ์ P04, P18, P20, P21, P29, P32, P34, P38, P46, P55, P57, P61, P66, P68, P71, P80, P92 และ P99 มีค่าเฉลี่ย 4.64 ซม. โดยถั่วมะแฮะที่มีใบกว้างที่สุด ได้แก่ สายพันธุ์ P04, P29 และ P57 มีค่าเฉลี่ย 1.32 ซม. ขณะที่ลักษณะความยาว hypocotyl และจำนวนใบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยสายพันธุ์คัดเลือกที่มี hypocotyl ยาวที่สุด ได้แก่ สายพันธุ์ P04, P10, P20, P21, P26, P27, P29, P30, P32, P34, P38, P57, P61, P66, P68, P70, P71, P72, P80, P90 และ P96 มีค่าเฉลี่ย 5.16 ซม. โดยลักษณะจำนวนใบ พบว่า สายพันธุ์ที่มีใบในระยะต้นกล้ามากที่สุด ได้แก่ สายพันธุ์ P04, P11, P18, P26, P27, P29, P30, P34, P46, P55, P61, P66, P68, P70, P71, P72, P80, P90, P96, P99 และ P100 มีค่าเฉลี่ย 4.75 ใบ (Table 2)

Table 1 Germination and seedling growth of 30 selected pigeon pea lines during 5 and 10 days after germination

Selected lines code	Pedigree	First count		Final count			
		Germination (%)	Germination (%)	Height (cm.)	Epicotyl length (cm.)	Hhypocotyl length (cm.)	Root length (cm.)
P02	P02-1-1	3.33 ^l	33.33 ^{gh}	6.88 ^f	3.73 ^b	4.14 ^b	10.47 ^f
P04	P04-1-1	76.67 ^{abc}	90.00 ^{ab}	13.09 ^{abcde}	5.99 ^b	6.11 ^b	13.15 ^{cdef}
P08	P08-1-1	6.67 ^{kl}	43.33 ^{fgh}	6.86 ^f	4.66 ^b	3.81 ^b	12.38 ^{def}
P10	P10-6-1	86.67 ^a	96.67 ^a	11.52 ^{bcdef}	6.11 ^b	6.40 ^b	19.49 ^{ab}
P11	P11-3-1	10.00 ^{kl}	36.67 ^{gh}	8.99 ^{def}	5.18 ^b	4.96 ^b	17.83 ^{abcd}
P18	P18-3-1	66.67 ^{abc}	76.67 ^{abcd}	14.04 ^{abc}	7.07 ^b	5.79 ^b	19.80 ^a
P20	P20-3-1	13.33 ^{ijkl}	23.33 ^h	16.61 ^a	5.86 ^b	5.18 ^b	11.92 ^{ef}
P21	P21-2-1	13.33 ^{ijkl}	23.33 ^h	12.78 ^{abcde}	6.08 ^b	5.65 ^b	20.50 ^a
P26	P26-1-1	60.00 ^{bcde}	63.33 ^{cdef}	13.75 ^{abcd}	6.67 ^b	6.69 ^b	14.71 ^{abcdef}
P27	P27-2-1	83.33 ^{ab}	83.33 ^{abc}	12.97 ^{abcde}	6.42 ^b	5.78 ^b	16.60 ^{abcde}
P29	P29-1-1	33.33 ^{fghij}	56.67 ^{defg}	13.00 ^{abcde}	6.52 ^b	6.94 ^b	14.91 ^{abcdef}
P30	P30-3-1	63.33 ^{abcd}	63.33 ^{cdef}	11.57 ^{bcdef}	6.27 ^b	5.48 ^b	15.72 ^{abcdef}
P32	P32-4-1	10.00 ^{kl}	33.33 ^{gh}	11.23 ^{bcdef}	5.89 ^b	5.83 ^b	15.20 ^{abcdef}
P34	P34-1-1	63.33 ^{abcd}	76.67 ^{abcd}	11.53 ^{bcdef}	5.90 ^b	6.18 ^b	16.56 ^{abcde}
P38	P38-6-1	63.33 ^{abcd}	83.33 ^{abc}	12.70 ^{abcde}	6.45 ^b	5.82 ^b	14.97 ^{abcdef}
P46	P46-3-1	16.67 ^{hijkl}	43.33 ^{fgh}	8.67 ^{ef}	5.37 ^b	4.89 ^b	13.95 ^{bcdef}
P55	P55-1-1	40.00 ^{defgh}	63.33 ^{cdef}	10.43 ^{bcdef}	5.65 ^d	4.88 ^b	13.07 ^{cdef}
P57	P57-2-1	16.67 ^{hijkl}	43.33 ^{fgh}	9.42 ^{cdef}	5.32 ^b	4.68 ^b	16.21 ^{abcdef}
P61	P61-3-1	16.67 ^{hijkl}	53.33 ^{defg}	9.60 ^{cdef}	5.51 ^b	5.26 ^b	14.72 ^{abcdef}
P66	P66-1-1	40.00 ^{defgh}	56.67 ^{defg}	11.42 ^{bcdef}	5.94 ^b	5.94 ^b	15.55 ^{abcdef}
P68	P68-4-1	76.67 ^{abc}	86.67 ^{abc}	14.87 ^{ab}	6.41 ^b	6.20 ^b	15.29 ^{abcdef}
P70	P70-2-1	66.67 ^{abc}	90.00 ^{ab}	12.32 ^{abcde}	6.11 ^b	5.90 ^b	17.48 ^{abcde}
P71	P71-2-1	56.67 ^{cdef}	73.33 ^{abcde}	11.89 ^{bcde}	5.86 ^b	5.71 ^b	15.17 ^{abcdef}
P72	P72-2-1	16.67 ^{hijkl}	36.67 ^{gh}	10.61 ^{bcdef}	5.68 ^b	5.79 ^b	17.39 ^{abcde}
P80	P80-1-1	40.00 ^{defgh}	66.67 ^{bcdef}	11.98 ^{abcde}	6.26 ^b	5.52 ^b	18.38 ^{abc}
P90	P90-1-1	53.33 ^{cdefg}	63.33 ^{cdef}	12.93 ^{abcde}	5.39 ^b	6.30 ^b	18.21 ^{abcd}

Table 1 Germination and seedling growth of 30 selected pigeon pea lines during 5 and 10 days after germination (continued)

Selected lines code	Pedigree	First count		Final count			
		Germination (%)	Germination (%)	Height (cm.)	Epicotyl length (cm.)	Hypocotyl length (cm.)	Root length (cm.)
P92	P92-2-1	36.67 ^{efghi}	63.33 ^{cdef}	11.45 ^{bcdef}	11.38 ^a	10.71 ^a	15.27 ^{abcdef}
P96	P96-1-1	16.67 ^{hijkl}	43.33 ^{gh}	11.83 ^{bcde}	5.79 ^b	5.88 ^b	16.66 ^{abcdef}
P99	P99-5-1	60.00 ^{bcde}	73.33 ^{abcde}	11.88 ^{bcde}	6.18 ^b	5.75 ^b	16.69 ^{abcde}
P100	P100-3-1	30.00 ^{ghijk}	50.00 ^{efg}	11.39 ^{bcdef}	6.00 ^b	5.21 ^b	14.94 ^{abcdef}
Max		86.67	96.67	16.61	11.38	10.71	20.50
Min		3.33	23.33	6.86	3.73	3.81	10.47
Average		41.22	59.67	11.61	6.06	5.78	15.77
F-test		**	**	*	*	*	*
CV (%)		67.91	38.55	24.68	31.78	31.91	20.92

Values followed by the same letters within each column are not significantly different according to DMRT ($P < 0.05$),

* = significantly different ($P < 0.05$),

** highly significant different ($P < 0.01$) by DMRT.

Table 2 seedling growth characteristics of 30 selected pigeon pea lines during 30 days after germination

Selected lines code	Pedigree	Height (cm)	Epicotyl length (cm)	Hypocotyl length (cm)	Leaf number	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)
P02	P02-1-1	18.64 ^l	4.39 ^j	4.36 ^{ef}	3.70 ^{de}	4.31 ^{ghi}	1.12 ^h
P04	P04-1-1	28.42 ^a	6.69 ^{abcd}	5.27 ^{abcde}	4.15 ^{abcde}	5.12 ^{ab}	1.57 ^{ab}
P08	P08-1-1	19.18 ^{kl}	5.11 ^{ghi}	4.03 ^f	3.30 ^e	4.02 ^j	1.13 ^{gh}
P10	P10-6-1	22.27 ^j	6.00 ^{bcdefg}	5.50 ^{abcde}	4.37 ^{de}	4.35 ^{fghi}	1.19 ^{fgh}
P11	P11-3-1	22.78 ^{ghij}	5.90 ^{cdefg}	4.68 ^{cdef}	4.74 ^{abcde}	4.15 ^{hi}	1.24 ^{efgh}
P18	P18-3-1	24.02 ^{fghij}	6.65 ^{abcd}	4.43 ^{def}	4.74 ^{abcde}	4.90 ^{abcde}	1.45 ^{bcde}
P20	P20-3-1	24.10 ^{efghij}	5.78 ^{defgh}	5.21 ^{abcde}	4.59 ^{bcde}	4.71 ^{abcde}	1.31 ^{cdefgh}
P21	P21-2-1	23.67 ^{ghij}	5.96 ^{bcdefg}	5.19 ^{abcde}	4.26 ^{de}	4.64 ^{abcde}	1.28 ^{cdefgh}
P26	P26-1-1	25.60 ^{abcde}	6.24 ^{abcde}	5.43 ^{abcde}	4.70 ^{abcde}	4.58 ^{bcde}	1.30 ^{cdefgh}

Table 2 seedling growth characteristics of 30 selected pigeon pea lines during 30 days after germination (continued)

Selected lines code	Pedigree	Height (cm)	Epicotyl length (cm)	Hypocotyl length (cm)	Leaf number	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)
P27	P27-2-1	26.87 ^{abcdef}	6.64 ^{abcd}	5.57 ^{abcde}	5.07 ^{abcd}	4.45 ^{defghi}	1.31 ^{cdefgh}
P29	P29-1-1	27.01 ^{abcde}	6.88 ^{ab}	6.01 ^{ab}	5.00 ^{abcd}	5.16 ^a	1.75 ^a
P30	P30-3-1	25.66 ^{abcdefg}	6.20 ^{abcdef}	5.37 ^{abcde}	5.44 ^{abc}	4.49 ^{cdefghi}	1.12 ^h
P32	P32-4-1	23.75 ^{ghij}	5.98 ^{bcdefg}	5.03 ^{abcdef}	4.59 ^{bcde}	4.64 ^{abcdefgh}	1.39 ^{bcdef}
P34	P34-1-1	25.74 ^{abcdefg}	6.02 ^{abcdefg}	5.66 ^{abcde}	4.81 ^{abcde}	4.62 ^{abcdefgh}	1.27 ^{cdefgh}
P38	P38-6-1	25.66 ^{abcdefg}	6.82 ^{abc}	5.94 ^{abc}	4.59 ^{bcde}	5.04 ^{abc}	1.40 ^{bcdef}
P46	P46-3-1	24.45 ^{cdefghij}	5.92 ^{cdefg}	4.44 ^{def}	4.89 ^{abcd}	4.85 ^{abcdefg}	1.49 ^{bcd}
P55	P55-1-1	23.29 ^{ghij}	5.60 ^{efgh}	4.52 ^{def}	5.00 ^{abcd}	5.08 ^{ab}	1.28 ^{cdefgh}
P57	P57-2-1	23.84 ^{ghij}	6.23 ^{abcdef}	4.87 ^{abcdef}	4.63 ^{bcde}	4.66 ^{abcdefgh}	1.55 ^{abc}
P61	P61-3-1	25.31 ^{bcdefghi}	6.32 ^{abcde}	5.15 ^{abcdef}	4.89 ^{abcd}	4.92 ^{abcde}	1.43 ^{bcde}
P66	P66-1-1	24.22 ^{defghij}	6.03 ^{abcdefg}	6.05 ^a	4.67 ^{abcde}	4.66 ^{abcdefgh}	1.39 ^{bcdef}
P68	P68-4-1	27.07 ^{abcd}	6.03 ^{abcdefg}	5.68 ^{abcd}	5.48 ^{ab}	4.65 ^{abcdefgh}	1.28 ^{cdefgh}
P70	P70-2-1	24.39 ^{cdefghij}	6.30 ^{abcde}	5.54 ^{abcde}	4.67 ^{abcde}	4.48 ^{defghi}	1.09 ^h
P71	P71-2-1	27.24 ^{abc}	6.07 ^{abcdef}	5.41 ^{abcde}	5.56 ^a	4.97 ^{abcd}	1.37 ^{bcdefg}
P72	P72-2-1	21.43 ^{jk}	5.70 ^{efgh}	5.12 ^{abcdef}	4.89 ^{abcd}	4.33 ^{ghi}	1.30 ^{cdefgh}
P80	P80-1-1	27.41 ^{ab}	6.93 ^a	5.18 ^{abcdef}	5.33 ^{abc}	4.92 ^{abcde}	1.41 ^{bcdef}
P90	P90-1-1	23.53 ^{ghij}	5.35 ^{efgh}	5.68 ^{abcd}	5.07 ^{abcd}	4.39 ^{efghi}	1.22 ^{efgh}
P92	P92-2-1	22.62 ^{hij}	4.95 ^{hi}	4.62 ^{def}	4.56 ^{cde}	4.64 ^{abcdefgh}	1.24 ^{efgh}
P96	P96-1-1	21.71 ^{jk}	6.01 ^{abcdefg}	5.61 ^{abcde}	4.78 ^{abcde}	4.47 ^{defghi}	1.19 ^{fgh}
P99	P99-5-1	22.53 ^{ij}	5.83 ^{defg}	4.74 ^{bcdef}	4.81 ^{abcde}	4.77 ^{abcdefg}	1.22 ^{efgh}
P100	P100-3-1	21.71 ^{jk}	5.97 ^{bcdefg}	4.59 ^{def}	5.11 ^{abcd}	4.18 ^{hi}	1.32 ^{cdefgh}
Max		28.42	6.93	6.04	5.56	5.16	1.74
Min		18.64	4.39	4.03	3.30	4.02	1.09
Average		24.14	6.02	5.16	4.75	4.64	1.32
F-test		**	**	*	*	**	**
CV (%)		10.91	11.24	14.45	10.61	8.05	13.27

Values followed by the same letters within each column are not significantly different according to DMRT ($P < 0.05$),

* = significantly different ($P < 0.05$),

** highly significant different ($P < 0.01$) by DMRT.

ความแปรปรวนของลักษณะดัชนีความเขียวใบ (SPAD index) จำนวนราก ความยาวราก สีราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ของถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกที่อายุ 30 วันหลังเพาะ พบว่า จำนวนราก น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ลักษณะจำนวนราก พบว่า ถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกที่มีจำนวนรากมากที่สุด ได้แก่ สายพันธุ์ P38, P46, P61 และ P80 เฉลี่ย 6.40 ราก ขณะที่ น้ำหนักสดของต้นกล้าถั่วมะแฮะที่อายุ 30 วันหลังเพาะ พบว่า สายพันธุ์ที่มีน้ำหนักสดมากที่สุด ได้แก่ สายพันธุ์ P18, P26, P27, P29, P30, P34, P38, P46, P57, P61, P66, P68, P80, P92 และ P100 เฉลี่ย 3.94 ก. ส่วนน้ำหนักแห้งของถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกที่มากที่สุด ได้แก่ สายพันธุ์ P04, P26, P38, P46, P61, P66, P68, P71

และ P80 เฉลี่ย 1.25 ก. นอกจากนี้ ดัชนีความเขียวใบ (SPAD index) และความยาวรากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) พบว่า สายพันธุ์ที่มีดัชนีความเขียวใบ (SPAD index) มากที่สุด ได้แก่ สายพันธุ์ P02, P04, P08, P20, P21, P26, P27, P30, P32, P34, P38, P55, P57, P61, P68, P71, P90, P92, P96 และ P100 เฉลี่ย 33.77 หน่วย ถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกที่มีรากยาวที่สุด ได้แก่ สายพันธุ์ P02, P04, P08, P10, P18, P27, P29, P30, P32, P34, P38, P55, P57, P66, P71, P72, P80, P92 และ P99 เฉลี่ย 18.73 ซม. ลักษณะสีราก พบว่า ถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกมีสีราก 2 สี ได้แก่ สีน้ำตาล (57%) และสีน้ำตาลอ่อน (43%) (Table 3)

Table 3 SPAD index, root characteristics, fresh and dry weight of 30 selected pigeon pea lines during 30 days after germination

Selected lines code	Pedigree	SPAD index	Root number	Root length (cm.)	Root color	Fresh weight (g.)	Dry weight (g.)
P02	P02-1-1	33.30 ^{abcd}	5.67 ^{defgh}	21.25 ^{abc}	brown	1.81 ^h	0.74 ⁿ
P04	P04-1-1	39.73 ^a	7.45 ^{cde}	23.27 ^a	light brown	3.91 ^{bcde}	1.43 ^{abcde}
P08	P08-1-1	33.73 ^{abcd}	4.56 ^{gh}	20.41 ^{abcd}	brown	2.39 ^{gh}	0.75 ⁿ
P10	P10-6-1	32.90 ^{bcd}	4.00 ^h	18.49 ^{abcd}	brown	3.20 ^{defg}	0.98 ^{lmn}
P11	P11-3-1	31.83 ^{bcd}	5.22 ^{efgh}	16.73 ^{cd}	brown	3.04 ^{efg}	0.93 ^{mn}
P18	P18-3-1	32.30 ^{bcd}	4.67 ^{fgh}	18.79 ^{abcd}	brown	4.15 ^{abcd}	1.28 ^{defghijk}
P20	P20-3-1	33.63 ^{abcd}	6.00 ^{cdefgh}	15.92 ^{cd}	brown	2.69 ^{fgh}	1.00 ^{lm}
P21	P21-2-1	33.67 ^{abcd}	4.55 ^{gh}	16.12 ^{cd}	brown	3.10 ^{efg}	1.15 ^{ijklm}
P26	P26-1-1	35.87 ^{abc}	7.33 ^{cde}	17.38 ^{bcd}	brown	4.25 ^{abc}	1.47 ^{abcde}
P27	P27-2-1	34.00 ^{abcd}	6.55 ^{cdefgh}	22.18 ^{ab}	brown	4.27 ^{abc}	1.35 ^{bcdefghij}
P29	P29-1-1	30.60 ^{bcd}	5.11 ^{efgh}	19.75 ^{abcd}	light brown	4.15 ^{abcd}	1.31 ^{bcdefghijk}
P30	P30-3-1	33.40 ^{abcd}	7.22 ^{cdef}	20.68 ^{abcd}	brown	4.47 ^{abc}	1.30 ^{cdefghijk}
P32	P32-4-1	33.57 ^{abcd}	7.22 ^{cdef}	19.21 ^{abcd}	light brown	3.88 ^{bcde}	1.09 ^{ijklm}

Table 3 SPAD index, root characteristics, fresh and dry weight of 30 selected pigeon pea lines during 30 days after germination (continued)

Selected lines code	Pedigree	SPAD index	Root number	Root length (cm.)	Root color	Fresh weight (g.)	Dry weight (g.)
P34	P34-1-1	35.53 ^{abc}	6.33 ^{cdefgh}	20.32 ^{abcd}	light brown	4.37 ^{abc}	1.19 ^{fghijklm}
P38	P38-6-1	37.07 ^{ab}	9.89 ^{ab}	18.33 ^{abcd}	light brown	5.10 ^a	1.57 ^{ab}
P46	P46-3-1	29.93 ^{cd}	8.33 ^{abc}	16.60 ^{cd}	brown	4.80 ^{ab}	1.44 ^{abcdefg}
P55	P55-1-1	37.07 ^{ab}	6.55 ^{cdefgh}	18.49 ^{abcd}	light brown	3.88 ^{bcde}	1.15 ^{hijklm}
P57	P57-2-1	35.40 ^{abc}	7.67 ^{bcde}	18.57 ^{abcd}	light brown	4.48 ^{abc}	1.25 ^{efghijkl}
P61	P61-3-1	33.57 ^{abcd}	8.22 ^{abcd}	16.73 ^{cd}	light brown	4.99 ^a	1.45 ^{abcdef}
P66	P66-1-1	31.60 ^{bcd}	6.33 ^{cdefgh}	18.97 ^{abcd}	brown	4.74 ^{ab}	1.37 ^{abcdefghi}
P68	P68-4-1	35.40 ^{abc}	6.00 ^{cdefgh}	17.36 ^{bcd}	brown	4.24 ^{abc}	1.63 ^a
P70	P70-2-1	28.53 ^d	5.78 ^{cdefgh}	16.29 ^{cd}	brown	3.19 ^{defg}	1.17 ^{ghijklm}
P71	P71-2-1	34.83 ^{abcd}	5.22 ^{efgh}	21.07 ^{abc}	light brown	4.45 ^{abc}	1.55 ^{abcd}
P72	P72-2-1	31.90 ^{bcd}	6.67 ^{cdefg}	18.37 ^{abcd}	light brown	3.95 ^{bcde}	1.20 ^{efghijkl}
P80	P80-1-1	31.37 ^{bcd}	10.11 ^a	19.95 ^{abcd}	light brown	5.08 ^a	1.56 ^{abc}
P90	P90-1-1	36.87 ^{ab}	5.44 ^{efgh}	17.87 ^{bcd}	light brown	3.92 ^{bcde}	1.18 ^{fghijklm}
P92	P92-2-1	36.50 ^{abc}	5.67 ^{defgh}	19.29 ^{abcd}	brown	4.11 ^{abcd}	1.31 ^{bcddefghijk}
P96	P96-1-1	34.20 ^{abcd}	5.66 ^{defgh}	17.29 ^{cd}	brown	3.54 ^{cdef}	1.06 ^{klm}
P99	P99-5-1	31.77 ^{bcd}	5.78 ^{cdefgh}	20.53 ^{abcd}	brown	3.86 ^{bcde}	1.21 ^{efghijkl}
P100	P100-3-1	33.17 ^{abcd}	6.89 ^{cdefg}	15.57 ^d	light brown	4.31 ^{abc}	1.31 ^{bcddefghijk}
Max		39.73	10.11	23.27	Brown (57%)	5.10	1.63
Min		28.53	4.00	15.57	light brown (43%)	1.81	0.74
Average		33.77	6.40	18.73	-	3.94	1.25
F-test		*	**	*	-	**	**
CV (%)		10.73	27.97	15.59	-	22.47	20.23

Values followed by the same letters within each column are not significantly different according to DMRT ($P < 0.05$),

* = significantly different ($P < 0.05$),

** highly significant different ($P < 0.01$) by DMRT.

จากการวิเคราะห์การจัดกลุ่มและจัดทำ dendrogram หรือ phylogenetic tree ด้วยวิธี UPGMA โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Euclidean distance coefficient (Figure 1) ของถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือก จำนวน 30 สายพันธุ์ (Figure 1) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความต่างอยู่ในช่วง 1.00-25.00 สามารถแบ่งกลุ่มถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือก ออกเป็น 4 กลุ่มหลัก คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือก จำนวน 4 สายพันธุ์ กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือก จำนวน 23 สายพันธุ์ กลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือก จำนวน 1 สายพันธุ์ และกลุ่มที่ 4 ประกอบด้วยถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือก จำนวน 2 สายพันธุ์ ซึ่งจากข้อมูลค่าเฉลี่ยลักษณะการงอกและการเจริญเติบโตของถั่วมะแฮะในแต่ละกลุ่ม พบว่า กลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ย

ในลักษณะเปอร์เซ็นต์ความงอก ความสูงต้น ความยาว epicotyl ความยาว hypocotyl ความยาว ความกว้าง ใบ จำนวนราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (มีค่าเฉลี่ย 74.17, 27.13, 6.83, 5.60, 5.06, 8.14, 4.56 และ 1.47 ตามลำดับ) ขณะที่ลักษณะจำนวนใบ มีค่าเฉลี่ยใบมากที่สุดในกลุ่มที่ 2 (4.86 ใบ) ความยาวรากมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดในกลุ่มที่ 4 (20.83 ซม.) และค่าดัชนีความเขียวใบมีค่าเฉลี่ยมากสุดในถั่วมะแฮะกลุ่มที่ 3 (36.50)

ถั่วมะแฮะเป็นพืชรอนที่ปลูกมากในพื้นที่เขตร้อนและกึ่งร้อนชื้น โดยมีพื้นที่ปลูกมากในประเทศอินเดีย เมียนมาร์ มาลาวี แทนซาเนีย และเคนยา อย่างไรก็ตาม ถั่วมะแฮะมีผลผลิตเพียง 119-265 กก./ไร่ [9] ซึ่งถือว่ายังน้อยมากเมื่อเทียบกับผลผลิตพืชตระกูลถั่วเศรษฐกิจอื่น ปัจจัยที่ส่งผลต่อการให้ผลผลิตของถั่วมะแฮะ ได้แก่

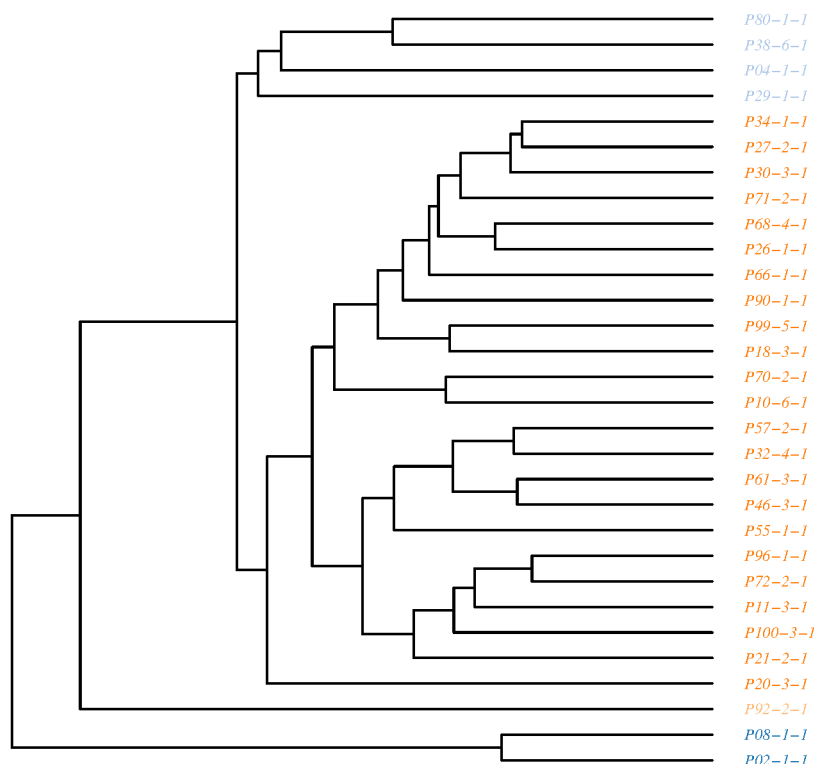


Figure 1 Phylogenetic tree manifesting the diversity among 30 pigeon pea selected lines based on Euclidean distance coefficient identified by seed germination and seedling morphological traits.

ระบบการผลิตที่ไม่เหมาะสม โรคและแมลงศัตรู ปัญหาภัยแล้ง น้ำท่วมขัง การระบายน้ำและความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ เป็นต้น [8, 11] การขาดแคลนสายพันธุ์ที่มีผลผลิตสูงและมีความเหมาะสมต่อพื้นที่ที่สามารถส่งผลต่อประสิทธิภาพของการผลิตถั่วมะแฮะ ในประเทศไทย ถั่วมะแฮะที่มีการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก ซึ่งสามารถเก็บผลผลิตได้อย่างน้อย 2 ปี เช่น พันธุ์ขอนแก่น และพันธุ์ ไอ.ซี.พี 7035 เป็นต้น [25] ขณะที่ Kaewsri และคณะ [19] พบว่า เชื้อพันธุ์กรรมถั่วมะแฮะสายพันธุ์พื้นเมือง T9 มีความแปรปรวนของลักษณะการเจริญเติบโตและสัณฐานวิทยาบางประการ ได้แก่ ลักษณะสีเมล็ด สีฝัก และลวดลายฝัก เป็นต้น เนื่องจากปลูกและขยายพันธุ์ในแปลงรวบรวมพันธุ์ร่วมกับสายพันธุ์อื่นจำนวน 8 สายพันธุ์ สอดคล้องกับ Choudhary [26] รายงานว่า ถั่วมะแฮะเป็นพืชผสมตัวเองที่มีอัตราการผสมข้ามโดยแมลงผสมเกสร 5-70% ส่งผลต่อความแปรปรวนทางพันธุกรรมและความบริสุทธิ์ของสายพันธุ์ โดยถั่วมะแฮะสายพันธุ์คละ T9 นี้สามารถใช้เป็นแหล่งพันธุ์กรรมในการคัดเลือกพันธุ์บริสุทธิ์ในการปรับปรุงพันธุ์ได้ ซึ่งหลังจากที่มีการคัดเลือกสายพันธุ์ถั่วมะแฮะสายพันธุ์คละ T9 จำนวน 3 รอบ พบว่า สามารถคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีความแปรปรวนต่ำของลักษณะสีและลายของเมล็ด จำนวน 30 สายพันธุ์

ถึงแม้ว่า ถั่วมะแฮะจะมีความสามารถในการทนทานต่อสภาพแล้งและการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้ค่อนข้างดี [10] อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการงอกและการเจริญเติบโตในระยะกล้าที่ดีของพืชเป็นจุดเริ่มต้นมีความสำคัญและส่งผลต่อการเจริญเติบโต การปรับตัวและการให้ผลผลิตของพืชได้ [14, 27] นอกจากนี้ Qin และคณะ [28] พบว่า การประเมินการยืดตัวของ epicotyl และ hypocotyl ของต้นกล้า สามารถช่วยในการพิจารณาความลึกของการปลูกเมล็ดพันธุ์พืชที่เหมาะสมได้ ดังนั้น การประเมินความแปรปรวนของถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกในระยะการงอกและระยะกล้าเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการคัดเลือกสายพันธุ์ถั่ว

มะแฮะที่มีศักยภาพในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ดีในอนาคตได้ ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า ถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกมีความแปรปรวนของลักษณะความงอกและการเจริญเติบโต โดยจากการจัดกลุ่มสายพันธุ์ถั่วมะแฮะโดยใช้ข้อมูลความงอกและการเจริญเติบโตในระยะกล้า พบว่า สามารถคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตในระยะกล้าได้ดี จำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ P80-1-1, P38-6-1, P04-1-1 และ P29-1-1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของลักษณะความงอก ความสูงต้น ความยาว epicotyl ความยาว hypocotyl ความยาว ความกว้างใบ จำนวนราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่าถั่วมะแฮะสายพันธุ์ในกลุ่มอื่น ๆ สามารถใช้เป็นสายพันธุ์ที่มีศักยภาพเพื่อประเมินการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตในโครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วมะแฮะต่อไป

3.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือก

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความงอกและลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้าถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกที่ได้จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ จำนวน 30 สายพันธุ์ ลักษณะความงอกและลักษณะการเจริญเติบโตในช่วงการทดสอบความงอกครั้งแรกและความงอกสุดท้ายที่อายุ 5 และ 10 วัน ตามลำดับ พบว่า ความงอกครั้งแรกมีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับความงอกครั้งสุดท้าย (0.938) และความสูงต้น (0.529) ขณะที่ลักษณะความยาว hypocotyl มีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับลักษณะความยาว epicotyl ของต้นกล้าถั่วมะแฮะ (0.915) (Table 4) ขณะที่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความงอกและลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้าถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือกที่อายุ 30 วันหลังเพาะ พบว่า ความงอกมีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับความสูงต้น (0.505) ความยาว epicotyl (0.429) และน้ำหนักแห้ง (0.469) ขณะที่ ความสูงต้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับความยาว epicotyl (0.775) ความยาว hypocotyl (0.590) จำนวนใบ (0.587) ความยาวใบ (0.676) ความกว้างใบ (0.544) น้ำ

หนักราก (0.651) และน้ำหนักแห้ง (0.796) ลักษณะความยาว epicotyl มีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับความยาว hypocotyl (0.514) จำนวนใบ (0.444) ความยาวใบ (0.540) ความกว้างใบ (0.590) จำนวนราก (0.425) น้ำหนักราก (0.622) และน้ำหนักแห้ง (0.632) ลักษณะความยาว hypocotyl มีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับน้ำหนักแห้ง (0.440) ลักษณะจำนวนใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับน้ำหนักสด (0.669) และน้ำหนักแห้ง (0.668) ลักษณะความยาวใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับความกว้างใบ (0.685) น้ำหนักราก (0.537) และน้ำหนักแห้ง (0.618) ลักษณะความกว้างใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับน้ำหนักสด (0.529) และน้ำหนักแห้ง (0.502) ลักษณะจำนวนรากมีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับน้ำหนักสด (0.659) และน้ำหนักแห้ง (0.577) และลักษณะน้ำหนักสดมีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับน้ำหนักแห้ง (0.875) (Table 5) ซึ่งจากข้อมูล พบว่า ลักษณะความสูงต้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับความงอกของเมล็ดถั่ว

มะแะ นอกจากนี้ ยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับลักษณะอื่น ๆ จึงสามารถใช้เป็นลักษณะในการคัดเลือกสายพันธุ์ถั่วมะแะที่มีการเจริญเติบโตที่ดีในระยะแรกได้

ขณะที่ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) โดยใช้ลักษณะการงอกและการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของถั่วมะแะสายพันธุ์คัดเลือก (Table 6, Figure 2) ผลการวิจัย พบว่า มีเพียง 3 องค์ประกอบหลัก (PC) เท่านั้นที่แสดงค่า Eigen value มากกว่า 1.0 ค่า และแสดงความแปรปรวนทั้งหมดประมาณ 69.68% โดยที่ องค์ประกอบที่ 1 มีค่า Eigen value 5.47 แสดงค่าความแปรปรวน 45.61% มีความสัมพันธ์กับลักษณะความสูงต้น (0.39) น้ำหนักราก (0.37) และน้ำหนักแห้ง (0.39) องค์ประกอบที่ 2 มีค่า Eigen value 1.56 แสดงค่าความแปรปรวน 13.06% มีความสัมพันธ์สูงกับลักษณะเปอร์เซ็นต์ความงอก (0.41) ค่า SPAD (0.52) และความยาวราก (0.63) ขณะที่ องค์ประกอบที่ 3 มีค่า Eigen value 1.32 แสดงค่าความแปรปรวน 11.00% มีความ

Table 4 Correlation coefficient of seed germination and seedling morphology of 30 selected pigeon pea lines during first count and final count germination

Correlations	Germination (first count)	Germination (final count)	Plant height (cm.)	Epicotyl length (cm.)	Hypocotyl length (cm.)	Root length (cm.)
Germination (first count)	1					
Germination (final count)	0.938**	1				
Plant height (cm)	0.529**	0.339	1			
Epicotyl length (cm)	0.312	0.304	0.404*	1		
Hypocotyl length (cm)	0.336	0.326	0.404*	0.915**	1	
Root length (cm)	0.298	0.226	0.262	0.222	0.231	1

** = Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed), * = Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed), Unless otherwise noted, bootstrap results are based on 1000 bootstrap samples.

Table 5 Correlation coefficient of seed germination and seedling morphology of 30 pigeon pea selected lines during seedling growth and development at 30 days after germination.

Correlations	Germination	Plant height (cm.)	Epicotyl length (cm.)	Hypocotyl length (cm.)	Leaf number	Leaf length (cm.)	Leaf width (cm.)	SPAD index	Root number	Root length (cm.)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
Germination	1											
Plant height (cm.)	0.505**	1										
Epicotyl length (cm.)	0.429**	0.775**	1									
Hypocotyl length (cm.)	0.388*	0.590**	0.514**	1								
Leaf number	0.278	0.587**	0.444**	0.405*	1							
Leaf length (cm.)	0.289	0.676**	0.540**	0.266	0.314*	1						
Leaf width (cm.)	-0.005	0.544**	0.590**	0.181	0.190	0.685**	1					
SPAD index	0.208	0.193	-0.094	0.083	-0.086	0.209	0.055	1				
Root number	0.056	0.412*	0.425**	0.118	0.280	0.392*	.354*	0.131	1			
Root length (cm.)	0.366*	0.224	0.045	0.017	-0.127	0.198	0.108	0.297	0.019	1		
Fresh weight (g)	0.359*	0.651**	0.622**	0.375*	0.669**	0.537**	.529**	0.100	.659**	0.030	1	
Dry weight (g)	0.469**	0.796**	0.632**	0.440**	0.668**	0.618**	.502**	0.174	.577**	0.029	.875**	1

** = Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed), * = Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed), Unless otherwise noted, bootstrap results are based on 1000 bootstrap samples

Table 6 Principal component analysis of 12 seed germination and seedling morphological traits of 30 selected pigeon pea lines. (GP = germination percentage, PH = plant height, EL = epicotyl length, HL = hypocotyl length, LN = leaf number, LL = leaf length, LW = leaf width, SPAD = SPAD value, RN = root number, RL = root length, FW = fresh weight and DW = dry weight)

Principal component	Eigenvalue	Total variance (%)		Eigenvector											
		Individual	Cumulative	GP	PH	EL	HL	LN	LL	LW	SPAD	RN	RL	FW	DW
1	5.47	45.61	45.61	0.22	0.39	0.35	0.24	0.28	0.32	0.27	0.07	0.25	0.07	0.37	0.39
2	1.57	13.06	58.68	0.41	0.10	-0.10	0.04	-0.26	0.10	-0.08	0.52	-0.16	0.63	-0.15	-0.06
3	1.32	11.00	69.68	-0.43	-0.09	-0.07	-0.45	-0.33	0.32	0.47	0.20	0.35	0.11	0.05	-0.02
4	0.97	8.10	77.78	0.01	-0.13	-0.35	-0.17	0.24	-0.22	-0.41	0.48	0.43	-0.15	0.27	0.23
5	0.73	6.11	83.89	-0.29	0.10	-0.07	0.49	-0.08	0.12	0.14	0.56	-0.24	-0.47	-0.17	-0.04
6	0.57	4.78	88.67	-0.01	-0.03	0.32	0.42	-0.50	-0.31	-0.12	-0.05	0.58	0.02	-0.04	-0.14
7	0.47	3.94	92.61	-0.56	0.08	-0.21	0.35	0.38	-0.20	0.05	-0.07	0.04	0.55	0.05	-0.10
8	0.31	2.59	95.20	0.04	-0.09	0.29	-0.17	-0.01	-0.69	0.43	0.24	-0.28	0.01	0.29	0.05
9	0.27	2.26	97.45	0.18	-0.47	-0.46	0.36	-0.26	0.10	0.23	-0.20	-0.11	0.03	0.43	0.20
10	0.16	1.32	98.77	0.11	-0.51	0.32	0.07	0.34	0.26	0.00	0.18	0.07	0.01	0.20	-0.60
11	0.10	0.79	99.57	0.39	0.07	-0.36	0.05	0.28	-0.18	0.50	-0.04	0.34	-0.12	-0.40	-0.22
12	0.05	0.43	100.00	-0.06	-0.55	0.26	0.07	0.17	0.02	0.05	0.06	0.05	0.13	-0.51	0.56

สัมพันธ์กับลักษณะความยาว hypocotyl (-0.45) และความกว้างใบ (0.47) ซึ่งจากข้อมูลการกระจายตัวของสายพันธุ์ถั่วมะแฮะจากภาพ 3-dimension Biplot พบว่า สายพันธุ์ P80, P38, P29 และ P04 มีความแตกต่างกับถั่วมะแฮะสายพันธุ์อื่น สามารถใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมในการปรับปรุงพันธุ์ได้ สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการจัดกลุ่มด้วย phylogenetic tree ตามวิธี UPGMA โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Euclidean

distance coefficient ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Gerrano และคณะ [29] ที่ประเมินเชื้อพันธุกรรมถั่ว cowpea (*Vigna unguiculata*) ในระยะการงอก โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก สามารถคัดเลือกถั่ว cowpea สายพันธุ์ TVU14196, IT845-2246, TVU11424, Tatromix, TVU7778 และ Kisumu Mix เพื่อใช้ในโครงการปรับปรุงพันธุ์

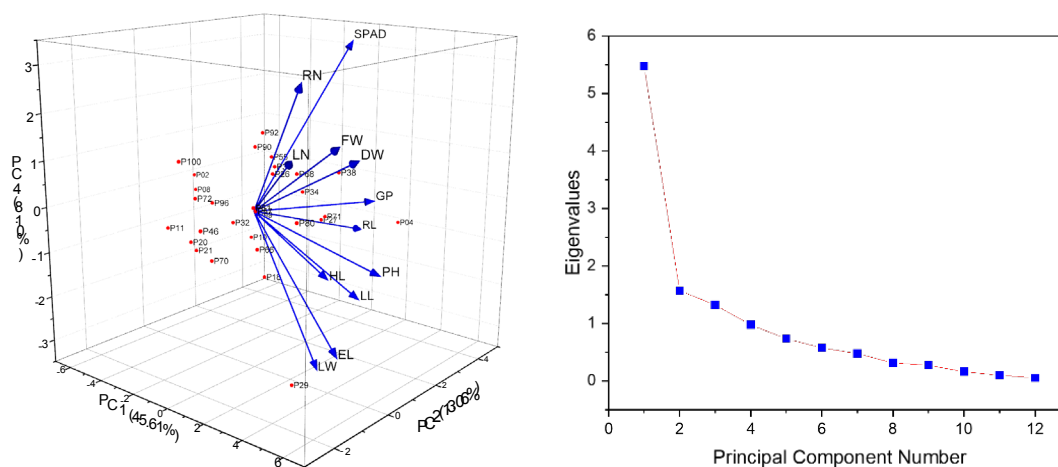


Figure 2 Three-dimension biplot and scree plot of principal component score describing the variation among 30 selected pigeon pea lines based on seed germination and seedling morphology. GP = germination percentage, PH = plant height, EL = epicotyl length, HL = hypocotyl length, LN = leaf number, LL = leaf length, LW = leaf width, SPAD = SPAD value, RN = root number, RL = root length, FW = fresh weight and DW = dry weight)

5. สรุป

การประเมินความสามารถในการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าของถั่วมะแฮะสายพันธุ์คัดเลือก จำนวน 30 สายพันธุ์ พบว่า สายพันธุ์ P80-1-1, P38-6-1, P04-1-1 และ P29-1-1 มีความสามารถในการเจริญเติบโตในระยะต้นกล้าได้ดีกว่าสายพันธุ์อื่นๆ จึงเหมาะสำหรับการนำไปประเมินศักยภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตร่วมกับสายพันธุ์อื่นในโครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วมะแฮะต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานโครงการวิจัยภายใต้งบประมาณโครงการวิจัยมูลฐาน (Fundamental Fund) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 และขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือ สารเคมี ตลอดจนโรงเรือนที่ใช้ในการทดลองและห้องปฏิบัติการฯ รวมถึงขอขอบคุณนักวิจัยและผู้ช่วยวิจัยสถานีวิจัยลำตะคองที่อำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการดำเนินการทดลองในครั้งนี้

7. References

- [1] Kasikorn Research Center. 2022. Plant-based protein. Available Source: https://kasikornresearch.com/th/analysis/k-social-media/Pages/20190604_00.aspx, December 10, 2022.
- [2] Karri, V.R. and N. Nalluri. 2017. Pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) by-products as potent natural resource to produce protein rich edible food products. *IJCAS* 7(7): 229-236.
- [3] Ade-Omowaye, B., G. Tucker and I. Smetanska. 2015. Nutritional potential of nine under exploited legumes in Southwest Nigeria. *Int. Food. Res. J.* 22: 798.
- [4] Sheahan, C.M. 2012. Plant Guide for Pigeon Pea (*Cajanus cajan*). USDA-Natural Resources Conservation Service, Cape May Plant Materials Center. Cape May, NJ. 08210.
- [5] Saxena, K.B., R. Sultana, P. Bhatnagar-Mathur, R.K. Saxena, Y.S. Chauhan, R.V. Kumar, I.P. Singh, R.S. Raju and A.N. Tikle. 2016. Accomplishments and challenges of pigeonpea breeding research in India. *Indian J. Genet.* 76(4): 467-482.
- [6] Kaewkunya, C., P. Pasartchai and A. Oupaphong. 2012. The potential of tropical legumes for provide good quality forage and lateritic soil improvement. *Agricultural Sci. J.* 43(Suppl. 2): 585-588.
- [7] Upadhyaya, H.D., K.N. Reddy, S. Sharma, R.K. Varshney, R. Bhattacharjee, S. Singh and C.L.L. Gowda. 2011. Pigeonpea composite collection and identification of germplasm for use in crop improvement programs. *Plant Genet. Resour.* 9(1): 97-108.
- [8] Saxena, K. B., Choudhary, A. K., Saxena, R. K., & Varshney, R. K. 2018. Breeding pigeon pea cultivars for intercropping - Synthesis and strategies. *Breed. Sci.* 68: 159-167.

- [9] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2021. Statistics Pigeon Producing Countries. Production and Area Harvested, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- [10] Saxena, K.B. and S.L. Sawargaonkar. 2015. Genetic enhancement of seed proteins in pigeonpea-methodologies, accomplishments, and opportunities. *IJSR* 1(5): 3-7.
- [11] Ayenan, M.A.T., K. Ofori, L.E. Ahoton and A. Danquah. 2017. Pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] production system, farmers' preferred traits and implications for variety development and introduction in Benin. *Agric. & Food Secur.* 6(48): 1-11.
- [12] Yohane, E.N., H. Shimelis, M. Laing, I. Mathew and A. Shayanowako. 2020. Phenotypic divergence analysis in Pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh] germplasm accessions. *Agronomy* 10: 1-18.
- [13] Wanjari, K.B., R.S. Raje, K. Durgesh, G.R. Prashat and R. Joshi. 2016. Pigeonpea improvement through conventional breeding. *Indian J. Genet.* 76(4): 483-495.
- [14] Norman, P.E., A. Danquah, A. Asfaw, P.B. Tongoona, E.Y. Danquah and R. Asiedu. 2021. Seed Viability, Seedling Growth and Yield in White Guinea Yam. *Agronomy* 11(2): 1-10.
- [15] Reed, R.C., K.J. Bradford and I. Khanday. 2022. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity* 128: 450-459.
- [16] Rangare, N.R., G.E. Reddy and S.R. Kumar. 2013. Study of heritability, genetic advance and variability for yield contributing characters in pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millspaugh). *Trends Biosci.* 6 (5): 660-662.
- [17] Sharma, R., R.K. Gangwar and V. Yadav. 2014. A Study on genetic variability and correlation in pigeon pea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]. *Int. J. Sci. Res.* 3(9): 826-828.
- [18] Pushpavalli S.N.C.V.L., K.N. Yamini, Anuradha, Rajani, G. Kumar, C.S. Rani, C. Sudhakar, R.K. Saxena, R.K. Varshney and C.V.S. Kumar. 2018. Genetic variability and correlation in pigeon pea genotypes. *Electron. J. Plant Breed.* 9(1): 343-349.
- [19] Kaewsri, P., T. Pinsanthie, P. Pratubkong, J. Mungngam, P. Nitmee, B. Pensuriya, S. Wongsatchanan, R. Jindajia and J. Sreesaeng. 2020. Morphological and Agricultural Characteristic Variability of T9 Pigeon Pea Native Lines. *Agricultural Sci. J.* 51(3): 221-231.
- [20] Simion, T., D. Ersulo and A. Fikre. 2022. Performance evaluation of pigeon pea (*Cajanus cajan* L. Millsp.) variety for registration in the lowland areas of Ethiopia. *Adv. Agric. ID* 7013602: 1-7.
- [21] ISTA. 2014. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
- [22] Sokal, R.R. and Michener, C.D. 1958. A statistical method for evaluating

- relationships. University of Kansas Science Bulletin. 38: 1409-1448.
- [23] Jolliffe, I.T. 2002. Principal Component Analysis, second edition, New York: Springer-Verlag New York, Inc., USA. 500 pp.
- [24] Bioinformatics. 2023. SR plot. Available: http://bioinformatics.com.cn/plot_basic_corrplot_correlation_plot_082_en., January 29, 2023.
- [25] DOA. 2020. Pigeon pea. Available source: <https://www.doa.go.th/cv/view.php?id=204>, December 20, 2020.
- [26] Choudhary, A.K. 2011. Effects of pollination control in pigeonpea and their implication. J. Food Legumes 24(1): 50-53.
- [27] Tsegaye, M., B. Lema and A. Hido. 2021. Seedling performance of different provenances of selected indigenous tree species in Debub Ari District, Southern Ethiopia. Global J. Environ. Sci. 6(2): 38-43.
- [28] Qin, F., H. Xu, D. Lü and T. Takano. 2012. Responses of hypocotyl elongation to light and sowing depth in peanut seedlings. J. Food Agric. Environ. 10(2): 607-612.
- [29] Gerrano, A.S., W.S. Jansen van Rensburg and P.O. Adebola. 2017. Preliminary evaluation of seed and germination traits in cowpea (*Vigna unguiculata*) genotypes. S. Afr. J. Plant Soil. 34(5): 399-402.