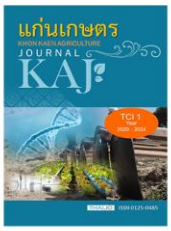
วารสารแก่นเกษตร
THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj



อิทธิพลของการกระทบแล้งและวิธีการขยายพันธุ์ต่อลักษณะการเจริญเติบโตของกาแฟโรบัสต้า

Effect of drought stress and propagation methods on growth traits of robusta coffee

ประกายมาส รุ่นประพันธ์[1], คัทลียา ฉัตร์เที่ยง[1]*, จิราพร เชื้อกูล[1], พรชัย ไพบูลย์[2,3] และ อนุรักษ์ อรัญญนาค[1]

Prakaimas Roonprapant[1], Cattleya Chutteang[1]*, Jiraporn Chaugool[1], Pornchai Paiboon[2,3] and Anuruck Arunyanark[1]

[1] *ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140*
[1] *Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140*
[2] *ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140*
[2] *Center for Agricultural Biotechnology, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140*
[3] *ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10900*
[3] *Center of Excellence on Agricultural Biotechnology: (AG-BIO/PERDO-CHE), Bangkok 10900*

บทคัดย่อ: ความแห้งแล้งเป็นปัญหาที่สำคัญต่อการผลิตกาแฟโรบัสต้า แต่ข้อมูลการตอบสนองต่อความแห้งแล้งของพันธุ์กาแฟโรบัสต้าที่ปลูกในประเทศไทยยังมีจำกัด การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการกระทบแล้งและความแปรปรวนของพันธุ์ต่อการเจริญเติบโตของกาแฟ ประเมินอิทธิพลของวิธีการขยายพันธุ์ต่อความสามารถในการทนแล้งของกาแฟ และหาความสัมพันธ์ระหว่างความทนแล้งกับลักษณะการเจริญเติบโตของกาแฟ โดยทดสอบพันธุ์กาแฟโรบัสต้าที่ขยายพันธุ์ด้วยวิธีต่าง ๆ รวม 6 ประเภท ดังนี้ 1) กาแฟพันธุ์ FRT141 จากการเพาะเมล็ด 2) กาแฟพันธุ์ FRT141 จากกิ่งปักชำ 3) กาแฟพันธุ์ SC05 จากการเสียบยอด 4) กาแฟพันธุ์ SC05 จากกิ่งปักชำ 5) กาแฟพันธุ์ PP01 จากการเสียบยอด และ 6) กาแฟพันธุ์ PP01 จากกิ่งปักชำ เปรียบเทียบระหว่างสภาพปรกติและสภาพความแห้งแล้ง เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและน้ำหนักแห้งของกาแฟ พบว่า การกระทบแล้งส่งผลให้จำนวนใบ พื้นที่ใบ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และน้ำหนักแห้งรวมลดลง แต่มีอัตราส่วนรากต่อยอดเพิ่มขึ้น วิธีการขยายพันธุ์ด้วยการเสียบยอดกาแฟบนต้นตอพันธุ์ทนแล้ง สามารถช่วยให้กาแฟมีการเจริญเติบโตดีขึ้นและช่วยเพิ่มความสามารถในการทนแล้ง กาแฟโรบัสต้ามีความสามารถในการทนแล้งแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ โดยกาแฟพันธุ์ FRT141 จากการเพาะเมล็ดมีความทนทานต่อความแห้งแล้งสูงที่สุด และพบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งรวมกับความสูงต้น (r=0.83**) ความกว้างทรงพุ่ม (r=0.87**) พื้นที่ใบ (r=-0.72**) และน้ำหนักแห้งราก (r=0.73**) ภายใต้สภาพความแห้งแล้ง แสดงว่าลักษณะเหล่านี้เกี่ยวข้องกับความทนทานต่อความแห้งแล้งของกาแฟโรบัสต้า

คำสำคัญ: กาแฟโรบัสต้า; วิธีการเสียบยอด; น้ำหนักแห้ง; การเจริญเติบโตของราก; ความทนแล้ง

ABSTRACT: Drought has become a serious problem for robusta coffee production. Information about the existing variability among the coffee varieties in Thailand was limited. The objectives of this study were to understand the effect of drought stress and genotypes variation on growth traits, assess the effect of propagation methods to drought

* Corresponding author: agrcyc@ku.ac.th

Received: date; February 15, 2021 Accepted: date; August 27, 2021 Published: date; March 7, 2022

tolerance, and evaluate relationships between drought tolerance and growth traits of robusta coffee. Total 6 types of robusta coffee, difference with genotypes and propagation methods (FRT141 from seedling, FRT141 from cutting, SC05 from grafting, SC05 from cutting, PP01 from grafting and PP01 from cutting), were evaluated under control and drought stress conditions. Growth traits and dry weight of coffee were measured. Drought stress significantly reduced number of leaf, leaf area, stem diameter and dry weight but significantly increased root/shoot ratio in coffee. Top grafting method between shoot of desired plant genotype onto rootstock of drought tolerant genotype can increased growth and drought tolerance of coffee. There were significant differences among genotypes for drought tolerance of robusta coffee. FRT141 from seed propagation had the highest tolerance to drought stress. The correlation coefficients between total dry weight with plant height (r = 83**), canopy width (r = 87**), leaf area (r = -72**) and root dry weight (r = 73**) were highly significant under drought stress condition. This finding suggested that these traits related to drought tolerance of robusta coffee.

Keywords: *Coffea canephora*; grafting method; dry weight; root growth; drought tolerance

บทนำ

กาแฟ (coffee) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีมูลค่าสูงมากในตลาดโลก และเป็นสินค้าเกษตรสำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในการค้าสินค้าเกษตรระหว่างประเทศ สำหรับประเทศไทย ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (ปี 2558 – 2562) พื้นที่ปลูกกาแฟลดลงเหลือประมาณ 230,000 ไร่ ผลผลิตรวมเฉลี่ย 24,614 ตันต่อปี ในขณะที่ปริมาณความต้องการใช้เมล็ดกาแฟของไทยอยู่ที่ 81,417 ตันต่อปี ความต้องการใช้เมล็ดกาแฟของโรงงานแปรรูปเพิ่มขึ้น ทำให้ผลผลิตไม่เพียงพอกับความต้องการบริโภค ต้องมีการนำเข้าเมล็ดกาแฟจากต่างประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) กาแฟถูกปลูกอย่างแพร่หลายในพื้นที่เขตร้อนทั่วโลกมากกว่า 100 ชนิด แต่ชนิดที่นิยมบริโภคหรือมีความสำคัญทางเศรษฐกิจมี 2 ชนิด คือ อะราบิก้า (Arabica: *Coffea arabica*) และโรบัสต้า (Robusta: *Coffea canephora*) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 99 ของการผลิตกาแฟทั่วโลก (Silva et al., 2013) โดยประเทศไทยส่วนใหญ่ผลิตกาแฟโรบัสต้า ซึ่งปลูกมากทางภาคใต้ของประเทศโดยเฉพาะจังหวัดชุมพรและระนองซึ่งมีพื้นที่ปลูกกาแฟโรบัสต้ามากที่สุด และมีผลผลิตกาแฟมากถึงร้อยละ 75 ของประเทศ อย่างไรก็ตาม พื้นที่ปลูกกาแฟส่วนใหญ่อยู่นอกเขตชลประทาน เกษตรกรต้องอาศัยน้ำฝนตามฤดูกาลในการเพาะปลูก (กรมวิชาการเกษตร, 2562)

ปัจจุบันผลผลิตของกาแฟโรบัสต้าในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการของโรงงานแปรรูป เนื่องจากสายพันธุ์กาแฟโรบัสต้าที่เกษตรกรปลูกไม่ได้ผ่านการคัดเลือกพันธุ์ ทำให้ผลผลิตมีความแปรปรวน ปริมาณผลผลิตไม่สม่ำเสมอ และศักยภาพด้านการให้ผลผลิตต่ำ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) นอกจากนี้ สภาวะความแห้งแล้งและความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศที่ยิ่งทวีความรุนแรงและเกิดบ่อยครั้งมากขึ้น ทำให้มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกาแฟโรบัสต้า (DaMatta et al., 2010; DaMatta et al., 2018) โดยสภาพดินขาดน้ำชักนำให้ปากใบของต้นกาแฟปิดแคบลงทำให้มีอัตราการคายน้ำและการสังเคราะห์แสงลดลง (DaMatta and Ramalho, 2006; Roonprapant et al., 2021) และส่งผลให้ต้นกาแฟมีการเจริญเติบโตของลดลง (Dias et al., 2007) สภาวะความแห้งแล้งยังส่งผลกระทบต่อเกษตรกรผู้ปลูกกาแฟในประเทศไทยอย่างมาก ในปี พ.ศ. 2556 ถึง 2557 ได้เกิดสภาวะแห้งแล้งขึ้นในจังหวัดชุมพร ทำให้ต้นกาแฟยืนต้นตายกว่า 5,000 ไร่ มูลค่าความเสียหายมากกว่า 100 ล้านบาท (สำนักข่าวไทย, 2557) แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาผลกระทบของความแห้งแล้งคือการปลูกกาแฟโรบัสต้าพันธุ์ที่มีความทนทานต่อสภาพความแห้งแล้ง เพื่อลดปัญหายืนต้นตายและเพิ่มผลผลิตกาแฟที่ยั่งยืนและมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันยังขาดพันธุ์กาแฟโรบัสต้าทนแล้งที่เหมาะสมสำหรับส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก

วิธีการขยายพันธุ์อาจช่วยเพิ่มความทนแล้งให้กับต้นกาแฟมากขึ้น โดยกาแฟสามารถขยายพันธุ์ได้หลายวิธี ได้แก่ การเพาะเมล็ด (seeding) การต่อกิ่งหรือเสียบยอด (grafting) และการปักชำ (stem cutting) (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2557) การขยายพันธุ์ด้วยการเพาะเมล็ดจะทำให้ได้ต้นที่มีระบบรากที่แข็งแรงเนื่องจากมีรากแก้ว แต่ต้นกาแฟจะใช้เวลาในการเจริญเติบโตนานและกลายพันธุ์ได้ง่ายจากการผสมข้าม การปักชำเป็นวิธีที่ง่ายเป็นที่นิยม แต่ต้นกล้าจะไม่มีรากแก้ว และวิธีการเสียบยอด เป็นการเสียบยอด (scion) ของต้นกาแฟพันธุ์ดีบนต้นตอ (rootstock) ที่มีระบบรากแข็งแรง เพื่อทำให้ต้นกาแฟพันธุ์ดีมีระบบรากที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมมากขึ้น โดยวิธีการเสียบยอดได้มีการนำไปใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับพืชพันธุ์ดีหลายชนิด เช่น องุ่น มะม่วง ฝรั่ง เป็นต้น (จิรา, 2551) ต้นกาแฟโรบัสต้าที่มาจากการ

ขยายพันธุ์ด้วยวิธีที่แตกต่างกันจะมีระบบรากที่แตกต่างกัน ซึ่งลักษณะความแข็งแรงของรากเป็นกลไกที่สำคัญต่อควา มทนแล้งของพืช (Brunner et al., 2015; Wasaya et al., 2018) ดังนั้น วิธีการขยายพันธุ์ที่เหมาะสมจึงอาจทำให้กาแฟโรบัสต้ามีความทนแล้งมากขึ้น

การศึกษาการตอบสนองของกาแฟโรบัสต้าพันธุ์ต่าง ๆ ที่ปลูกในประเทศไทยและวิธีการขยายพันธุ์ที่แตกต่างกันภายใต้สภาวะการกระทบแล้งสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาพันธุ์กาแฟโรบัสต้าทนแล้ง และสามารถเลือกใช้วิธีการขยายพันธุ์ที่เหมาะสมเพื่อนำไปสู่การขยายพื้นที่ปลูกกาแฟพันธุ์ดีไปยังพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อความแห้งแล้ง ช่วยเพิ่มศักยภาพการผลิตกาแฟโรบัสต้าของประเทศไทย การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการกระทบแล้งและความแปรปรวนของพันธุ์ต่อการเจริญเติบโตของกาแฟโรบัสต้า ประเมินอิทธิพลของวิธีการขยายพันธุ์ต่อความสามารถในการทนแล้งของกาแฟโรบัสต้า และหาความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานต่อความแห้งแล้งกับลักษณะการเจริญเติบโตของกาแฟโรบัสต้า

วิธีการศึกษา

ทดสอบพันธุ์กาแฟโรบัสต้าด้วยสภาพการปลูกในกระถางที่โรงเรือนทดลองของศูนย์วิจัยพืชผักเขตร้อน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ในช่วงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2560 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ด้วยแผนการทดลองแบบ Split plot in randomized complete block design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ โดย ปัจจัยหลัก (Main plot) คือ ปริมาณการให้น้ำ 2 ระดับ ได้แก่ สภาพปรกติ (control) ให้น้ำเต็มที่ตลอดการทดลอง และสภาพความแห้งแล้ง (drought stress) และปัจจัยรอง (Sub plot) คือ กาแฟโรบัสต้าพันธุ์ต่าง ๆ ที่มีวิธีขยายพันธุ์แตกต่างกัน รวม 6 ประเภท โดยในการทดลองนี้ใช้ต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าจากจังหวัดชุมพร 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ FRT141 เป็นพันธุ์กาแฟที่ปรับปรุงพันธุ์โดยบริษัท เนสเล่ ประเทศฝรั่งเศส ได้รับการทดสอบแล้วว่ามีศักยภาพของรากดีและมีความสามารถทนแล้ง ซึ่งได้ถูกใช้เป็นต้นตอพันธุ์ทนแล้งในการทดลองนี้ และกาแฟลูกผสมในประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์ SC05 และ PP01 ซึ่งเป็นพันธุ์คัดเลือกที่ให้ผลผลิตสูงและคุณภาพดีมีศักยภาพในประเทศไทย โดยต้นกาแฟทั้ง 6 ประเภท ประกอบด้วย 1) กาแฟพันธุ์ทนแล้ง FRT141 จากการเพาะเมล็ด 2) กาแฟพันธุ์ทนแล้ง FRT141 จากกิ่งปักชำ 3) กาแฟพันธุ์ SC05 จากการเสียบยอดบนต้นตอพันธุ์ทนแล้ง 4) กาแฟพันธุ์ SC05 จากกิ่งปักชำ 5) กาแฟพันธุ์ PP01 จากการเสียบยอดบนต้นตอพันธุ์ทนแล้ง และ 6) กาแฟพันธุ์ PP01 จากกิ่งปักชำ โดยกาแฟต้นตอที่ใช้ในการเสียบยอดเตรียมจากต้นกาแฟพันธุ์ FRT141 ที่เพาะจากเมล็ดจึงมีรากแก้ว ดังนั้น ต้นกาแฟที่ได้จากการเสียบยอดจึงเป็นต้นที่มีระบบรากแก้วด้วย

เตรียมต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าโดยศูนย์วิจัยกาแฟของบริษัท เนสท์เล่ (ไทย) จำกัด อำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร เมื่อต้นกล้าอายุต้น 6 เดือน จึงนำมาปลูกเลี้ยงในโรงเรือนของศูนย์วิจัยพืชผักเขตร้อน โดยย้ายต้นกล้ามาลงปลูกในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 นิ้ว ที่มีดินผสม คือ ดิน ทราย แกลบดิบ และปุ๋ยคอก อัตราส่วน 3:1:1:1 ตามลำดับ เป็นเวลา 10 เดือนเพื่อให้กาแฟปรับตัวกับสภาพอากาศภายในโรงเรือน โดยวางกระถางปลูกให้มีระยะห่างระหว่างต้นและแถวเท่ากับ 1×1 ม. และดูแลรดน้ำและใส่ปุ๋ยให้ต้นกาแฟอยู่ในสภาพสมบูรณ์ เมื่อต้นกาแฟมีอายุ 16 เดือน จึงคัดต้นกาแฟที่มีสภาพสมบูรณ์และสม่ำเสมอมาทำการศึกษา ให้น้ำแบบระบบน้ำหยดเพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่ให้ โดยในสภาพปรกติให้น้ำเต็มที่ตลอดการทดลอง โดยคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำที่พืชใช้ ซึ่งก่อนเริ่มทำการทดลองได้ทำการหาปริมาณการใช้น้ำของต้นกาแฟจากการชั่งน้ำหนักน้ำที่พืชใช้ในแต่ละวัน และสภาพขาดน้ำถูกกำหนดโดยลดปริมาณน้ำที่ให้เป็น 75, 50 และ 25 % ตามลำดับ ซึ่งแต่ละระดับใช้เวลา 2 สัปดาห์ จากนั้นงดน้ำโดยไม่ให้น้ำแก่พืชเลย คือ 0 % เป็นเวลาต่ออีก 1 สัปดาห์ รวมเป็นระยะเวลาหลังลดระดับการให้น้ำ 7 สัปดาห์ จึงเก็บข้อมูลต้นกาแฟหลังการกระทบแล้ง จากนั้นจึงกลับมาให้น้ำระดับปรกติเพื่อดูการฟื้นตัวอีก 2 สัปดาห์ แล้วจึงเก็บข้อมูลต้นกาแฟหลังการฟื้นตัว

สภาพอากาศในโรงเรือนทดลองในช่วงที่ทำการทดลองมีความเข้มแสงสูงสุดอยู่ระหว่าง 124.0 ถึง 522.0 µmol/ m^2s อุณหภูมิเฉลี่ย 25.9 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 74.1 % สำหรับปริมาณน้ำในดินในรูปของพลังงานศักย์ของน้ำในดินทำการติดตั้งหัววัดความชื้นดิน (watermark soil moisture sensor, Spectrum Technologies Inc., USA) ในดินของกระถางปลูก ที่ระดับความลึก 30 ซม. บริเวณกึ่งกลางทรงพุ่มระหว่างต้นถึงขอบกระถาง และหัววัดทั้งหมดต่อเข้ากับกล่องควบคุม (data logger รุ่น watchdog 1000 Series บริษัท Spectrum Technologies, USA) กำหนดให้อ่านและบันทึกค่าทุก 15 นาที โดยในสภาพปรกติมีค่า

พลังงานศักย์ของน้ำในดินเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ -3.83±0.97 kPa ในสภาพความแห้งแล้ง ค่าพลังงานศักย์ของน้ำในดินเฉลี่ยลดจาก -5.57± kPa ในช่วงก่อนงดน้ำเหลือ -1.34±0.58, -5.96±1.80, -9.50±2.48, -11.24±2.97, -34.32±2.86, -48.81±2.11 และ -123.49±17.49 kPa เมื่อลดการให้น้ำในสัปดาห์ที่ 1 ถึง 7 หลังกระทบแล้ง ตามลำดับ หลังจากนั้นเมื่อกลับมาให้น้ำในปริมาณปรกติเพื่อดูการฟื้นตัว พบว่าดินมีพลังงานศักย์ของน้ำในดินเพิ่มขึ้นเป็น -2.36±1.13 และ -0.05±0.02 kPa ในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 หลังการฟื้นตัวตามลำดับ

เก็บข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโตและน้ำหนักชีวมวลของต้นกาแฟที่อายุหลังกระทบแล้งและหลังการฟื้นตัว โดยในแต่ละอายุทำการสุ่มต้นกาแฟ 1 ต้นจากแต่ละซ้ำเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล จากนั้นสุ่มใบกาแฟคู่ใบที่ 2 หรือ 3 จากกิ่งที่สมบูรณ์ ในช่วงเวลา 11.00-13.00 น. เพื่อเก็บข้อมูลปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบพืช (relative water content; RWC) จากวิธีดัดแปลงของ Barrs (1968) โดยชั่งขวดเก็บตัวอย่างขนาด 2 มล. ที่บรรจุน้ำกลั่น ตัดแผ่นใบกาแฟเป็นสี่เหลี่ยมขนาดพื้นที่ 1 ตร.ซม. ใส่ในขวดเก็บตัวอย่าง นำไปชั่งน้ำหนักรวมขวด น้ำกลั่นและใบ นำค่าที่ได้ไปลบน้ำหนักเริ่มต้น จะได้น้ำหนักสดใบ (fresh weight, FW) แช่ใบให้อิ่มตัวด้วยน้ำนาน 24 ชม. อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักใบที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (turgid weight, TW) จากนั้นนำแผ่นใบไปอบที่อุณหภูมิ 70 เซลเซียส เป็นเวลา 48 ชม. และชั่งน้ำหนักใบแห้ง (dry weight, DW) นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบจากสมการ

$$RWC\ (\%) = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100$$

วัดความสูงของต้นกาแฟจากโคนต้นเหนือผิวดินถึงจุดยอดของลำต้นหลักโดยใช้ไม้วัดความสูง วัดความกว้างทรงพุ่มโดยใช้สายวัดวางทาบกิ่งที่ยาวที่สุดตามแนวขนานของทรงพุ่มให้เป็นมุมฉากตัดกัน แล้วหาค่าเฉลี่ยของความกว้างทรงพุ่ม วัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นกาแฟโดยวัดส่วนของลำต้นที่ความสูงจากพื้นดิน 5 ซม. ด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ จากนั้นตัดต้นต้นกาแฟชิดผิวดินคิดเป็นเฉพาะส่วนเหนือดินทั้งหมด แยกส่วนใบจากกิ่งและลำต้น แล้วนับจำนวนใบทั้งหมดที่คลี่ขยายเต็มที่แล้ว และนำไปวัดพื้นที่ใบทั้งหมดต่อต้นด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ (Li-3100C Area Meter, Licor Inc., USA) ส่วนลำต้นที่เหลือใต้ผิวดินรวมกับส่วนรากใช้เป็นตัวแทนส่วนรากทั้งหมด นำส่วนรากทั้งหมดไปล้างวัสดุปลูกออกให้หมด จากนั้นนำแต่ละส่วนมาอบในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 72 ชม. และจึงนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง (dry weight) แยกส่วนใบ ลำต้น และราก แล้วจึงคำนวณหาน้ำหนักแห้งรวม (total dry weight) และอัตราส่วนรากต่อยอด (root/shoot ratio) โดยส่วนยอดประกอบด้วยน้ำหนักแห้งของลำต้นและใบ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโตและน้ำหนักแห้งด้วยแผนการทดลองแบบ Split plot in RCBD เพื่อศึกษาอิทธิพลของความแห้งแล้งและความแปรปรวนระหว่างพันธุ์กาแฟโรบัสต้า คำนวณค่าเฉลี่ยและ Standard error ของกาแฟโรบัสต้าแต่ละพันธุ์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างวิธีการขยายพันธุ์ จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแยกแต่ละระดับการให้น้ำ เพื่อประเมินการตอบสนองและความต้านทานต่อสภาวะความแห้งแล้งของพันธุ์กาแฟโรบัสต้า เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least significant difference (LSD) และคำนวณค่าสหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งรวมกับลักษณะการเจริญเติบโต โดยวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ของกาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาวะกระทบแล้งรวมทั้งสองอายุที่ทำการศึกษา (n = 12) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานต่อความแห้งแล้งกับลักษณะการเจริญเติบโตของกาแฟโรบัสต้า

ผลการศึกษาและวิจารณ์

อิทธิผลของการกระทบแล้งต่อการเจริญเติบโตของกาแฟโรบัสต้า

สภาพความแห้งแล้งส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของกาแฟโรบัสต้า ที่อายุหลังกระทบแล้ง 7 สัปดาห์ ต้นกาแฟในสภาพความแห้งแล้งมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ (RWC) ต่ำกว่าต้นกาแฟในสภาพปรกติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (**Table 1**) โดยในสภาพปรกติมีค่า RWC เฉลี่ย 84.36 % แต่ในสภาพความแห้งแล้งมีค่า RWC ลดเหลือเพียง 32.26 % แสดงให้เห็นว่าเกิดสภาวะความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำในต้นกาแฟที่กระทบแล้ง สภาพความแห้งแล้งทำให้จำนวนใบ พื้นที่ใบ และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของกาแฟลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยในสภาพปรกติมีจำนวนใบ 334.14 ใบ แต่ในสภาพความแห้งแล้งมีจำนวนใบลดเหลือ 113.64 ใบ สภาพปรกติมีพื้นที่ใบ 17,221 ตร.ซม./ต้น แต่ในสภาพความแห้งแล้งมีพื้นที่ใบลดเหลือ 4,655 ตร.ซม./ต้น และสภาพปรกติมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 2.14 ซม. แต่ในสภาพความแห้งแล้งมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นลดเหลือ 2.03 ซม. อย่างไรก็ตาม ไม่พบผลกระทบของความแห้งแล้งต่อความสูงต้นและความ

กว้างทรงพุ่ม และพบความแตกต่างระหว่างพันธุ์กาแฟเมื่อเฉลี่ยจากสองระดับการให้น้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติใน RWC จำนวนใบ พื้นที่ใบ ความสูงต้นและความกว้างทรงพุ่ม แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์กาแฟในเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น

Table 1 Relative water content (RWC) and growth traits of robusta coffee genotypes under different water regimes at 7 weeks after stress

Treatment	RWC (%)	Number of leaf	Leaf area (cm^2/plant)	Stem diameter (cm)	Plant height (cm)	Canopy width (cm)
Water regime						
Control	84.36 A	334.14 A	17,221 A	2.14 A	87.81	89.63
Drought stress	32.26 B	113.64 B	4,655 B	2.03 B	90.17	87.42
F-test	**	**	**	**	ns	ns
Genotype						
FRT141-seedling	53.59 c	309.62 a	14,062 a	2.09	120.50 a	107.75 a
FRT141-cutting	56.65 bc	244.13 b	11,122 bc	2.42	103.00 b	98.44 b
SC05-grafting	63.06 a	231.75 b	13,005 ab	2.08	83.17 c	92.46 bc
SC05-cutting	61.07 ab	180.00 c	8,880 cd	1.99	78.83 c	93.08 bc
PP01-grafting	56.70 bc	232.29 b	11,343 abc	2.03	80.75 c	85.00 c
PP01-cutting	58.78 ab	145.54 c	7,216 d	1.90	67.67 d	54.44 d
F-test	**	**	**	ns	**	**
Water regime x Genotype						
F-test	ns	**	**	ns	ns	**
CV a (%)	13.65	13.06	35.29	2.96	10.76	6.37
CV b (%)	8.16	17.52	24.59	17.65	8.31	10.24
Mean	58.31	223.89	10,938	2.08	88.99	88.53

Mean in the same column with the same letters are not significantly different by Least significant difference (LSD). ns, not significant at P<0.05; *, significant for P<0.05; **, significant for P<0.01

Table 2 Biomass dry weight and root/shoot ratio of robusta coffee genotypes under different water regimes at 7 weeks after stress

Treatment	Dry weight (g/plant)				Root/Shoot ratio
	Leaf	Stem	Root	Total	
Water regime					
Control	173.86 A	172.67 A	130.22	476.75 A	0.40 B
Drought stress	44.17 B	154.22 B	134.00	332.39 B	0.70 A
F-test	**	**	ns	**	*
Genotype					
FRT141-seedling	126.42 a	252.21 a	143.38 b	522.02 a	0.42 c
FRT141-cutting	119.06 ab	210.68 b	142.48 bc	472.22 ab	0.47 c
SC05-grafting	126.50 a	167.14 c	130.91 bc	424.55 bc	0.50 c
SC05-cutting	104.33 b	141.85 d	185.05 a	431.23 b	0.84 a
PP01-grafting	118.38 ab	146.28 cd	114.77 c	379.43 c	0.45 c
PP01-cutting	59.40 c	62.50 e	76.07 d	197.96 d	0.62 b
F-test	**	**	**	**	**
Water regime x Genotype					
F-test	**	**	ns	**	**
CV a (%)	21.90	6.13	20.91	1.68	35.91
CV b (%)	18.57	13.76	20.90	12.33	20.61
Mean	109.02	163.44	132.11	404.57	0.55

Mean in the same column with the same letters are not significantly different by Least significant difference (LSD). ns, not significant at P<0.05; *, significant for P<0.05; **, significant for P<0.01

การกระทบแล้งส่งผลต่อการสร้างน้ำหนักแห้งของกาแฟโรบัสต้า ที่อายุหลังรับกรรมวิธี 7 สัปดาห์ สภาพความแห้งแล้งทำให้น้ำหนักแห้งของใบ ลำต้น และน้ำหนักแห้งรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (**Table 2**) โดยน้ำหนักแห้งใบสภาพปกติ และสภาพแห้งแล้งของต้นกาแฟ เท่ากับ 173.86 ก./ต้น และ 44.17 ก./ต้น ตามลำดับ นอกจากนี้ความแห้งแล้งยังส่งผลให้อัตราส่วนรากต่อยอดเพิ่มขึ้น (0.70) และพบความแตกต่างระหว่างพันธุ์กาแฟเมื่อเฉลี่ยจากสองระดับการให้น้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติทั้งในน้ำหนักแห้งใบ น้ำหนักแห้งลำต้น น้ำหนักแห้งราก น้ำหนักแห้งรวม และอัตราส่วนรากต่อยอดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยกาแฟพันธุ์ FRT141 จากการเพาะเมล็ด มีน้ำหนักแห้งใบ น้ำหนักแห้งลำต้น และน้ำหนักแห้งรวมสูงที่สุด 126.42, 252.21 และ 522.02 ก./ต้น ตามลำดับ ส่วนกาแฟพันธุ์ SC05 จากกิ่งปักชำ มีน้ำหนักแห้งรากและอัตราส่วนรากต่อยอดสูงที่สุด โดยมีน้ำหนักแห้งราก 185.05 ก./ต้น และอัตราส่วนรากต่อยอด 0.84

สภาวะความแห้งแล้งเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของกาแฟ (DaMatta et al., 2018) จากการศึกษานี้ ชี้ให้เห็นว่าการขาดน้ำส่งผลกระทบต่อกาแฟโรบัสต้า โดยต้นกาแฟที่งดน้ำมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบลดลงต่ำมาก จึงแสดงถึงสภาวะความเครียดจากการขาดน้ำในต้นพืช (Melke and Fetene, 2014) ในสภาพที่น้ำในพืชมีการเปลี่ยนแปลงลดต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม จะส่งผลทำให้เซลล์สูญเสียความเต่งซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ในต้นพืช เพื่อรักษาสถานะของน้ำในต้นโดยการลดการสูญเสียน้ำจากทางปากใบ ต้นกาแฟจึงมีการตอบสนองโดยการกระตุ้นให้เกิดการแก่และการหลุดร่วงของใบ โดยเฉพาะในใบที่มีอายุมาก ทางสรีรวิทยาจะเกิดการร่วงก่อน ถือเป็นการตอบสนองของพืชภายใต้สภาพแล้งที่รุนแรงและยาวนาน เพื่อลดการคายน้ำของทรงพุ่มให้ลดลง (DaMatta and Ramalho, 2006) สำหรับการศึกษานี้พบว่า จำนวนใบ พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งใบของกาแฟลดลง อย่างไรก็ตาม การลดปริมาณใบลงจะส่งผลให้ความสามารถในการสังเคราะห์อาหารด้วยแสงของพืชลดลงด้วย (DaMatta and Ramalho, 2006; Roonprapant et al., 2021) ดังนั้น จึงส่งผลให้กาแฟโรบัสต้ามีลักษณะการเจริญเติบโต เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น น้ำหนักแห้งต้น และน้ำหนักแห้งรวมลดลง ซึ่งนอกจากผลกระทบของการขาดน้ำต่อการเจริญเติบโตจะถูกพบในกาแฟโรบัสต้าแล้ว (Pinheiro et al., 2005; Venancio et al., 2020) ยังถูกพบในกาแฟอะราบิกาอีกด้วย (Chemura et al., 2014; Cheserek et al., 2015) อย่างไรก็ตามแม้ว่าการขาดน้ำจะทำให้ความสามารถในการสร้างน้ำหนักแห้งของกาแฟโรบัสต้าลดลง แต่การศึกษานี้พบการปรับตัวของกาแฟโรบัสต้าด้วยการมีอัตราส่วนรากต่อยอดเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มอัตราส่วนของรากต่อยอดเป็นกลไกการปรับตัวของพืชหลายชนิดต่อสภาวะความแห้งแล้งเพื่อเพิ่มความสามารถในการหาน้ำของราก (Brunner et al., 2015; Wasaya et al., 2018) และ Kufa and Burkhardt (2013) ได้รายงานว่าการลักษณะการเจริญเติบโตของรากเป็นกลไกสำคัญของการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของกาแฟที่ปลูกในสภาพอาศัยน้ำฝน นอกจากนี้ ลักษณะการเจริญเติบโตของรากยังได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมและมีความแปรปรวนระหว่างสายพันธุ์กาแฟอีกด้วย

อิทธิพลของวิธีการขยายพันธุ์ต่อการเจริญเติบโตของกาแฟโรบัสต้า

จากการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการขยายพันธุ์ของกาแฟทั้งในสภาพปรกติและสภาพความแห้งแล้ง ที่อายุหลังกระทบแล้ง 7 สัปดาห์ พบว่าในกาแฟพันธุ์ FRT141 ต้นกาแฟจากการเพาะเมล็ดมีน้ำหนักแห้งรากไม่แตกต่างกับต้นกาแฟจากกิ่งปักชำทั้งในสภาพปรกติและสภาพความแห้งแล้ง (**Figure 1a**) และกาแฟพันธุ์ SC05 พบว่าต้นกาแฟจากกิ่งปักชามีน้ำหนักแห้งรากสูงกว่าต้นกาแฟจากการเสียบยอดในสภาพความแห้งแล้ง แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างวิธีขยายพันธุ์ในสภาพปรกติ (**Figure 1b**) ส่วนกาแฟพันธุ์ PP01 พบว่าต้นกาแฟจากการเสียบยอดมีน้ำหนักแห้งรากสูงกว่าต้นกาแฟจากกิ่งปักชาทั้งในสภาพปรกติและสภาพความแห้งแล้ง (**Figure 1c**)

กาแฟพันธุ์ FRT141 ต้นกาแฟจากการเพาะเมล็ดมีน้ำหนักแห้งส่วนยอดสูงกว่าต้นกาแฟจากกิ่งปักชาในสภาพปรกติ แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างวิธีขยายพันธุ์ในสภาพความแห้งแล้ง (**Figure 2a**) และกาแฟพันธุ์ SC05 พบว่าต้นกาแฟจากการเสียบยอดมีน้ำหนักแห้งส่วนยอดสูงกว่าต้นกาแฟจากกิ่งปักชาในสภาพปรกติ แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างวิธีขยายพันธุ์ในสภาพความแห้งแล้ง (**Figure 2b**) สำหรับกาแฟพันธุ์ PP01 พบว่าต้นกาแฟจากการเสียบยอดมีน้ำหนักแห้งส่วนยอดสูงกว่าต้นกาแฟจากกิ่งปักชาทั้งในสภาพปรกติและสภาพความแห้งแล้ง (**Figure 2c**)

เมื่อประเมินน้ำหนักแห้งรวมของกาแฟโรบัสต้า พบว่ากาแฟพันธุ์ FRT141 ต้นกาแฟจากการเพาะเมล็ดมีน้ำหนักแห้งรวมสูงกว่าต้นกาแฟจากกิ่งปักชาในสภาพปรกติ แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างวิธีขยายพันธุ์ในสภาพความแห้งแล้ง (**Figure 3a**) และกาแฟพันธุ์ SC05 ในสภาพปรกติต้นกาแฟจากการเสียบยอดมีน้ำหนักแห้งรวมสูงกว่าต้นกาแฟจากกิ่งปักชา แต่ในสภาพความแห้งแล้งต้นกาแฟจากกิ่งปักชามีน้ำหนักแห้งรวมสูงกว่าต้นกาแฟจากการเสียบยอด (**Figure 3b**) สำหรับกาแฟพันธุ์ PP01 ต้นกาแฟจากการเสียบยอดยังมีน้ำหนักแห้งรวมสูงกว่าต้นกาแฟจากกิ่งปักชาทั้งในสภาพปรกติและสภาพความแห้งแล้งอีกด้วย (**Figure 3c**)

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากาแฟพันธุ์ FRT141จากการเพาะเมล็ดมีการเจริญเติบโตของรากไม่แตกต่างกับต้นกาแฟจากกิ่งปักชา และกาแฟพันธุ์ FRT141 จากการเพาะเมล็ดมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าต้นกาแฟจากกิ่งปักชาในสภาพปรกติเท่านั้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากกาแฟเป็นไม้พุ่มที่มีอายุหลายปี ดังนั้นในระยะยาว การมีรากแก้วที่มีระบบรากที่แข็งแรงและสามารถหยั่งลึกจะสามารถเป็นประโยชน์ต่อการ

ทนแล้งของพืช (Brunner et al., 2015) และกาแฟพันธุ์ SC05 จากการเสียบยอดมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าต้นกาแฟจากกิ่งปักชำในสภาพปรกติเท่านั้น แต่ในสภาพความแห้งแล้งกาแฟพันธุ์ SC05 จากกิ่งปักชำมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าต้นกาแฟจากการเสียบยอด รวมถึงการเสียบยอดกาแฟพันธุ์ SC05 บนต้นตอพันธุ์ทนแล้งยังไม่ช่วยให้กาแฟพันธุ์ SC05 มีการเจริญเติบโตของรากและมีความทนแล้งดีขึ้น เนื่องจากกาแฟพันธุ์ SC05 มีการเจริญเติบโตของรากดีกว่ากาแฟพันธุ์ FRT141 ซึ่งใช้เป็นต้นตออยู่แล้ว นอกจากนี้ การเสียบยอดกาแฟพันธุ์ PP01 บนต้นตอพันธุ์ทนแล้ง สามารถช่วยให้กาแฟพันธุ์ PP01 มีการเจริญเติบโตดีขึ้นทั้งในสภาพปรกติและสภาพความแห้งแล้ง รวมถึงการเสียบยอดกาแฟพันธุ์ PP01 บนต้นตอพันธุ์ทนแล้งยังช่วยให้กาแฟพันธุ์ PP01 มีการเจริญเติบโตของรากและมีความทนแล้งดีขึ้นอีกด้วย โดย Wasaya et al. (2018) รายงานว่า พืชที่รากมีการเจริญเติบโตดีจะเพิ่มระบบรากฝอย เพื่อให้มีพื้นที่ดูดรับน้ำได้มาก ซึ่งเป็นกลไกการทนแล้งอย่างหนึ่งของพืช และการหยั่งรากที่ลึกลงไปในดินได้มากและแผ่กระจายได้มากจะเพิ่มความสามารถในการดูดน้ำจากดินจึงช่วยในการปรับตัวให้ทนทานต่อความแห้งแล้งได้มากขึ้น

การต่อกิ่งหรือเสียบยอดเป็นวิธีการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศที่สามารถรวมลักษณะดีบางประการจากพืชต่างสายพันธุ์มาไว้ในพืชต้นเดียว โดยการนำยอดของพันธุ์ดีมาต่อบนต้นตอของพันธุ์ที่มีลักษณะรากดีตามความต้องการ เป็นการเสริมลักษณะของรากที่ดีให้กับต้นพืช (จิรา, 2551) และอาจทำให้พืชมีลักษณะพิเศษที่สามารถทนต่อสภาพที่ไม่เหมาะสมประการ โดยจากการศึกษาที่ผ่านมา ได้รายงานว่ากาแฟที่ขยายพันธุ์ด้วยการเสียบยอดมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่ากาแฟที่ขยายพันธุ์ด้วยการปักชำ (Júnior et al., 2013) นอกจากนี้ ยังมีการใช้เทคนิคการเสียบยอดกาแฟอะราบิกาบนต้นตอกาแฟโรบัสต้า ซึ่งพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของกาแฟอะราบิกาได้ (Novaes et al., 2011) รวมถึงมีรายงานว่าการเสียบยอดกาแฟโรบัสต้าหรือกาแฟอะราบิกาบนต้นตอกาแฟริเบอริกา (*Coffea liberica*) สามารถเพิ่มความทนทานต่อไส้เดือนฝอย การเจริญเติบโต และผลผลิตของกาแฟในพื้นที่ที่มีการระบาดของไส้เดือนฝอยได้ (Myers et al., 2020; Pham et al., 2020) สำหรับการศึกษานี้ พบว่าการเสียบยอดกาแฟพันธุ์ดีแต่มีระบบรากไม่แข็งแรงบนต้นตอกาแฟที่มีระบบรากแข็งแรงสามารถช่วยให้ต้นกาแฟพันธุ์ดีมีการเจริญเติบโตและความทนทานต่อความแห้งแล้งเพิ่มขึ้น จึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มศักยภาพการผลิตของกาแฟพันธุ์ดีในเขตอาศัยน้ำฝนซึ่งมีโอกาสประสบปัญหาความแห้งแล้งได้ต่อไป

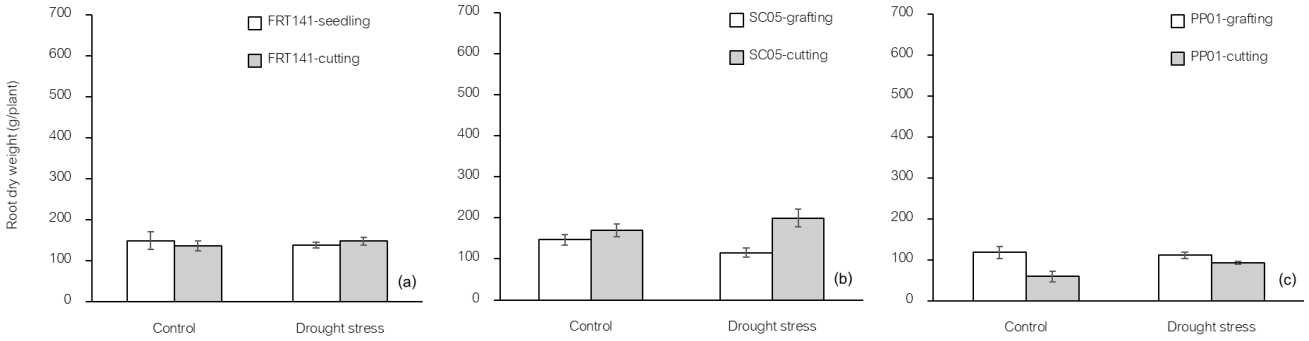


Figure 1 Comparisons of root dry weight between different propagation methods of FRT141 (a), SC05 (b) and PP01 (c) robusta genotypes under control and drought stress conditions at 7 weeks after stress. Error bars represent ± standard error of mean

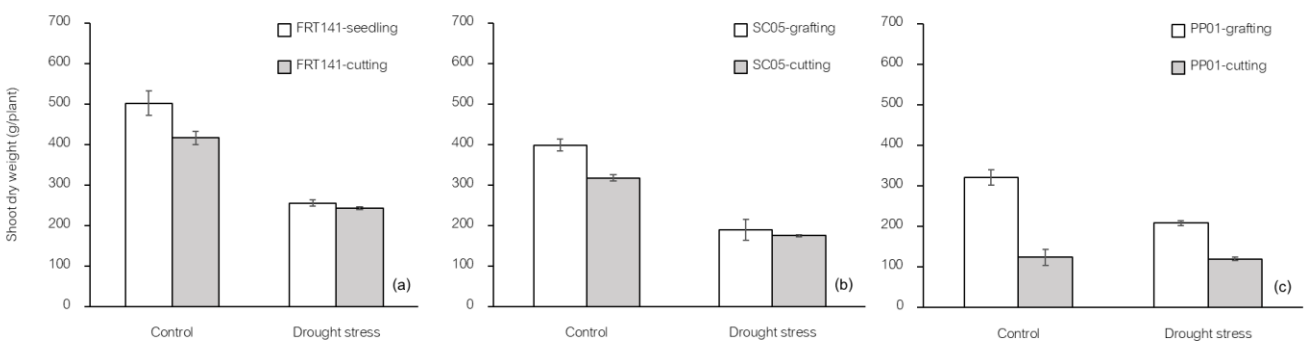


Figure 2 Comparisons of shoot dry weight between different propagation methods of FRT141 (a), SC05 (b) and PP01 (c) robusta genotypes under control and drought stress conditions at 7 weeks after stress. Error bars represent ± standard error of mean



Figure 3 Comparisons of total dry weight between different propagation methods of FRT141 (a), SC05 (b) and PP01 (c) robusta genotypes under control and drought stress conditions at 7 weeks after stress. Error bars represent ± standard error of mean

ความทนทานต่อสภาวะความแห้งแล้งของพันธุ์กาแฟโรบัสต้า

การประเมินการตอบสนองของพันธุ์กาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาวะความแห้งแล้ง หลังกระทบแล้ง 7 สัปดาห์ พบว่าต้นกาแฟมีค่า RWC แตกต่างกันระหว่างพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (**Table 3**) โดยมีค่าระหว่าง 38.24 ถึง 26.76 % แสดงว่า กาแฟแต่ละสายพันธุ์ต่างได้รับผลกระทบจากการขาดน้ำจึงทำให้มีค่า RWC ค่อนข้างต่ำมาก ต้นกาแฟมีจำนวนใบแตกต่างกันระหว่างพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยกาแฟพันธุ์ PP01 จากการเสียบยอด, PP01 จากกิ่งปักชำ และ SC05 จากการเสียบยอด มีจำนวนใบสูงที่สุด 156.33, 129.33 และ 126.00 ใบ ตามลำดับ ต้นกาแฟมีพื้นที่ใบแตกต่างกันระหว่างพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยกาแฟพันธุ์ SC05 จากการเสียบยอด, PP01 จากการเสียบยอด และ PP01 จากกิ่งปักชำ มีพื้นที่ใบสูงที่สุด 6,409, 6,187 และ 6,167 ตร.ซม./ต้น ตามลำดับ ต้นกาแฟมีความสูงต้นแตกต่างกันระหว่างพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยกาแฟพันธุ์ FRT141 จากการเพาะเมล็ด มีความสูงต้นสูงที่สุด 126.75 ซม. และต้นกาแฟมีความกว้างทรงพุ่มแตกต่างกันระหว่างพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยกาแฟพันธุ์ FRT141 จากการเพาะเมล็ด มีความกว้างทรงพุ่มสูงที่สุด 114.38 ซม. แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ในเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น โดยมีค่าระหว่าง 2.45 ถึง 1.78 ซม. ผลการศึกษาแสดงว่า หลังกระทบแล้งกาแฟโรบัสต้ามีการเจริญเติบโตแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ โดยกาแฟพันธุ์ SC05 จากการเสียบยอด, PP01

จากการเสียบยอด และ PP01 จากกิ่งปักชำ มีจำนวนใบและพื้นที่ใบสูงที่สุด และกาแฟพันธุ์ FRT141 จากการเพาะเมล็ดมีความสูงต้นและความกว้างทรงพุ่มมากที่สุด

หลังการฟื้นตัวจากความแห้งแล้ง 2 สัปดาห์ ต้นกาแฟมีค่า RWC ไม่แตกต่างกันระหว่างพันธุ์ (Table 3) โดยมีค่าระหว่าง 79.81 ถึง 72.32 % แสดงว่า กาแฟทุกสายพันธุ์ต่างเริ่มฟื้นตัวจากการขาดน้ำจึงทำให้มีค่า RWC สูงขึ้นกว่าช่วงที่กระทบแล้ง ต้นกาแฟมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นแตกต่างกันระหว่างพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยกาแฟพันธุ์ FRT141 จากการเพาะเมล็ด, SC05 จากการเสียบยอด และ PP01 จากการเสียบยอด มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นสูงที่สุด 2.03, 1.85 และ 1.82 ซม. ตามลำดับ ต้นกาแฟมีความสูงต้นแตกต่างกันระหว่างพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยกาแฟพันธุ์ FRT141 จากการเพาะเมล็ด มีความสูงต้นสูงที่สุด 121.25 ซม. และต้นกาแฟมีความกว้างทรงพุ่มแตกต่างกันระหว่างพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกาแฟพันธุ์ FRT141 จากกิ่งปักชำ, SC05 จากการเสียบยอด และ FRT141 จากการเพาะเมล็ด มีความกว้างทรงพุ่มสูงที่สุด 95.44, 94.56 และ 91.13 ซม. แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ในจำนวนใบโดยมีค่าระหว่าง 95.00 ถึง 70.00 ใบ และไม่พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ในพื้นที่ใบ โดยมีค่าระหว่าง 4,949 ถึง 2,661 ตร.ซม./ต้น ผลการศึกษาแสดงว่า หลังการฟื้นตัวจากความแห้งแล้งกาแฟโรบัสต้ามีการเจริญเติบโตแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ในลักษณะเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงต้นและความกว้างทรงพุ่ม โดยกาแฟพันธุ์ FRT141 จากการเพาะเมล็ดมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด

การประเมินการสร้างน้ำหนักแห้งของพันธุ์กาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาวะความแห้งแล้ง หลังกระทบแล้ง 7 สัปดาห์ พบว่าต้นกาแฟมีน้ำหนักแห้งใบแตกต่างกันระหว่างพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (**Table 4**) โดยกาแฟพันธุ์ PP01 จากการเสียบยอด, SC05 จากการเสียบยอด และ PP01 จากกิ่งปักชำ มีน้ำหนักแห้งใบสูงที่สุด 62.10, 53.40 และ 51.27 ก./ต้น ตามลำดับ ต้นกาแฟมีน้ำหนักแห้งลำต้นแตกต่างกันระหว่างพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยกาแฟพันธุ์ FRT141 จากการเพาะเมล็ดและ FRT141 จากกิ่งปักชำ มีน้ำหนักแห้งลำต้นสูงที่สุด 221.13 และ 215.09 ก./ต้น ตามลำดับ ต้นกาแฟมีน้ำหนักแห้งรากแตกต่างกันระหว่างพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยกาแฟพันธุ์ SC05 จากกิ่งปักชำ มีน้ำหนักแห้งรากสูงที่สุด 199.88 ก./ต้น และต้นกาแฟมีน้ำหนักแห้งรวมแตกต่างกันระหว่างพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยกาแฟพันธุ์ FRT141 จากการเพาะเมล็ดและ FRT141 จากกิ่งปักชำ มีน้ำหนักแห้งรวมสูงที่สุด 393.05 และ 391.02 ก./ต้น ตามลำดับ นอกจากนี้ ต้นกาแฟยังมีอัตราส่วนรากต่อยอดแตกต่างกันระหว่างพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยกาแฟพันธุ์ SC05 จากกิ่งปักชำ มีอัตราส่วนรากต่อยอดสูงที่สุด 1.15 สำหรับที่อายุหลังการฟื้นตัวจากความแห้งแล้ง 2 สัปดาห์ พบว่า ต้นกาแฟมีน้ำหนักแห้งลำต้นและน้ำหนักแห้งรวมแตกต่างกันระหว่างพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยกาแฟพันธุ์ FRT141 จากการเพาะเมล็ด มีน้ำหนักแห้งลำต้นและน้ำหนักแห้งรวมสูงที่สุด 241.76 และ 409.13 ก./ต้น ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ในน้ำหนักแห้งใบ โดยมีค่าระหว่าง 42.28 และ 22.71 ก./ต้น และยังไม่พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ในน้ำหนักแห้งราก โดยมีค่าระหว่าง 143.60 ถึง 109.87 ก./ต้น รวมถึงไม่พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ในอัตราส่วนรากต่อยอด โดยมีค่าระหว่าง 0.80 ถึง 0.55

เมื่อพิจารณาความทนแล้งของกาแฟจากความสามารถในการสร้างน้ำหนักแห้งภายใต้สภาวะความแห้งแล้ง (Silva et al., 2013) โดยการศึกษาของ Cheserek et al. (2015) ได้ใช้ลักษณะน้ำหนักชีวมวลของกาแฟภายใต้สภาวะกระทบแล้งในการคัดเลือกพันธุ์ทนแล้งในกาแฟอะราบิกา สำหรับการศึกษานี้ พบความแตกต่างของน้ำหนักแห้งระหว่างพันธุ์กาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาวะกระทบแล้ง จึงแสดงว่า กาแฟโรบัสต้ามีความสามารถในการทนแล้งแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์ โดยกาแฟพันธุ์ FRT141 จากการเพาะเมล็ดมีความทนทานต่อความแห้งแล้งสูงที่สุด นอกจากนี้ ยังพบว่าที่อายุหลังการฟื้นตัวจากความแห้งแล้ง กาแฟพันธุ์ SC05 และ PP01 ต้นที่ขยายพันธุ์จากการเสียบยอดมีน้ำหนักแห้งรวมสูงกว่าต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยกิ่งปักชำ (**Table 4**) แสดงว่า ต้นที่ขยายพันธุ์จากการเสียบยอดมีความทนทานต่อความแห้งแล้งสูงกว่าต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยกิ่งปักชำ ดังนั้น วิธีการขยายพันธุ์โดยการเสียบยอดบนต้นต่อพันธุ์ทนแล้งสามารถเพิ่มความสามารถในการทนแล้งให้กับกาแฟพันธุ์ดีได้ โดยเป็นการเพิ่มระบบรากแก้วให้แก่ต้นกาแฟและเพิ่มความแข็งแรงของรากจากต้นตอพันธุ์ทนแล้ง

Table 3 Relative water content (RWC) and growth traits of of robusta coffee genotypes under drought stress at 7 weeks after stress and 2 weeks after recovering

Treatment	7 weeks after stress						2 weeks after recovering					
	RWC (%)	Number of leaf	Leaf area (cm^2/plant)	Stem diameter (cm)	Plant height (cm)	Canopy width (cm)	RWC (%)	Number of leaf	Leaf area (cm^2/plant)	Stem diameter (cm)	Plant height (cm)	Canopy width (cm)
FRT141-seedling	26.76 c	98.00 bc	2,843 b	1.93	126.75 a	114.38 a	79.81	70.00	2,913	2.03 a	121.25 a	91.13 ab
FRT141-cutting	29.58 bc	91.50 c	2,376 b	2.48	106.25 b	92.00 b	73.50	74.00	2,661	1.68 bc	101.25 b	95.44 a
SC05-grafting	37.14 ab	126.00 ab	6,409 a	1.75	80.33 c	81.17 b	72.32	83.33	4,261	1.85 ab	89.13 c	94.56 a
SC05-cutting	38.24 a	80.67 c	3,949 b	1.91	80.33 c	96.50 b	79.72	72.33	4,949	1.54 c	82.88 c	79.00 bc
PP01-grafting	30.37 bc	156.33 a	6,187 a	1.98	79.00 c	89.00 b	77.33	77.11	4,438	1.82 ab	86.88 c	83.88 b
PP01-cutting	31.49 bc	129.33 ab	6,167 a	2.14	68.33 d	51.50 c	75.79	95.00	4,318	1.67 bc	68.00 d	68.50 c
F-test	*	**	**	ns	**	**	ns	ns	ns	**	**	*
CV (%)	15.60	18.71	28.26	17.29	6.37	12.42	6.94	27.79	31.14	8.72	6.96	11.91
Mean	32.26	113.64	4,655	2.03	90.17	87.43	76.41	78.63	3,923	1.76	91.57	85.42

Mean in the same column with the same letters are not significantly different by Least significant difference (LSD). ns, not significant at P<0.05; *, significant for P<0.05; **, significant for P<0.01.

Table 4 Biomass dry weight and root/shoot ratio of robusta coffee genotypes under drought stress at 7 weeks after stress and 2 weeks after recovering

Treatment	7 weeks after stress									2 weeks after recovering								
	Dry weight (g/plant)								Root/Shoot	Dry weight (g/plant)								Root/Shoot
	Leaf		Stem		Root		Total		ratio	Leaf		Stem		Root		Total		ratio
FRT141-seedling	34.12	b	221.13	a	137.80	bc	393.05	a	0.54 c	23.77		241.76	a	143.60		409.13	a	0.55
FRT141-cutting	28.07	b	215.09	a	147.86	b	391.02	a	0.61 bc	22.71		187.27	b	139.71		349.69	b	0.67
SC05-grafting	53.40	a	135.47	b	114.81	bcd	303.69	c	0.63 bc	33.07		171.09	b	128.30		332.45	b	0.64
SC05-cutting	36.04	b	139.04	b	199.88	a	374.96	ab	1.15 a	42.28		103.81	c	115.22		261.31	c	0.80
PP01-grafting	62.10	a	145.95	b	111.22	cd	319.27	bc	0.53 c	34.09		131.69	c	131.48		297.26	bc	0.80
PP01-cutting	51.27	a	68.62	c	92.45	d	212.34	d	0.76 b	34.85		102.56	c	109.87		247.28	c	0.79
F-test	**		**		**		**		**	ns		**		ns		**		ns
CV (%)	19.98		13.78		17.58		12.13		19.88	29.93		13.77		17.53		11.45		22.16
Mean	44.17		154.22		134.00		332.39		0.70	31.80		156.36		128.03		316.19		0.71

Mean in the same column with the same letters are not significantly different by Least significant difference (LSD). ns, not significant at P<0.05; **, significant for P<0.01

จากการศึกษานี้หน่วยทดลองในการบันทึกข้อมูลได้จากการสุ่มตัวอย่างต้นพืชจากแต่ละซ้ำในแต่ละอายุ ดังนั้นในแต่ละอายุจึงเป็นการเก็บตัวอย่างจากคนละต้นกัน ซึ่งอาจมีปัญหาเรื่องความสม่ำเสมอของหน่วยทดลอง เนื่องจากต้นพืชส่วนใหญ่มักจะมีขนาดไม่เท่ากันเมื่อเริ่มต้นการทดลอง ซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา ดังนั้น อาจแก้ไขโดยการบันทึกข้อมูลของหน่วยทดลองก่อนเริ่มต้นการทดลองแล้วหาผลต่างของหน่วยทดลองที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้ได้ผลการทดลองที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง นอกจากนี้ ที่อายุหลังการฟื้นตัวจากความแห้งแล้ง 2 สัปดาห์ พบว่า ถึงแม้ว่าต้นกาแฟจะมีค่า RWC สูงขึ้นกว่าช่วงที่กระทบแล้ง **(Table 3)** ซึ่งแสดงว่าต้นกาแฟเริ่มฟื้นตัวจากความแห้งแล้ง แต่ที่อายุหลังการฟื้นตัวจากความแห้งแล้งยังคงมีจำนวนใบ พื้นที่ใบ ความกว้างทรงพุ่มและน้ำหนักแห้งใบลดลง **(Table 3 and 4)** เนื่องจากกาแฟมีการปรับตัวโดยมีการหลุดร่วงของใบแก่และเพิ่งเริ่มมีการสร้างใบใหม่ที่ยอด โดยใบยังไม่พัฒนาขยายตัวเต็มที่ ดังนั้นช่วงเวลาหลังจากได้พื้นตัว 2 สัปดาห์ ต้นกาแฟจึงยังคงไม่สามารถฟื้นตัวโดยการเพิ่มปริมาณของใบให้มากขึ้นได้ สำหรับลักษณะอื่น ๆ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงต้น น้ำหนักแห้งลำต้นและน้ำหนักแห้งราก มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันระหว่างช่วงที่กระทบแล้งและหลังจากได้พื้นตัว 2 สัปดาห์ แสดงว่าการกระทบแล้งอาจมีผลทำให้ต้นกาแฟมีการเจริญเติบโตที่ช้าลง

ความสัมพันธ์ระหว่างความทนแล้งกับลักษณะการเจริญเติบโตของกาแฟโรบัสต้า

จากการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งรวมกับลักษณะการเจริญเติบโตของกาแฟโรบัสต้าภายใต้สภาวะความแห้งแล้ง โดยวิเคราะห์รวมทั้งอายุหลังการกระทบแล้งและหลังการฟื้นตัวจากความแห้งแล้ง (n = 12) พบความสัมพันธ์ระดับสูงในเชิงบวกระหว่างน้ำหนักแห้งรวมกับความสูงต้น มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.83** (**Figure 4a**) และระหว่างน้ำหนักแห้งรวมกับความความกว้างทรงพุ่ม มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.87** (**Figure 4b**) แสดงว่า ความสูงต้นและความกว้างทรงพุ่มมีความสัมพันธ์กับความทนแล้งของกาแฟ จึงสามารถใช้ความสูงต้นและความกว้างทรงพุ่มเป็นลักษณะทางอ้อมในการคัดเลือกพันธ์กาแฟทนแล้ง นอกจากนี้ ทั้งสองลักษณะยังสามารถทำการประเมินได้ง่าย รวดเร็ว และไม่ทำลายตัวอย่างพืชอีกด้วย จึงเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในงานปรับปรุงพันธุ์ อย่างไรก็ตาม พบความสัมพันธ์สูงในเชิงลบระหว่างน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้นกับพื้นที่ใบ มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ -0.72** (**Figure 4c**) แสดงว่าภายใต้สภาวะความแห้งแล้งต้นกาแฟที่มีน้ำหนักแห้งสูงจะมีพื้นที่ใบต่ำ โดยกาแฟพันธุ์ทนแล้งจะรักษาระดับของการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนของลำต้นและรากมากกว่าการรักษาใบไว้ จะเห็นได้จากกาแฟพันธุ์ทนแล้ง FRT141 มีสัดส่วนของน้ำหนักแห้งลำต้นและรากต่อน้ำหนักแห้งใบที่สูงกว่ากาแฟพันธุ์ PP01 ซึ่งอ่อนแอต่อความแห้งแล้ง นอกจากนี้ ในสภาพขาดน้ำกาแฟจะมีการทิ้งใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำจึงทำให้มีพื้นที่ใบลดลง เนื่องจากในสภาวะขาดน้ำพืชจะมีการสูญเสียน้ำออกทางปากใบมากว่าปริมาณน้ำที่รากดูดขึ้นมา ซึ่งทำให้พืชมีน้ำไม่เพียงพอสำหรับกระบวนการทางสรีรวิทยาต่าง ๆ (DaMatta et al., 2010; DaMatta et al., 2018) และยิ่งมีพื้นที่ใบมากก็จะยิ่งมีการสูญเสียน้ำออกทางปากใบมาก จึงทำให้มีความรุนแรงของการขาดน้ำมากขึ้นด้วย พืชจึงปรับตัวด้วยการลดพื้นที่ใบจากการทิ้งใบ (DaMatta and Ramalho, 2006) ความผิดปรกติของกระบวนการทางสรีรวิทยาเนื่องจากการขาดน้ำและการหลุดร่วงของใบจึงเป็นสาเหตุให้น้ำหนักแห้งของต้นกาแฟลดลง อย่างไรก็ตาม ในสภาพได้รับน้ำปรกติ กลับพบความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกระหว่างน้ำหนักแห้งรวมกับพื้นที่ใบ มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.94** (ไม่แสดงข้อมูล) แสดงว่า พื้นที่ใบเป็นกลไกที่สำคัญต่อการสร้างน้ำหนักแห้งของกาแฟในสภาวะที่ได้รับน้ำสมบูรณ์ นอกจากนี้ ยังพบความสัมพันธ์สูงในเชิงบวกระหว่างน้ำหนักแห้งรวมกับน้ำหนักแห้งราก มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.73** (**Figure 4d**) ชี้ให้เห็นว่า การเจริญเติบโตของรากเป็นกลไกที่สำคัญต่อการทนแล้งของกาแฟ เนื่องจากรากของพืชมีมีบทบาทสำคัญต่อความสามารถในการนำน้ำและธาตุอาหารจากชั้นดินที่ลึกลงไปเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ลักษณะของรากจึงเป็นกลไกสำคัญต่อต่อการเจริญเติบโตและความทนทานต่อสภาวะความแห้งแล้งของพืช (Wasaya et al., 2018) และจากการศึกษาของ Pinheiro et al. (2005) พบว่า เมื่อกาแฟประสบความแห้งแล้ง ต้นกาแฟที่มีระบบรากลึกจะมีสามารถหลีกเลี่ยงการขาดน้ำได้ดี เนื่องจากรากสามารถหยั่งลึกลงไปในชั้นดินชั้นล่างเพื่อหาน้ำที่ยังพอมีอยู่ได้ และพบลักษณะรากลึกหยั่งลึกในกาแฟโรบัสต้าที่มีความทนแล้ง

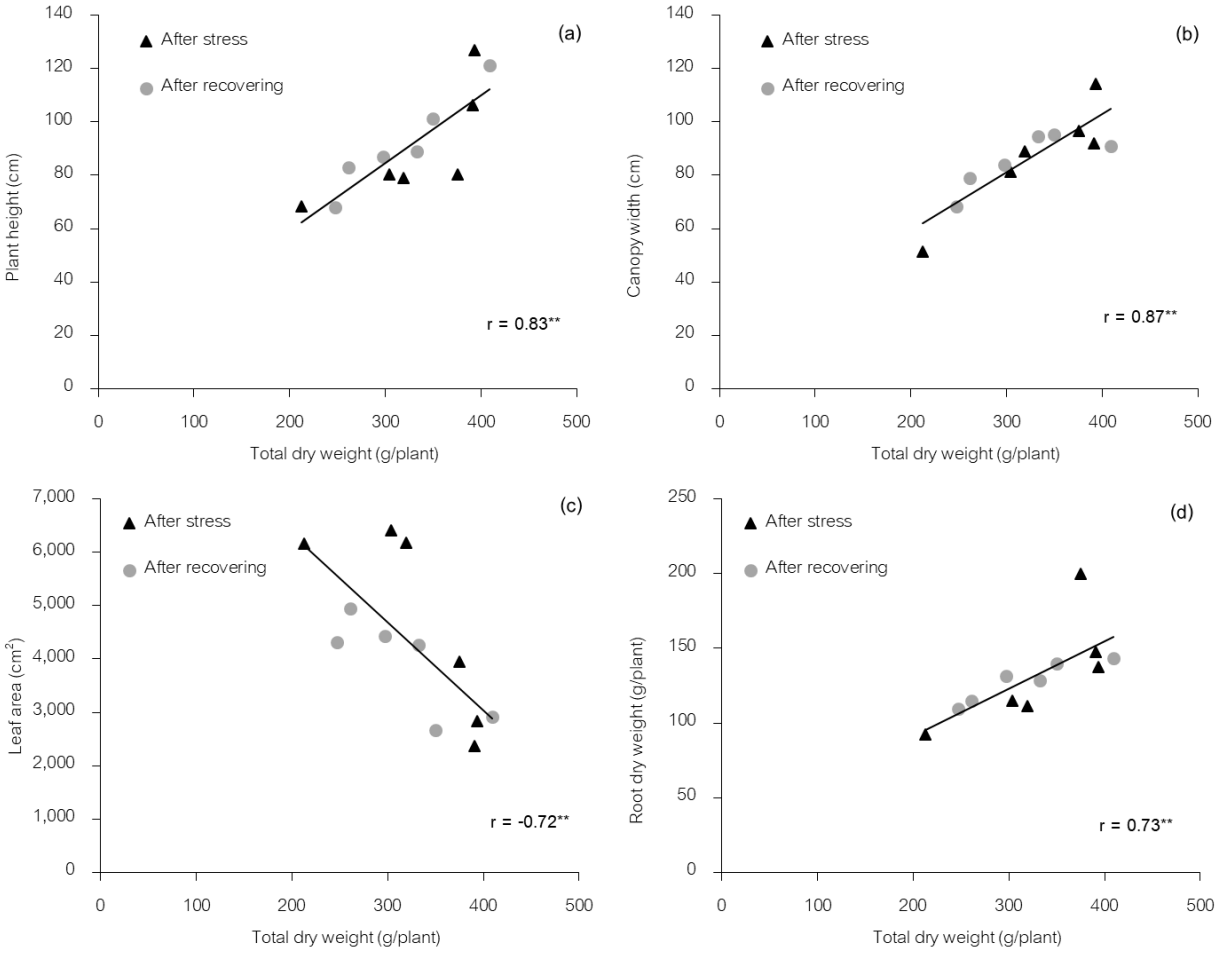


Figure 4 Relationships between total dry weight with plant height (a), canopy width (b), leaf area (c) and root dry weight (d) of robusta genotypes under drought stress condition across two sampling date (n = 12). ** Significant at 0.01 probability level

สรุป

การกระทบแล้งมีอิทธิพลต่อลักษณะการเจริญเติบโตและการสร้างน้ำหนักแห้งของกาแฟโรบัสต้า โดยสภาพความแห้งแล้งส่งผลให้กาแฟมีจำนวนใบ พื้นที่ใบ และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นลดลง แต่ไม่พบผลกระทบของความแห้งแล้งต่อความสูงต้นและความกว้างทรงพุ่ม สภาพความแห้งแล้งยังทำให้กาแฟมีน้ำหนักแห้งของใบ ลำต้น และน้ำหนักแห้งรวมลดลง แต่ส่งผลให้อัตราส่วนรากต่อยอดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ กาแฟยังมีลักษณะการเจริญเติบโตและการสร้างน้ำหนักแห้งแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์ วิธีการขยายพันธุ์มีอิทธิพลต่อความสามารถในการทนแล้งของกาแฟโรบัสต้า โดยการเสียบยอดกาแฟบนต้นตอพันธุ์ทนแล้ง สามารถช่วยให้กาแฟ มีการเจริญเติบโตดีขึ้นและช่วยเพิ่มความสามารถในการทนแล้งให้กับกาแฟพันธุ์ดี กาแฟโรบัสต้ามีความสามารถในการทนแล้งแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ โดยกาแฟพันธุ์ FRT141 จากการเพาะเมล็ดมีความทนทานต่อความแห้งแล้งสูงที่สุด และพบความสัมพันธ์ระดับสูงเชิงบวกระหว่างความทนทานต่อความแห้งแล้งกับความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ซึ่งอาจใช้เป็นลักษณะทางอ้อมในการคัดเลือกพันธุ์กาแฟโรบัสต้าทนแล้งได้

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัยจากห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาพืช ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และขอบคุณ บริษัท เนสท์เล่ (ไทย) จำกัด ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ต้นกล้ากาแฟโรบัสต้าที่ใช้ในการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2562. คู่มือการจัดการ: การผลิตกาแฟโรบัสต้า. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. แหล่งข้อมูล: https://www.doa.go.th/hc/chumphon/wp-content/uploads/2020/02/robusta-production.pdf. ค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2564.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2557. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟ. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

จิรา ณ หนองคาย. 2551. หลักและเทคนิคการขยายพันธุ์พืชในประเทศไทย. โอ. เอส.พริ้นติ้งเฮ้าส์, กรุงเทพฯ.

สำนักข่าวไทย. 2557. ไร่กาแฟชุมพรแล้งหนักสูญ 100 ล้านบาท หวั่นปีนี้ไม่มีขาย. แหล่งข้อมูล: http://www.mcot.net/site/content?id=532a9913be0470b5038b45f7. ค้นเมื่อ 8 มีนาคม 2560.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2560. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร: ตารางแสดงรายละเอียดกาแฟ. แหล่งข้อมูล: http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/coffee62.pdf. ค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2564.

Barrs, H.D. 1968. Determination of water deficits in plant tissues. P. 235-368. In: T.T. Kozowski. Water Deficits and Plant Growth. Academic Press, NY.

Brunner, I., C. Herzog, M.A. Dawes, M. Arend, and C. Sperisen. 2015. How tree roots respond to drought. Frontiers in Plant Science. 6: 1–16.

Chemura, A., C. Mahoya, P. Chidoko, and D. Kutywayo. 2014. Effect of soil moisture deficit stress on biomass accumulation of four coffee (*Coffea arabica*) varieties in Zimbabwe. ISRN Agronomy. Article ID 767312, 10 pages.

Cheserek, J.J., C.O. Omondi, and J.M. Ithiru. 2015. Screening for drought tolerance among *Coffea arabica* cultivars in Kenya. International Journal of Research in Agricultural Sciences. 2: 2348–3997.

DaMatta, F.M., and J.D.C. Ramalho. 2006. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: A Review. Brazilian Journal of Plant Physiology. 18: 55–81.

DaMatta, F.M., C.P. Ronchi, M. Maestri, and R.S. Barros. 2010. Coffee: environment and crop physiology. P. 181-216. In: F.M. DaMatta. Ecophysiology of Tropical Tree Crops. Nova Science Publishers, NY.

DaMatta, F.M., R.T. Avila, A.A. Cardoso, S.C.V. Martins, and J.C. Ramalho. 2018. Physiological and Agronomic Performance of the Coffee Crop in the Context of Climate Change and Global Warming: A Review. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 66: 5264–5274.

Dias, P.C., W.L. Araujo, G.A.B.K. Moraes, R.S. Barros, and F.M. DaMatta. 2007. Morphological and physiological responses of two coffee progenies to soil water availability. Journal of Plant Physiology. 164: 1639–1647.

Júnior, S.A., R.S. Alexandre, E.R. Schmildt, F.L. Partelli, M.A.G Ferrão, and A.L. Mauri. 2020. Comparison between grafting and cutting as vegetative propagation methods for conilon coffee plants. Acta Scientiarum. 35: 461-469.

Kufa, T., and J. Burkhardt. 2013. Studies on root growth of *Coffea arabica* populations and its implication for sustainable management of natural forests. Journal of Agricultural and Crop Research. 1: 1-9.

Melke, A., and M. Fetene. 2014. Eco-physiological basis of drought stress in coffee (*Coffea arabica* L.) in Ethiopia. Theoretical and Experimental Plant Physiology. 26: 225-239.

Myer, R., A. Kawabata, A. Cho, and S.T. Nakamoto. 2020. Grafted coffee increases yield and survivability. HortTechnology. 30: 428-432.

Novaes, P., J.P.D. Souza, and C.H.B.A. Prado. 2011. Grafting for improving net photosynthesis of *Coffea arabica* in field in Southeast of Brazil. Experimental Agriculture. 47: 53-68.

Pham, T.T., B.L. Giang, N.H. Nguyen, P.N.D. Yen, V.D.M. Hoang, B.T.L. Ha, and N.T.T. Le. 2020. Combination of mycorrhizal symbiosis and root grafting effectively controls nematode in replanted coffee soil. Plants. 9: 1-11.

Pinheiro, H.A., F.M. DaMatta, A.R.M. Chaves, M.E. Loureiro, and C. Ducatti. 2005. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. Annals of Botany. 96: 101–108.

Roonprapant, P., A. Arunyanark, and C. Chutteang. 2021. Morphological and physiological responses to water deficit stress conditions of robusta coffee (*Coffea canephora*) genotypes in Thailand. Agriculture and Natural Resources. 55: 473–484.

Silva, P.E.M., P.C. Cavatte, L.E. Morais, E.F. Medina, and F.M. DaMatta. 2013. The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: Implications for breeding aimed at improving drought tolerance. Environmental and Experimental Botany. 87: 49–57.

Venancio, L.P., R. Filgueiras, E.C. Mantovani, C. H. Amaral, F.F. Cunha, F.C.S. Silva, D. Althoff, R.A. Santos, and P.C. Cavatte. 2020. Impact of drought associated with high temperatures on *Coffea canephora* plantations: a case study in Espírito Santo State, Brazil. Scientific Reports. 10: 1-20.

Wasaya, A., X. Zhang, Q. Fang, and Z. Yan. 2018. Root phenotyping for drought tolerance: A Review. Agronomy. 8: 1–19.