

อิทธิพลของต้นตออย่างพาราต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยา และการสะสมสารป้องกัน
แรงดันออสโมติกของกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ในสภาวะขาดน้ำ

Influence of Rubber Rootstocks on Physiological Response and Osmolyte Accumulation of
RRIT 251 Scion in Water Deficit Condition

ปรเมศร์ แก้วประเสริฐ^{1,2} กรกช นาคคณอง^{1*} จรัสศรี นวลศรี¹ และณัฐภากร วรอัธสิน³
Poramet Kaewprasert^{1,2}, Korakot Nakkanong^{1*}, Charassri Nualsri¹ and
Natthakorn Woraathasin³

Received: May 2, 2024

Revised: August 19, 2024

Accepted: August 21, 2024

Abstract: Appropriate water management is required for the rubber tree seedling to flourish during the growth phase, and the seedlings will suffer damage from insufficient irrigation. Potently, grafting the buds of extremely productive rubber clones onto sturdy rootstocks could increase the drought resistance of rubber plantations. This study aimed to examine the impact of RRIM 623 PB 5/51 and RRIT 251 rubber rootstocks on the physiological alterations of RRIT 251 scion in drought circumstances by assessing their resilience to drought. The effects of drought stress were assessed as changes in relative leaf water content, electrolyte leakage (EL), maximum quantum efficiency of PSII photochemistry (Fv/Fm), proline, glycine betaine, and total soluble sugar (TSS) content at different time points of water deficit conditions (0, 5, 8, and 11 days after water withholding). The results showed that RRIT 251 bud grafted on RRIT 251 rootstock (RRIT 251/RRIT 251) was more tolerant to drought conditions than RRIT 251 bud grafted on RRIM 623 (RRIT 251/RRIM 623) and rootstock PB 5/51 (RRIT 251/PB 5/51) throughout the experiment. RRIT 251/RRIT 251 had significantly higher relative leaf water content and maximum quantum efficiency of PSII photochemistry and TSS. Moreover, the electrolyte leakage, proline and glycine betaine content of RRIT 251/RRIT 251 were lower than that of RRIT 251/RRIM 623 and RRIT 251/PB 5/51. Our results suggest that RRIT 251 rootstock can improve drought tolerance of RRIT 251 scion higher than RRIM 623 and PB 5/51 rootstock.

Keywords: Para rubber, Rootstock, Scion, Water deficit condition

¹ สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรและการจัดการ (พืชศาสตร์) คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

¹ Agricultural Innovation and Management Division (Plant Science), Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla, 90110.

² ศูนย์วิจัยความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักพัฒนานวัตกรรมและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10900

² Center of Excellence on Agricultural Biotechnology (AG-BIO/MHESI), Bangkok 10900

³ สาขาวิชาวิทยาการเกษตรและประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี อ.เมือง จ.ปัตตานี 94000

³ Department of Agricultural and Fishery Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani Campus, Pattani, 94000

* Corresponding author: poramet.kaewprasert@gmail.com

บทคัดย่อ: ระยะต้นกล้าของยางพาราเป็นช่วงที่ต้องการน้ำปริมาณที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต หากเกิดการขาดน้ำจะทำให้ต้นกล้าได้รับความเสียหาย การคัดเลือกพันธุ์ยางพาราที่มีลักษณะทนทานต่อความแห้งแล้งเพื่อใช้เป็นต้นตอยางพารา เป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับต้นกล้ายางพาราในสภาวะแห้งแล้ง การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของต้นตอยางพาราพันธุ์ RRIM 623 PB 5/51 และ RRIT 251 ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ในสภาวะแห้ง จากการประเมินความสามารถในการทนแล้งในช่วงระยะเวลาของสภาวะแห้งที่แตกต่างกัน ได้แก่ หลังการงดน้ำ 0 5 8 และ 11 วัน โดยใช้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของใบ ปริมาณการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ (EL) ค่าประสิทธิภาพของการใช้แสง (Fv/Fm) ปริมาณโพรงน้ำ ไกลซีนบีเทน และปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำในใบ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กิ่งยางพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ RRIT 251 (RRIT 251/ RRIT 251) มีความทนต่อสภาวะแห้งได้ดีกว่ากิ่งยางพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ RRIM 623 (RRIT 251/RRIM 623) และ RRIT PB 5/51 (RRIT 251/PB 5/51) โดย RRIT 251/ RRIT 251 มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ค่าประสิทธิภาพของการใช้แสง และน้ำตาลที่ละลายน้ำสูงกว่า และมีปริมาณการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ ปริมาณโพรงน้ำ และไกลซีนบีเทน ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับ RRIT 251/ RRIM 623 และ RRIT 251/PB 5/51 จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าต้นตอยางพารา RRIT 251 สามารถส่งเสริมความสามารถในการทนแล้งของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ได้ดีกว่าต้นตอยางพารา RRIM 623 และ PB 5/51

คำสำคัญ: ยางพารา, ต้นตอ, กิ่งพันธุ์, สภาวะขาดน้ำ

คำนำ

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิต และส่งออกยางธรรมชาติเป็นอันดับต้นๆ ของโลก ยางพาราจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ และเป็นสินค้าเกษตรที่มีมูลค่าการส่งออกสูงเมื่อเทียบกับสินค้า และผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอื่นๆ ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกยางพาราอยู่ในภาคใต้ 64.2% และภาคตะวันออก เฉียงเหนือ 22.4% จังหวัดที่ปลูกมากที่สุดได้แก่ สุราษฎร์ธานี สงขลา นครศรีธรรมราช ตรัง และยะลา ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562; 2563) ปัจจุบันการขยายพันธุ์ยางพารานิยมใช้วิธีการติดตาเขียว เป็นวิธีการที่นำเอาแผ่นตาของยางสายพันธุ์แนะนำที่ให้ผลผลิตน้ำยางที่ดี มาติดเข้ากับต้นตอของยางพันธุ์พื้นเมืองที่ได้จากการเพาะเมล็ด ซึ่งมีระบบรากดี และต้านทานโรคต่างๆ ของแต่ละพื้นที่ปลูกได้ดีกว่ากิ่งยางพันธุ์ดี พันธุ์ยางพาราที่เกษตรกรในประเทศไทยนิยมปลูก คือ RRIM 600 และ RRIT 251 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตน้ำยางสูง และเจริญเติบโต โดยยางพาราพันธุ์ RRIM 600 สามารถปรับตัว และให้ผลผลิตได้ดีในเกือบทุกพื้นที่ ทนทานต่อการสภาพแห้งแล้งได้ดี (นุชนารถ และคณะ, 2553)

ให้ผลผลิตน้ำยางสด 10 ปี กรีดเฉลี่ย 263 กิโลกรัม/ไร่/ปี ส่วนยางพาราพันธุ์ RRIT 251 ให้ผลผลิตน้ำยางสดสูงกว่า โดยเฉลี่ย 8 ปี กรีด 343 กิโลกรัม/ไร่/ปี สูงกว่าพันธุ์ RRIM 600 ถึงร้อยละ 59 (กรมวิชาการเกษตร, 2554) อย่างไรก็ตามมีรายงานการเปรียบเทียบการเจริญเติบโต และผลผลิตยางพาราสายพันธุ์ RRIM 600 และ RRIT 251 ในภาคตะวันออก เฉียงเหนือ ในพื้นที่ปลูก 6 จังหวัด ได้แก่ สกลนคร หนองคาย อุดรธานี เลย บุรีรัมย์ และขอนแก่น ซึ่งพื้นที่ปลูกยางพาราแต่ละพื้นที่ที่ทำการศึกษามีปริมาณน้ำฝนที่แตกต่างกัน โดยปริมาณผลผลิตในสภาพแปลงที่มีปริมาณน้ำฝนรายปีมาก ได้แก่ สกลนคร หนองคาย และอุดรธานี ยางพารา RRIT 251 ให้ผลผลิตน้ำยางสดสูงกว่า RRIM 600 แต่ในสภาพแห้งแล้ง เช่น ในจังหวัดบุรีรัมย์ และขอนแก่น ผลผลิตของยางพาราไม่มีความแตกต่างกัน (วรรณทณี และคณะ, 2560) ซึ่งให้เห็นว่าพันธุ์ยาง RRIT 251 มีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตลดลงเมื่ออยู่ในสภาพแห้งแล้ง ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าสภาวะขาดน้ำส่งผลกระทบต่อปลูกยางพาราอย่างชัดเจนในหลายพื้นที่ อีกทั้งยังเป็นความท้าทายต่อนักวิจัยและเกษตรกร

ผู้เพาะปลูกยางพาราในอนาคตเมื่อโลกเข้าสู่สภาวะโลกร้อนมากขึ้น นอกจากยางพาราทั้งสองสายพันธุ์ที่กล่าวไปแล้วนั้น ยางพาราพันธุ์ PB 5/51 เป็นสายพันธุ์ที่สถาบันวิจัยยางแนะนำให้ใช้เป็นต้นต่อ เนื่องจากเป็นพันธุ์พื้นเมืองที่มีระบบรากลึก แข็งแรง และมีพัฒนาการดี นิยมใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ในการสร้างพันธุ์ใหม่ และใช้เป็นต้นต่อ ต้านทานต่อโรคราแป้ง ใบจุดที่เกิดจากเชื้อ *Colletorichum* sp. เส้นดำ และราสีชมพูในระดับปานกลาง และค่อนข้างต้านทานต่อโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อ *Phytophthora* sp. และใบจุดก้างปลา (กรมวิชาการเกษตร, 2554) อย่างไรก็ตาม พืชมีการเปลี่ยนแปลงทั้งลักษณะทางสรีรวิทยา และชีวเคมี เพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ซึ่งปริมาณความชื้นดินเป็นปัจจัยสภาพแวดล้อมสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของราก ต้นยางพาราแต่ละสายพันธุ์มีความสามารถในการเจริญเติบโต และปรับตัวภายใต้สภาวะแล้งที่แตกต่างกัน (Sterling *et al.*, 2019) อีกทั้งการติดตายยางพารามีเรื่องของอิทธิพลของต้นต่อเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งอาจทำให้การแสดงออกของต้นยางพาราแตกต่างไปจากเดิม ทั้งในเรื่องของการเจริญเติบโต และการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ จึงต้องมีการศึกษา และคัดเลือกพันธุ์ยางพาราที่มีความสามารถในการตอบสนองต่อความแล้งได้ดีในการใช้เป็นต้นต่อ เพื่อช่วยให้ต้นยางมีการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตในพื้นที่ที่มีความแห้งแล้งหรือมีปริมาณน้ำฝนน้อยได้ดีขึ้น (Yao *et al.*, 2017; Miranda *et al.*, 2020)

เมื่อพืชต้องเผชิญกับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต พืชจะมีการตอบสนองต่อความเครียดด้วยกลไกต่างๆ ร่วมกัน ทั้งทางด้านสรีรวิทยา เช่น การปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ เนื่องจากการลดลงของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (RWC) ในเซลล์พืช (Wang, 2014) และทางด้านชีวเคมี เช่น การสะสมสารควบคุมออสโมซิส ซึ่งเป็นโมเลกุลของสารอินทรีย์ขนาดเล็ก ได้แก่ โพรลีน ไกลซีนบีเทน และน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ เช่น กลูโคส และฟรุกโตสที่สลายจากแป้ง (Chen and Murata, 2002) การสะสมสารเหล่านี้จะให้น้ำจากภายนอก

เซลล์ไหลเข้าสู่เซลล์และช่วยรักษาความต่งของเซลล์ การใช้ น้ำของพืชจึงมีประสิทธิภาพมากขึ้น และช่วยให้พืชยังคงเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะแล้ง (Ludlow and Muchow, 1990; Subbarao *et al.*, 2000) อรรถวรรณ (2561) รายงานว่า ยางพาราภายใต้สภาวะแล้งที่รุนแรงขึ้นมีการสะสมโพรลีนมากขึ้น และสายพันธุ์ที่ทนทานต่อสภาวะแล้งมากที่สุด มีการสะสมโพรลีนสูงสุด เมื่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลง พืชปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ยังส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลงเช่นเดียวกัน อีกทั้งทำให้พืชเกิดความเครียด และมีการสะสมสารอนุมูลอิสระ เมื่อมีปริมาณมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative damage) (You and Chan, 2015) เกิดการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte leakage; EL) (Ragel *et al.*, 2019) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นประจุของ K^+ ที่มีความเกี่ยวข้องกับการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งทำหน้าที่ในการย่อยโปรตีน (protease) และกรดนิวคลีอิก (endonuclease) ภายในเซลล์ การเคลื่อนย้าย K^+ ออกจากเซลล์จึงเป็นการกระตุ้นการทำงานของ protease และ endonuclease และนำไปสู่ (Demidchik *et al.*, 2014; Ragel *et al.*, 2019) การเจริญเติบโตที่ลดลง การให้ผลผลิตลดลง หรือตายได้ กระบวนการต่างๆ ที่พืชตอบสนองต่อสภาวะขาดน้ำนั้น เพื่อให้พืชสามารถทนทานต่อสภาวะขาดน้ำได้มากที่สุด พืชแต่ละชนิดมีรูปแบบการตอบสนองที่แตกต่างกันออกไป เช่น เดียวกันกับยางพาราสายพันธุ์ต่างๆ

ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้เพื่อศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาและการสะสมสารควบคุมออสโมซิสที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการทนต่อสภาวะขาดน้ำของยางพารา และเปรียบเทียบความสามารถในการทนต่อสภาวะขาดน้ำของกิ่งพันธุ์ที่ได้รับอิทธิพลจากต้นต่อ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นประกอบการคัดเลือกพันธุ์ยางพาราสำหรับใช้เป็นต้นต่อที่ทำให้ต้นกล้ายางพาราที่มีความสามารถในการทนต่อสภาวะขาดน้ำได้ดีต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างในการทดลอง และการติดตามพารา

เก็บรวบรวมเมล็ดงาพันธุ์ PB 5/51 RRIM 623 และ RRIT 251 มาเพาะเพื่อเตรียมต้นกล้าในกระถางขนาด 12x18 นิ้ว โดยมีส่วนผสมของวัสดุปลูกเป็นหน้าดิน ประเภทดินร่วนปนทราย ผสมแกลบ ในอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร ภายในโรงเรือน ใส่ปุ๋ย 15-15-15 ทุก 1 เดือน รดน้ำทุกวันประมาณ 1-2 ลิตรต่อต้นต่อวัน และกำจัดวัชพืชในบริเวณที่ทำการทดลองอย่างสม่ำเสมอ เมื่อต้นงาอายุ 6-8 เดือน หรือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นประมาณ 1 เซนติเมตร ทำการติดตามกับกิ่งพันธุ์ RRIT 251 หลังจากนั้น 9 เดือน คัดเลือกต้นที่มีความสมบูรณ์เท่ากันมาทำการทดลอง โดยงดการให้น้ำเป็นเวลา 11 วัน เก็บตัวอย่าง และบันทึกข้อมูลทางสรีรวิทยาต่างๆ ในวันที่ 0 (ยังคงมีการรดน้ำในช่วงเช้า) 5 8 และ 11 วันของการงดการให้น้ำ โดยดัดแปลงวิธีการจาก อรรวรรณ (2561) ในช่วงที่ทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 0 ถึง 11 บริเวณโรงเรือนทดลองมีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 27.11 ± 0.48 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ $79.09 \pm 19.18\%$ จัดสิ่งทดลองตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ประกอบด้วย 3 ทรีตเมนต์ ได้แก่ กิ่งพันธุ์ PB 5/51 ที่ติดตามต่อ RRIT 251 (RRIT 251/PB 5/51) กิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามต่อ RRIM 623 (RRIT 251/RRIM 623) และกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามต่อ PB 5/51 (RRIT 251/RRIT 251) ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ต้น เก็บตัวอย่างใบยาวพาราที่ได้จากการติดตามงาพันธุ์ RRIT 251 บนต่อ RRIM 623 PB 5/51 และ RRIT 251 เพื่อใช้ในการศึกษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ การร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ปริมาณสารควบคุมออกซิโมซิส ได้แก่ โพรลีน ไกลซีนปีเทน และน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ ในวันที่ 0 5 8 และ 11 ของการงดน้ำ

2. การวัดประสิทธิภาพการให้แสง

บันทึกค่าประสิทธิภาพการให้แสงของใบระยะเพลลาดที่อยู่ใต้นครที่สามของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นต่อ RRIM 623 PB 5/51

และ RRIT 251 พันธุ์ละ 9 ต้น ต้นละ 2 ค่า ในวันที่ 0 5 8 และ 11 ของการงดน้ำ โดยใช้เครื่องมือ Handy PEA Plus (Hansatech instruments Ltd.,UK) ทำการบันทึกในช่วง 7:00 ถึง 11:00 ของวัน ซึ่งเป็นการวัดความแตกต่างของความสามารถในการดูดซับพลังงานแสงของระบบแสง II ในระหว่างที่ศูนย์กลางปฏิกิริยา (reaction center) ทั้งหมดอยู่ในสภาพปิดเมื่อไม่ได้รับแสง ซึ่งในขณะนั้นเครื่องจะบันทึกว่ามีการแผ่รังสีฟลูออเรสเซนซ์ต่ำที่สุด (minimum fluorescence, F0) และอยู่ในสภาพเปิดเมื่อได้รับแสงอย่างเต็มที่ ซึ่งในขณะนั้นเครื่องจะบันทึกว่ามีการแผ่รังสีฟลูออเรสเซนซ์สูงที่สุด (maximum fluorescence, Fm) จากนั้นเครื่องจะทำการคำนวณผลต่างของทั้งสองค่า (variable fluorescence, Fv = Fm - F0) และคำนวณอัตราส่วนของ Fv/Fm หรือค่าประสิทธิภาพการให้แสง ซึ่งในพืชหลายชนิดมีค่าประสิทธิภาพการให้แสงที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.79-0.84 หากมีค่าลดลงแสดงว่าพืชมีอาการเครียดเกิดขึ้น (Maxwell and Johnson, 2000)

3. ปริมาณน้ำสัมพัทธ์

เปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (RWC) ระหว่างใบของต้นงาที่ติดตามบนต้นต่อ RRIM 623 PB 5/51 และ RRIT 251 ตามวิธีของ Wang (2014) โดยตัดชิ้นส่วนใบเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 1 ตารางเซนติเมตร จำนวน 5 ชิ้น ชั่งน้ำหนักสด (Fresh weight: FW) ใส่ลงในหลอดทดลองที่เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิท และเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ใบยาวพาราดูดซับน้ำได้อย่างเต็มที่ ชั่งน้ำหนักเต่ง (Turgid weight: TW) จากนั้นอบชิ้นส่วนใบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักแห้ง (Dry weight: DW) เพื่อคำนวณค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์โดยมีค่าเท่ากับร้อยละของอัตราส่วนระหว่างผลต่างของน้ำหนักสดกับน้ำหนักแห้งของใบต่อผลต่างของน้ำหนักเต่งกับน้ำหนักแห้งของใบ ตามสูตร $RWC = [(FW-DW)/(TW-DW)] \times 100$

4. การวัดปริมาณการร่วงไหลของสารนำประจุไฟฟ้า

เปรียบเทียบปริมาณการร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ระหว่างใบของต้นงาที่ติดตามบนต้นต่อ RRIM

623 PB 5/51 และ RRIT 251 โดยตัดตัวอย่างใบสด ให้มีขนาด 5 ตารางเซนติเมตร จำนวน 10 ชิ้น ใส่ในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่นปราศจากไอออน 20 มิลลิลิตร แล้วปิดหลอดด้วยฝาพลาสติก นำไปวางในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นวัดค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้นของตัวอย่าง (EC_1) แล้วนำไปหนึ่งในหม้อหนึ่งแรงดันที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และวัดค่าการนำไฟฟ้าสุดท้าย (EC_2) (Dionisio-Sese and Tobita, 1998) นำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ได้จากสูตร $EL = (EC_1/EC_2) \times 100$

5. การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอทั้ง 3 สายพันธุ์ (PB 5/51 RRIM 623 และ RRIT 251) ภายใต้สภาวะขาดน้ำ

บันทึกภาพกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอทั้ง 3 พันธุ์ (PB 5/51 RRIM 623 และ RRIT 251) ภายใต้สภาวะขาดน้ำ โดยตัดแปลงวิธีการจาก อรวรรณ (2561) และ ชูติมา (2562) สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานวิทยาของต้นกล้า ยางพารา โดยการให้คะแนนระดับความเหี่ยว ในวันที่ 0 5 8 และ 11 ของการงดการให้น้ำเพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองต่อสภาวะขาดน้ำ โดยประเมินจากลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏโดยให้คะแนนดังนี้

- 1 ต้นยางพาราเป็นปกติ
- 2 ใบเริ่มแสดงอาการเหี่ยว
- 3 ใบแสดงอาการเหี่ยวชัดเจน มุมใบเริ่มเปลี่ยนเล็กน้อย
- 4 ใบ และก้านใบเหี่ยว เริ่มพบการเหี่ยวของปลายยอด และมุมใบเปลี่ยน ใบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง
- 5 ใบ ก้านใบ และปลายยอดเหี่ยว มุมใบเริ่มเปลี่ยน ใบเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

6. การศึกษาอิทธิพลของต้นตอต่อปริมาณสารควบคุมแรงดันออสโมติก

6.1 ปริมาณโพรลีน

เปรียบเทียบปริมาณโพรลีนระหว่างใบ

ของต้นยางที่ติดตามต้นตอ RRIM 623 PB 5/51 และ RRIT 251 จากการดัดแปลงวิธีของ Bates *et al.* (1973) โดยนำตัวอย่างใบสด น้ำหนัก 0.5 กรัม มาบดในไนโตรเจนเหลว และเติม sulfosalicylic acid ความเข้มข้น 3% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 และนำสารละลายที่กรองได้ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับ acid ninhydrin ปริมาตร 4 มิลลิลิตร (เตรียมจากการละลาย ninhydrin น้ำหนัก 0.1 กรัม กับ glacial acetic acid ปริมาตร 2.4 มิลลิลิตร และความเข้มข้น 6 โมลาร์ phosphoric acid ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร) โดยต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และหยุดปฏิกิริยาโดยการแช่ตัวอย่างในอ่างน้ำแข็ง เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติม toluene ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และวางทิ้งไว้จนอุณหภูมิของตัวอย่างเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำส่วนบนของสารละลายวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของโพรลีนในตัวอย่างกับโพรลีนที่ทราบความเข้มข้นวางแผนการทดลองแบบ CRD ประกอบด้วย 3 ทรีตเมนต์ โดยมีทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ต้น

6.2 ปริมาณไกลซีนบีเทน

เปรียบเทียบปริมาณไกลซีนบีเทนระหว่างใบของกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ RRIM 623 PB 5/51 และ RRIT 251 จากการดัดแปลงวิธีของ Grieve and Grattan (1983) โดยบดตัวอย่างใบสด น้ำหนัก 0.5 กรัม ให้ละเอียดในไนโตรเจนเหลว เติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนปริมาตร 20 มิลลิลิตร และนำสารละลายวางบนเครื่องเขย่าสาร ความเร็ว 80 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำส่วนที่กรองได้ปริมาตร 750 มิลลิลิตร ผสมกับ 1 นอร์แมล H_2SO_4 ปริมาตร 250 มิลลิลิตร แช่สารละลายในน้ำแข็งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเติม $KI-I_2$ ปริมาตร 400 ไมโครลิตร (เตรียมจากการละลาย I_2 ปริมาณ 15.7 กรัม และ KI ปริมาณ 20 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร) และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ

4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ดูดสารละลายออกให้เหลือแต่ตะกอน และละลายตะกอนโดยเติม 1,2-dichloroethane ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ตั้งสารละลายทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 365 นาโนเมตร โดยใช้ 1,2-dichloroethane เป็นสารละลายมาตรฐาน โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของไกลซีนปีเทนในตัวอย่างกับไกลซีนปีเทนที่ทราบความเข้มข้น

6.3 ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้

เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ระหว่างใบของกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ RRIM 623 PB 5/51 และ RRIT 251 จากการดัดแปลงวิธีของ Irigoyen *et al.* (1992) โดยบดตัวอย่างใบสดน้ำหนัก 0.1 กรัม ใส่ไนโตรเจนเหลว บรรจุใส่หลอดขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นสกัดน้ำตาลที่ละลายน้ำได้โดยเติมเอทานอลความเข้มข้น 80% ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และต้มที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นวางบนน้ำแข็งให้เย็น ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ดูดสารละลายส่วนบนเก็บไว้ และสกัดอีก 2 รอบ นำสารละลายที่ได้จากการสกัดทั้ง 3 รอบมารวมกัน ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลาย anthrone (เตรียมได้จากการละลาย anthrone ปริมาณ 150 มิลลิกรัม ใน H_2SO_4 ความเข้มข้น 72% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร โดยต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 10 นาที และหยุดปฏิกิริยาโดยการวางบนน้ำแข็งทันที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร โดยใช้สารละลาย anthrone เป็นสารละลายมาตรฐาน โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ในตัวอย่างกับน้ำตาลกลูโคสที่ทราบความเข้มข้น

7. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย และความแปรปรวนของข้อมูลด้วยโปรแกรม R version 2.14.2 (อรรรรณ, 2561) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการทดลอง

1. ปริมาณน้ำสัมพัทธ์

จากการวัดปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ PB5/51 RRIM 623 และ RRIT 251 หลังการงดการให้น้ำในวันที่ 0 5 8 และ 11 พบว่า ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 มีแนวโน้มต่ำลงตามระยะเวลาของการงดการให้น้ำที่ยาวนานขึ้น โดยปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ PB 5/51 RRIM 623 และ RRIT 251 ไม่มีความแตกต่างกันในช่วง 5 วันแรกของการงดการให้น้ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 81% - 84% ในวันที่ 8 ของการงดการให้น้ำ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ PB 5/51 มีค่า 61% ซึ่งต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ RRIM 623 และ RRIT 251 (74% และ 78% ตามลำดับ) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างต้นตอ RRIM 623 และ RRIT 251 และในวันที่ 11 ของการงดการให้น้ำ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ PB 5/51 RRIM 623 และ RRIT 251 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ PB 5/51 มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ต่ำที่สุด 14% รองลงมาคือกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ RRIM 623 และ RRIT 251 (39% และ 62%) ตามลำดับ (Figure 1)

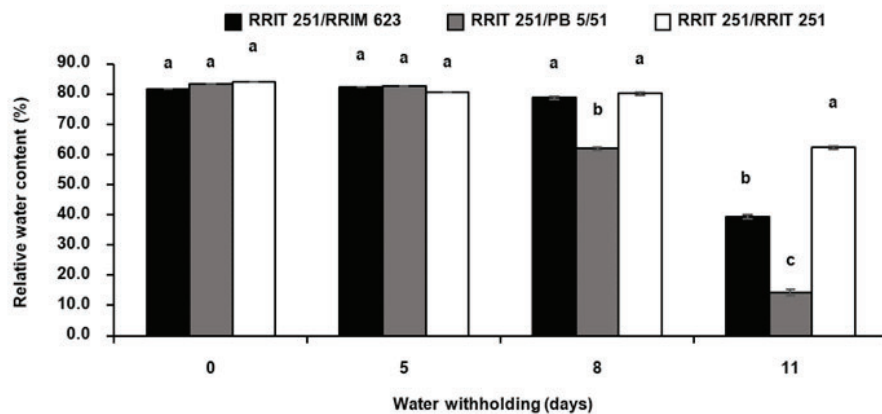


Figure 1 Relative water content of RRIT 251 scion bud grafted on 3 rootstock clones (PB 5/51, RRIM 623 and RRIT 251) in drought condition after withholding water for 0, 5, 8 and 11 days. Different letters in the same days between rootstock are significantly different ($P<0.05$) according to DMRT (mean \pm SD).

2. ประสิทธิภาพการใช้แสง

จากการวัดค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตาบนต้นตอ PB 5/51 RRIM 623 และ RRIT 251 หลังการงดการให้น้ำในวันที่ 0 5 8 และ 11 พบว่า ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 มีแนวโน้มต่ำลงตามระยะเวลาของการงดการให้น้ำที่ยาวนานขึ้น โดยค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตาบนต้นตอ PB 5/51 RRIM 623 และ RRIT 251 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในวันที่ 0 และ 5 ของการงดการให้น้ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.83 - 0.84 ในวันที่ 8 ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตาบนต้นตอ PB 5/51 มีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (0.69 และ 0.13 ตามลำดับ) เมื่อ

เปรียบเทียบกับกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตาบนต้นตอ RRIM 623 (0.78 และ 0.56 ตามลำดับ) และ RRIT 251 (0.78 และ 0.60 ตามลำดับ) แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างต้นตอ RRIM 623 และ RRIT 251 และในวันที่ 11 ของการงดการให้น้ำ ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตาบนต้นตอ PB 5/51 RRIM 623 และ RRIT 251 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตาบนต้นตอ PB 5/51 มีค่าประสิทธิภาพการใช้แสง 0.090 ซึ่งต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตาบนต้นตอ RRIM 623 และ RRIT 251 (0.557 และ 0.689) ตามลำดับ (Figure 2)

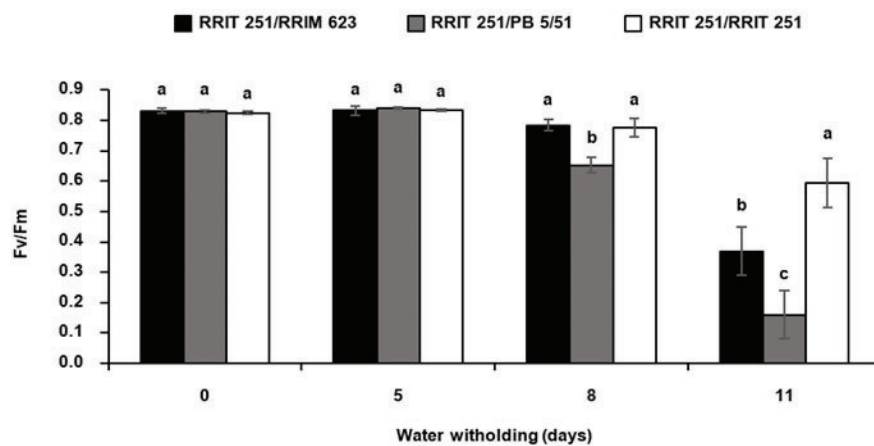


Figure 2 Photochemical efficiency (Fv/Fm) of RRIT 251 scion bud grafted on 3 rootstock clones (PB 5/51, RRIM 623 and RRIT 251) in drought condition after withholding water for 0, 5, 8 and 11 days. Different letters in the same days between rootstock are significantly different ($P<0.05$) according to DMRT (mean \pm SD).

3. ปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์

จากการวัดปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ในใบของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอ PB 5/51 RRIM 623 และ RRIT 251 หลังการงดการให้น้ำในวันที่ 0 5 8 และ 11 พบว่า ปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ในใบของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 มีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาของการงดการให้น้ำที่ยาวนานขึ้น โดยในวันที่ 0 ของการงดการให้น้ำ ปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ในใบของกิ่งพันธุ์ RRIT251 ที่ติดตามบนต้นตอ PB 5/51 RRIM 623 และ RRIT 251 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยอยู่ในช่วง 6-7% ในวันที่ 5 ของการงดการให้น้ำ ปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของกิ่งพันธุ์ RRIT251 ที่ติดตามบนต้นตอ PB 5/51 RRIM 623 และ RRIT 251 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอ

RRIT 251 มีปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ 6.6% ซึ่งต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกิ่งพันธุ์ RRIT251 ที่ติดตามบนต้นตอ RRIM 623 และ PB 5/51 (9.6% และ 10.6%) ตามลำดับ ในวันที่ 8 ของการงดการให้น้ำ กิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอ RRIT 251 มีปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ 6.85% ซึ่งต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอ RRIM 623 และ PB 5/51 (6.85% และ 11.25% ตามลำดับ) และในวันที่ 11 ของการงดการให้น้ำ ปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอ RRIT 251 (10.01%) และ RRIM 623 (14.88%) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีปริมาณต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอ PB 5/51 (24.75%) (Figure 3)

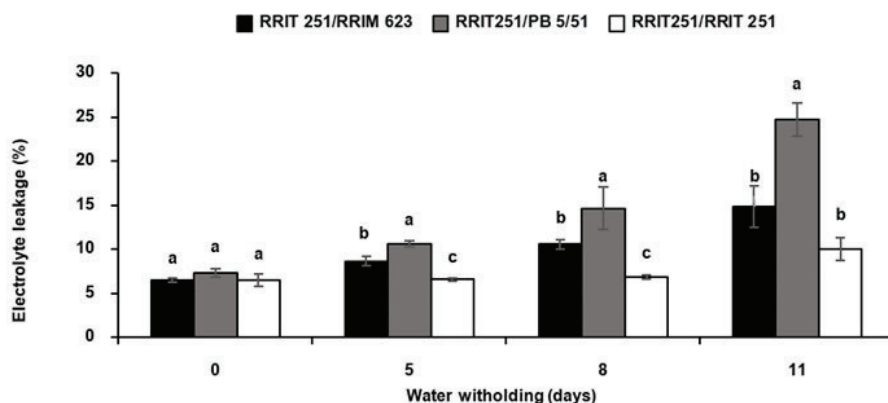


Figure 3 Electrolyte leakage of RRIT 251 scion bud grafted on 3 rootstock clones (PB 5/51, RRIM 623 and RRIT 251) in drought condition after withholding water for 0, 5, 8 and 11 days. Different letters in the same days between rootstock are significantly different ($P < 0.05$) according to DMRT (mean \pm SD).

4. การบันทึกภาพถ่าย

จากการบันทึกภาพถ่ายลักษณะสัณฐานวิทยาของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอ PB 5/51 RRIM 623 และ RRIT 251 หลังการงดการให้น้ำในวันที่ 0 5 8 และ 11 พบว่า ในช่วง 5 วันแรก กิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอทั้ง 3 สายพันธุ์ ยังคงอยู่ในสภาพปกติ ไม่พบอาการขาดน้ำหรือการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา แต่หลังจากการงดการให้น้ำเป็นเวลา 8 วัน กิ่งพันธุ์ RRIT251 ที่ติดตามบนต้นตอ PB 5/51 เริ่มแสดงอาการเหี่ยวของใบ

ในขณะที่กิ่งพันธุ์ RRIT251 ที่ติดตามบนต้นตอ RRIM 623 และ RRIT 251 ยังคงอยู่ในสภาพปกติ และในวันที่ 11 ของการงดการให้น้ำกิ่งพันธุ์ RRIT251 ที่ติดตามบนต้นตอ RRIM 623 มีอาการเหี่ยวของใบชัดเจน ส่วนกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอ PB 5/51 มีอาการเหี่ยวของใบและก้านใบ โดยเริ่มพบการเหี่ยวของปลายยอด และการเปลี่ยนแปลงของมุมใบที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ในขณะที่กิ่งพันธุ์ RRIT 251 ติดตามบนต้นตอ RRIT 251 เริ่มแสดงอาการเหี่ยวของใบ (Figure 4)

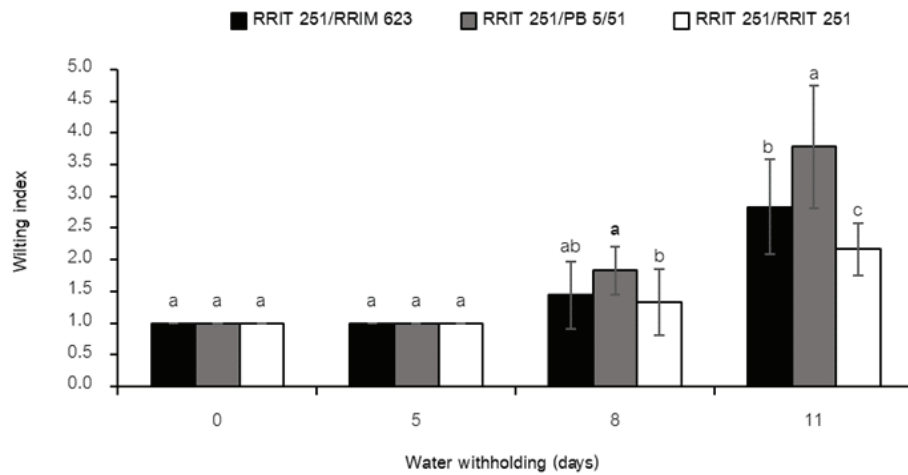


Figure 4 Wilting index of RRIT 251 scion bud grafted on 3 rootstock clones (PB 5/51, RRIM 623 and RRIT 251) in drought condition after withholding water for 0, 5, 8 and 11 days. Different letters in the same days between rootstock are significantly different ($P < 0.05$) according to DMRT (mean \pm SD).

5. การศึกษาอิทธิพลของต้นตอต่อปริมาณสารควบคุมแรงดันออสโมซิส

สำหรับปริมาณโพรลีนในใบของกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ PB 5/51 RRIM 623 และ RRIT 251 หลังการงดการให้น้ำในวันที่ 0 5 8 และ 11 พบว่า ปริมาณโพรลีนในใบของกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 มีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาของการงดการให้น้ำที่ยาวนานขึ้น โดยในวันที่ 0 และ 5 ของการงดการให้น้ำ ปริมาณโพรลีนในกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ RRIM 623 (4.21 และ 4.46 ไมโครโมลต่อกรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ) และ PB 5/51 (4.15 และ 4.14 ไมโครโมลต่อกรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ) มีปริมาณสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกิ่งพันธุ์ดีที่

ติดตามต้นตอ PB 5/51 และ RRIT 251 (1.70 และ 2.09 ไมโครโมลต่อกรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ) แต่หลังจากนั้นในวันที่ 8 และ 11 ของการงดการให้น้ำ ปริมาณโพรลีนในใบของกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอทั้ง 3 สายพันธุ์มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยปริมาณโพรลีนในใบของกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ PB 5/51 (27.62 และ 33.35 ไมโครโมลต่อกรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ) มีแนวโน้มสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ RRIM 623 (15.87 และ 18.11 ไมโครโมลต่อกรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ) และ RRIT 251 (9.25 และ 13.29 ไมโครโมลต่อกรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ) (Figure 5)

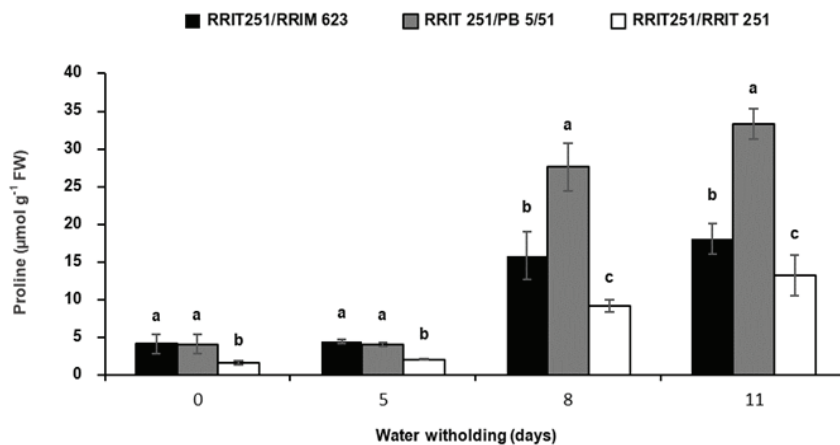


Figure 5 Proline content of RRIT 251 scion bud grafted on 3 rootstock clones (PB 5/51, RRIM 623 and RRIT 251) in drought condition after withholding water for 0, 5, 8 and 11 days. Different letters in the same days between rootstock are significantly different ($P < 0.05$) according to DMRT (mean \pm SD).

สำหรับปริมาณไกลซีนบีเทนในใบของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ PB 5/51 RRIM 623 และ RRIT 251 หลังการงดการให้น้ำในวันที่ 0 5 8 และ 11 พบว่า ปริมาณไกลซีนบีเทนในใบของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ RRIM 623 และ PB 5/51 มีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วง 0-8 วันของการงดการให้น้ำ และลดลงในวันที่ 11 ของการงดการให้น้ำ ในขณะที่ปริมาณไกลซีนบีเทนในใบของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ RRIT 251 ลดลงในวันที่ 5 ของการงดการให้น้ำ และสูงขึ้นเล็กน้อยในช่วง 8-11 วันของการงดการให้น้ำ โดยในวันที่ 0 ของการงดการให้น้ำ กิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ RRIM 623 มีปริมาณไกลซีนบีเทน 106 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ RRIT 251 และ PB 5/51 (90.19 และ 81.71 ไมโครกรัม

ต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) ในช่วงวันที่ 5-8 ของการงดการให้น้ำ ปริมาณไกลซีนบีเทนของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ PB 5/51 (133.50 และ 141.39 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) และ RRIM 623 (116.61 และ 124.23 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีปริมาณสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับ กิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ RRIT 251 (69.84 และ 78.14 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ) และ วันที่ 11 ของการงดการให้น้ำ ปริมาณไกลซีนบีเทนในใบของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ PB 5/51 RRIM 623 และ RRIT 251 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ PB 5/51 มีปริมาณไกลซีนบีเทนสูงสุด รองลงมาคือ RRIM 623 และ RRIT 251 ตามลำดับ (Figure 6)

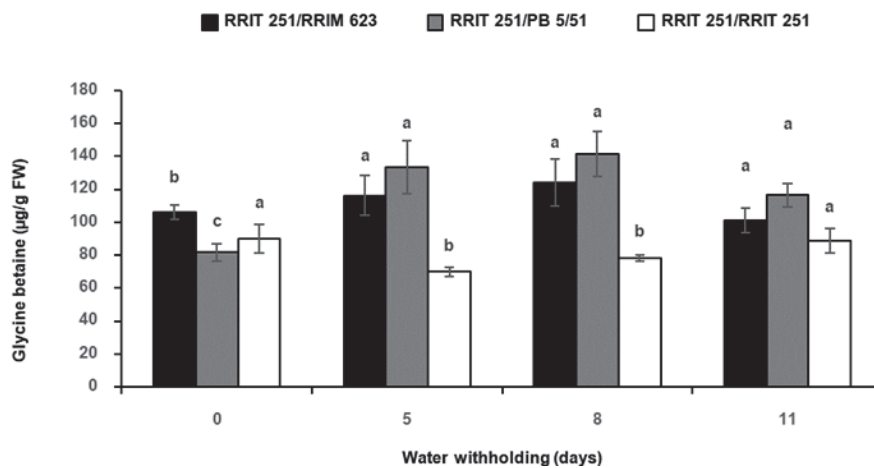


Figure 6 Glycine betaine content of RRIT 251 scion bud grafted on 3 rootstock clones (PB 5/51, RRIM 623 and RRIT 251) in drought condition after withholding water for 0, 5, 8, and 11 days. Different letters in the same days between rootstock are significantly different ($P < 0.05$) according to DMRT (mean \pm SD).

จากการวัดปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำในใบของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ PB 5/51 RRIM623 และ RRIT251 หลังการงดการให้น้ำในวันที่ 0 5 8 และ 11 พบว่า ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำในใบของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 มีแนวโน้มสูงขึ้นในวันที่ 5 ของการงดการให้น้ำ และต่ำลงในช่วง 8-11 วันของการงดการให้น้ำ ในวันที่ 0 ของการงดการให้น้ำ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในใบของกิ่งพันธุ์ RRIT 251

ที่ติดตามต้นตอ PB5/51 RRIM 623 และ RRIT251 มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ กิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ PB 5/51 มีปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำสูงที่สุด (26.74 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) รองลงมาคือกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามต้นตอ RRIM 623 (23.53 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) และ RRIT 251 (20.18 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด) ตามลำดับ ในวันที่ 5-8 ของการงดการ

ให้น้ำ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในใบของกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตาบนต้นตอ RRIT 251 มีปริมาณสูงกว่า อย่างมีนัยสำคัญ (29.88 และ 22.64 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตาบน RRIM 623 (25.54 และ 15.83 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ) และต้นตอ PB 5/51 (23.17 และ 12.80 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ) ตามลำดับ และในวันที่ 11 ของการงดการ

ให้น้ำ ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำในใบของกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตาบนต้นตอ PB 5/51 RRIM623 และ RRIT251 มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตาบนต้นตอ RRIT 251 มีปริมาณ น้ำตาลที่ละลายน้ำสูงที่สุด (15.33 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักสด) รองลงมาคือ กิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตาบน ต้นตอ PB 5/51 (8.61) และ RRIM 623 (6.51 มิลลิกรัม ต่อกรัม น้ำหนักสด) ตามลำดับ (Figure 7)

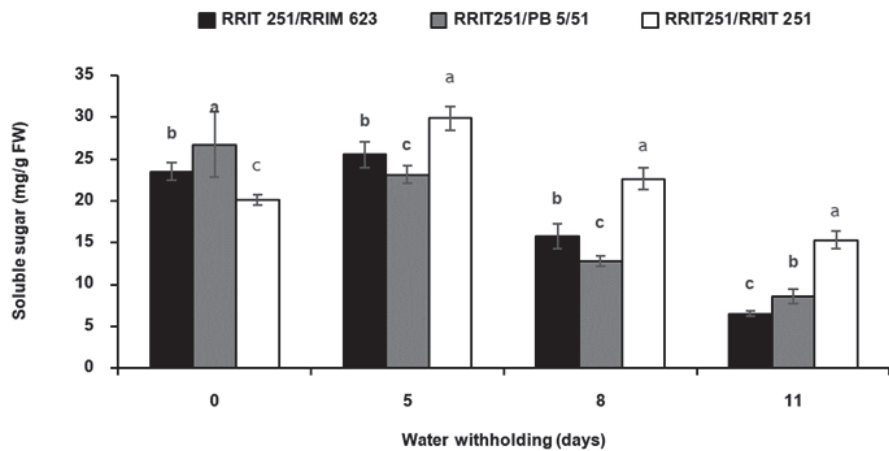


Figure 7 Soluble sugar content of RRIT 251 scion bud grafted on 3 rootstock clones (PB 5/51, RRIM 623 and RRIT 251) in drought condition after withholding water for 0, 5, 8 and 11 days. Different letters in the same days between rootstock are significantly different ($P < 0.05$) according to DMRT (mean \pm SD).

วิจารณ์

การขาดน้ำส่งผลให้ค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในเซลล์ลดลง ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของกิ่งพันธุ์ดีมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการงดการให้น้ำที่ยาวนานขึ้น โดยในช่วงวันที่ 0 จนถึงวันที่ 5 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ไม่ได้มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อการงดการให้น้ำไปจนถึงวันที่ 8 และ 11 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของกิ่งพันธุ์ดี RRIT251 ที่ติดตาบนต้นตอทุกสายพันธุ์ลดลงอย่างชัดเจน โดยเฉพาะต้นตอ PB 5/51 ที่ลดลงต่ำที่สุด เช่นเดียวกับกับการศึกษาของ Wang (2014) ที่พบในต้นยางพาราสายพันธุ์ GT1 เมื่องดให้น้ำเป็นเวลา 9 วัน อีกทั้งจากการศึกษาของ อรวรรณ (2561) และ ชุตติมา (2562) พบว่า ในช่วงวันที่ 0 จนถึงวันที่ 5 ของการงดการให้น้ำ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในต้นกล้ายางพาราแต่ละสายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกัน แต่จะค่อยๆ ลดลงตั้งแต่วันที่ 7 จนถึงวันที่ 11 ของการ

งดน้ำ โดยต้นกล้าพันธุ์ RRIT 251 มีความสามารถในการรักษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ได้สูงที่สุด รองลงมาคือ RRIM 623 และ PB 5/51 มีค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ต่ำที่สุด ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำในใบของกิ่งพันธุ์ดีมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์สอดคล้องกับการรายงานของ dos Santos *et al.* (2019) ที่ศึกษากลไกทางสรีรวิทยาที่ทำให้เกิดความสามารถในการทนต่อสภาวะแล้งของต้นตอ ยางพารา 4 สายพันธุ์ ได้แก่ GT 1 IAC 40 PR 255 และ RRIM 600 จากการงดน้ำเป็นเวลา 32 วัน พบว่า ต้นยางพาราทั้ง 4 สายพันธุ์ มีประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของคลอโรฟิลล์ลดลงเมื่อสภาวะแล้งรุนแรงหรือยาวนานขึ้น ทั้งนี้เมื่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลง พืชจะปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง และมีการสะสม

สารอนุมูลอิสระ (อรวรณ, 2561; ชุติมา, 2562) ในขณะเดียวกัน Wang *et al.* (2018) รายงานว่าการลดลงของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง รวมทั้งการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในการสังเคราะห์ด้วยแสงในสภาวะแล้ง เกิดจากการสร้างสารอนุมูลอิสระ (ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และซิงเกิ้ลทออกซิเจน) ที่มากเกินไป ส่งผลต่อการลดลงของโปรตีน D1 ที่ทำหน้าที่ในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของพลาสโตควิโนน (Plastoquinone, PQ) จาก PQ1 ไปยัง PQ2 ซึ่งส่งผลให้เกิดการขาดพลังงาน (ATP) และการสังเคราะห์เอนไซม์รูบิสโค (RuBisCO) ที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง ดังนั้นประสิทธิภาพการใช้แสงของยางพารามีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์ชัดเจนกับค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ และการสะสมของสารอนุมูลอิสระ อีกทั้งยังเป็นหนึ่งในดัชนีชี้วัดความทนทานต่อสภาวะขาดน้ำของยางพาราได้ดี นอกจากนี้ การสะสมสารอนุมูลอิสระอยู่ในระดับสูง ทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (You and Chan, 2015) ส่งผลให้มีปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ในใบของกิ่งพันธุ์ดีมากขึ้น โดยในวันที่ 5-11 ของการงดการให้น้ำ ปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอทุกสายพันธุ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่องดการให้น้ำเป็นเวลา 11 วัน ปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของกิ่งพันธุ์ดีที่ติดตามบนต้นตอ PB 5/51 มีปริมาณการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์สูงกว่าการติดตามบนต้นตอสายพันธุ์อื่นๆ สอดคล้องกับการรายงานของ อรวรณ (2561) และ ชุติมา (2562) พบว่า การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ในต้นกล้ายางพาราแต่ละสายพันธุ์ค่อยๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 7 จนถึงวันที่ 11 ของการงดน้ำ โดยต้นกล้าพันธุ์ RRIT 251 และ RRIM 623 มีค่าต่ำที่สุด ในขณะที่ PB 5/51 มีค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์สูงที่สุด ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อพิจารณาค่าร้อยละของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ และค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์จากการทดลองในครั้งนี้ เปรียบเทียบกับการรายงานของ อรวรณ (2561) และ ชุติมา (2562) พบว่า อิทธิพลของต้นตอ และความเข้ากันได้ของต้นตอ อาจส่งผลให้ยางพาราทนทานต่อสภาวะแล้งได้มากขึ้น

ซึ่งสอดคล้องกับ อุไรพร (2563) ที่ศึกษาความเข้ากันได้ของต้นตอ และกิ่งพันธุ์ดีของยางพารา พบว่า RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอพันธุ์ RRIT 251 มีความเข้ากันได้ดี ในขณะที่ RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอพันธุ์ PB 5/51 เข้ากันได้ไม่ดี ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า กิ่งพันธุ์ดี และต้นตอที่มีความเข้ากันได้ดี มีส่วนสำคัญในการส่งเสริมความทนทานต่อสภาวะเครียดจากการขาดน้ำได้ ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่า ต้นกล้าพันธุ์ RRIT 251 มีความสามารถในการทนแล้งได้ดีที่สุด รองลงมาคือ RRIM 623 และ PB 5/51 ตามลำดับ

พืชที่ทนต่อความแห้งแล้งจะมีการปรับศักยภาพออสโมซิส (osmotic potential) ภายในเซลล์ให้ต่ำลง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดน้ำมาใช้ในการดำรงชีวิต ทำให้มีการสร้าง และสะสมสารกลุ่ม protective metabolites เพื่อปรับค่าศักย์ของน้ำในเซลล์ (water potential) (ลิลลี่ และคณะ, 2552) โดยจากผลการทดลองพบว่า การงดการให้น้ำที่ระยะเวลามากขึ้น ส่งผลให้การสะสมโปรตีนค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น และเพิ่มสูงสุดหลังงดการให้น้ำเป็นเวลา 11 วัน โดยกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอ PB 5/51 มีการสะสมโปรตีนที่สูงกว่าการติดตามบนต้นตอสายพันธุ์อื่นๆ และพบว่า การสะสมโปรตีนมีปฏิสัมพันธ์ในเชิงลบกับค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ซึ่งการลดลงของค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลของกระบวนการออสโมซิสภายในเซลล์ จึงเพิ่มการสะสมโปรตีนมากขึ้นเพื่อปรับสมดุลดังกล่าว นอกจากนี้ การงดการให้น้ำยังส่งผลให้การสะสมไกลซีนปีเทนค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนถึงวันที่ 8 ของการงดการให้น้ำ และลดลงหลังงดการให้น้ำเป็นเวลา 11 วัน และเมื่อพิจารณาความแตกต่างของสายพันธุ์ต้นตอพบว่า วันที่ 0 หรือยังไม่มีการงดการให้น้ำ กิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอ RRIT 251 มีการสะสมไกลซีนปีเทนสูงสุด และค่อนข้างคงที่ไปจนถึงวันที่ 11 ของการงดการให้น้ำ ในขณะที่กิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอสายพันธุ์อื่นๆ มีแนวโน้มการสะสมไกลซีนปีเทนเพิ่มขึ้น และสูงที่สุดในวันที่ 8 จากนั้นลดลงในวันที่ 11 ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การสะสมไกลซีนปีเทนมีปฏิสัมพันธ์ในเชิงลบกับค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์เช่นเดียวกับการสะสมโปรตีน สอดคล้องกับการศึกษาของ ทิพย์สุดา และคณะ (2558)

ที่ศึกษาการสะสมไกลซีนปีเทนภายใต้สภาวะขาดน้ำ ในโรงเรือนเพื่อการคัดเลือกพันธุ์อ้อย โดยงดการให้น้ำ ในต้นอ้อย 8 สายพันธุ์ เป็นเวลา 6 9 และ 12 วัน พบว่าการสะสมไกลซีนปีเทนในต้นอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 0 จนถึงวันที่ 9 และลดลงในวันที่ 12 ของการงดน้ำ ทั้งนี้มีหลายงานวิจัยที่รายงานถึงปริมาณการสะสมโพรีลิน และไกลซีนปีเทนจะเพิ่มขึ้นตามความรุนแรงของสภาวะแล้ง (Chen *et al.*, 2010; Haider *et al.*, 2018) และเมื่อพิจารณาค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ร่วมด้วย พบว่า เซลล์พืชจะค่อยๆ เกิดความเสียหายมากขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะขาดน้ำนานขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลจากสารอนุมูลอิสระ ในขณะที่เดียวกันสารอนุมูลอิสระก็เป็นตัวส่งสัญญาณ กระตุ้นการสะสมสารควบคุมออสโมซิส (ยงยุทธ, 2559) จึงส่งผลให้การสะสมโพรีลิน และไกลซีนปีเทนค่อยๆ เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อถึงจุดหนึ่งที่เซลล์พืชเสียหายอย่างหนัก และไม่สามารถทนทานต่อความเครียดต่อไปได้ กลไกต่างๆ ในเซลล์จึงลดลง การสะสมสารควบคุมออสโมซิสบางชนิดจึงลดลง นอกจากนี้ การสะสมน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ยังช่วยรักษาแรงดันเต่งของเซลล์ และรักษาสมดุลของกระบวนการออสโมซิส (Arabzadeh, 2012) การสะสมน้ำตาลของยางพาราเป็นการตอบสนองต่อการขาดน้ำที่เร็วที่สุด หลังจากงดการให้น้ำเป็นเวลา 5 วัน กิ่งพันธุ์ดีของยางพาราพันธุ์ RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอทุกสายพันธุ์ มีการสะสมน้ำตาลที่ละลายน้ำได้เพิ่มจากวันที่ 0 หรือวันที่ไม่มีการงดน้ำ โดยต้นตอพันธุ์ RRIT 251 มีการสะสมน้ำตาลที่ละลายน้ำได้สูงสุด จากนั้น ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ค่อยๆ ลดลงในวันที่ 8 และลดลงต่ำที่สุดในทุกสายพันธุ์หลังการงดการให้น้ำเป็นเวลา 11 วัน ยางพาราเพิ่มการสะสมน้ำตาลที่ละลายน้ำได้มากขึ้น ทำให้ค่าศักยภาพออสโมติกภายในเซลล์พืชมีค่าต่ำลงใกล้เคียงกับแรงดันออสโมติกภายนอก ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดน้ำภายใต้สภาวะขาดน้ำเพิ่มขึ้นได้ อีกทั้งน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ ยังเกี่ยวเนื่องกับกลไกต่างๆ มากมายในเซลล์พืช (Yang *et al.*, 2019) น้ำตาลยังเป็นผลิตภัณฑ์หลักจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และเป็นสารตั้งต้นของการสร้างพลังงานของพืช ดังนั้นจึงสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อการขาดน้ำเป็นเวลานานขึ้น รุนแรงขึ้น

ส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่มีน้ำเป็นสารตั้งต้นหลัก ลดลง การผลิตน้ำตาลจึงลดลง ในขณะที่กลไกต่างๆ ของพืชยังคงดำเนินต่อไป และยังคงใช้พลังงานจากน้ำตาล จึงทำให้มีการสลายน้ำตาลไปใช้เป็นพลังงาน มากกว่าการสังเคราะห์น้ำตาล จึงพบว่าปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ลดลงเมื่อยางพาราขาดน้ำรุนแรงขึ้น สอดคล้องกับความทนทานต่อสภาวะขาดน้ำจากการรายงานของ อรรวรณ (2561) และ ชูติมา (2562) ที่พบว่าต้นกล้าพันธุ์ RRIT 251 มีความสามารถในการทนแล้งได้ดีที่สุด รองลงมาคือ RRIM 623 และ PB 5/51 ตามลำดับ ดังนั้นนอกจากกล่าวได้ว่าชนิดหรือสายพันธุ์ของพืชที่มีการสะสมน้ำตาลที่ละลายน้ำได้มากกว่า จะส่งผลให้ชนิดหรือสายพันธุ์ของพืชนั้นๆ มีความสามารถในการทนทานต่อสภาวะขาดน้ำมากกว่าเช่นเดียวกัน (Dua *et al.*, 2020)

สรุป

ต้นตอยางพาราที่มีความสามารถในการชักนำให้เกิดการทนต่อสภาวะแล้งของกิ่งพันธุ์ดี จะช่วยให้การเจริญเติบโตของต้นยางพาราเป็นไปอย่างปกติเมื่ออยู่ในสภาวะแล้ง โดยพันธุ์ยางพาราที่ใช้เป็นต้นตอมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา และชีวโมเลกุลของกิ่งพันธุ์ดีในสภาวะแล้งแตกต่างกัน ซึ่งอาจเกิดจากลักษณะทางสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และ ชีวโมเลกุลในระบบรากของพันธุ์ยางที่ใช้เป็นต้นตอซึ่งมีความแตกต่างกัน จากการเปรียบเทียบลักษณะทางสรีรวิทยา และชีวโมเลกุลของกิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอ PB 5/51 RRIM 623 และ RRIT 251 ในสภาวะแล้ง ได้แก่ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ประสิทธิภาพการใช้แสง การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ และ ปริมาณสารควบคุมออสโมซิส ได้แก่ โพรีลิน ไกลซีนปีเทน และ น้ำตาลที่ละลายน้ำในใบ พบว่ากิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอ RRIT251 มีความสามารถทนต่อสภาวะแล้งได้ดีกว่ากิ่งพันธุ์ดี RRIT 251 ที่ติดตามบนต้นตอ RRIM 623 และ PB 5/51 จากการมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ประสิทธิภาพการใช้แสง และปริมาณการสะสมโพรีลิน ที่ใกล้เคียงกับสภาวะปกติ แม้อยู่ในสภาวะแล้ง ซึ่งสอดคล้องกับการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ และปริมาณโพรีลิน

ที่เพิ่มสูงขึ้นจากการได้รับความเสียหายของเซลล์เมื่อเกิดความเครียดจากการขาดน้ำซึ่งชี้ให้เห็นว่าต้นตอ RRIT 251 มีความสามารถในการชักนำให้เกิดการทนต่อสภาวะแล้งของกิ่งพันธุ์ RRIT 251 ได้ดีกว่าต้นตอ RRIM 623 และ PB 5/51

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร จากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ 2563 ทุนศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษาวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม และทุนศูนย์วิจัยความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร และทรัพยากรธรรมชาติ ระยะที่ 3

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2554. คำแนะนำพันธุ์ยางปี 2554. เอกสารวิชาการ. สถาบันวิจัยยาง, กรุงเทพมหานคร. 49 หน้า.

ชุติมา สุทธิจิตร. 2562. การศึกษาการแสดงออกของยีน NCED ที่เกี่ยวข้องกับการสะสมกรดแอบไซซิกในสภาวะขาดน้ำของต้นกล้ายางพารา. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา. 80 หน้า.

นุชนารถ กังพิศดาร, มนัชญา รัตนโชติ, ปุริตา เปรมกระสิน, ธมลวรรณ ชิวรัมย์, ลาวัลย์ จันทร์อัมพร และอนันต์ ทองภู. 2553. การพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืช สำหรับยางพาราเฉพาะพื้นที่. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล <https://www.doa.go.th/research/showthread.php?tid=1051&pid=1053> (8 พฤษภาคม 2564).

ทิพย์สุดา อูยพานิช, เรวัต เลิศฤทัยโยธิน, ชัยณรงค์ รัตนกรีกากุล และ อภิวิชญ์ ทรงกระสินธุ์. 2558. การตรวจสอบศักยภาพการใช้ลักษณะไกลซีนบีเทนภายใต้สภาวะขาดน้ำในโรงเรือนในการคัดเลือกพันธุ์อ้อยที่มี

ผลผลิตสูงในสภาพแปลง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 4(2): 60-71.

ยงยุทธ ไอสถสภ. 2559. ความเครียดของพืชและการบรรเทาความเครียด. วารสารดินและปุ๋ย 38(1-4): 47-78.

ลิลลี่ กาวีตะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สวรรณวงศ์ และ สรียา ตันติวัฒน์. 2552. สรีรวิทยาของพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 259 หน้า.

วรรณธานี มีลุน, สุภัทร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา และ ศิวพร ศิลเตโช. 2560. อิทธิพลของพื้นที่ปลูกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของยางพารา สายพันธุ์ RRIM 600 และ RRIT 251 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. แก่นเกษตร 45 ฉบับพิเศษ (1): 325-330.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562. ภาวะเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2562 และแนวโน้มปี 2563. เอกสารวิชาการ. กองนโยบายและแผนพัฒนาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร. 64 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. ผลผลิตยางพาราแยกตามจังหวัด ปี 2562. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <https://data.go.th/dataset/rubber62> (30 มิถุนายน 2564).

อรวรรณ แก้วรักษา. 2561. การตอบสนองทางสรีรวิทยาและการแสดงออกของยีน P5CS ที่เกี่ยวข้องกับการสะสมโพรลีนในสภาวะขาดน้ำของต้นกล้ายางพารา. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา. 60 หน้า.

อุไรพร ปราบปรี. 2563. การศึกษาการแสดงออกของยีนในกลุ่ม Phenylpropanoid ต่อความเข้ากันได้ของต้นตอยางพาราและกิ่งพันธุ์ดี. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา. 79 หน้า.

Arabzadeh, N. 2012. The effect of drought stress on soluble carbohydrates

- (sugars) in two species of *Haloxylon persicum* and *Haloxylon aphyllum*. Asian Journal of Plant Sciences 11(1): 44-51.
- Bates, Lynn S., R.P. Waldren and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39(1): 205-207.
- Chen, J.W., Q. Zhang, X.S. Li and K.F. Cao. 2010. Gas exchange and hydraulics in seedlings of *Hevea brasiliensis* during water stress and recovery. Tree Physiology 30(1): 876-885.
- Chen, T.H. and N. Murata. 2002. Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. Current Opinion in Plant Biology 5(1): 250-257.
- Demidchik, V., D. Straltsova, S.S. Medvedev, G.A. Pozhvanov, A. Sokolik and V. Yurin. 2014. Stress-induced electrolyte leakage: the role of K⁺-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment. Journal of Experimental Botany 65: 1259-1270.
- Dionisio-Sese, M.L. and S. Tobita. 1998. Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. Plant Science 135(1): 1-9.
- dos Santos, J.O., L.E.M. de Oliveira, T. de Souza, G.M. Lopes, V.T. Coelho and M.P. Gomes. 2019. Physiological mechanisms responsible for tolerance to, and recuperation from, drought conditions in four different rubber clones. Industrial Crops and Products 141(1): 111714. doi:10.1016/j.indcrop.2019.111714.
- Du, Y., Q. Zhao, L. Chen, X. Yao, W. Zhang, B. Zhang and F. Xie. 2020. Effect of drought stress on sugar metabolism in leaves and roots of soybean seedlings. Plant Physiology and Biochemistry 146(1): 1-12.
- Grieve, C.M. and S.R. Grattan. 1983. Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. Plant and Soil 70(1): 303-307.
- Haider, M.S., M.M. Kurjogi, M. Khalil-ur-Rehman, T. Pervez, J. Songtao, M. Fiaz, S. Jogaiah, C. Wang and J. Fang. 2018. Drought stress revealed physiological, biochemical and gene-expressional variations in 'Yoshihime' peach (*Prunus Persica* L) cultivar. Journal of Plant Interactions 13(1): 83-90.
- Irigoyen J. J., D. W. Emerich and D. M. Sanchez. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum 84(1): 55-60.
- Ludlow, M.M. and R.C. Muchow. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. Advances in Agronomy 43: 107-153.
- Maxwell, K. and G.N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. Journal of Experimental Botany 51(345): 659-668.
- Miranda, M.T., S.F. Da Silva, N.M. Silveira, L. Pereira, E.C. Machado and R.V. Ribeiro. 2020. Root osmotic adjustment and stomatal control of leaf gas exchange are dependent on citrus rootstocks under water deficit. Journal of Plant Growth Regulation 40 (1): 1-9.

- Ragel, P., N. Raddatz, E.O. Leidi, F.J. Quintero and J.M. Pardo. 2019. Regulation of K⁺ nutrition in plants. *Frontiers in Plant Science* 10(1): 281, doi:10.3389/fpls.2019.00281
- Sterling, A., N. Rodríguez, E. Quiceno, F. Trujillo, A. Clavijo and J.C. Suárez-Salazar. 2019. Dynamics of photosynthetic responses in 10 rubber tree (*Hevea brasiliensis*) clones in Colombian Amazon: Implications for breeding strategies. *PLoS One* 14(12): e0226254.
- Subbarao, G.V., Y.S. Chauhan and C. Johansen. 2000. Patterns of osmotic adjustment in pigeon pea - its importance as a mechanism of drought resistance. *European Journal of Agronomy* 12: 239-249.
- Wang, L. F. 2014. Physiological and molecular responses to drought stress in rubber tree (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *Plant Physiology and Biochemistry* 83(1): 243-249.
- Wang, Z., G. Li, H. Sun, L. Ma, Y. Guo, Z. Zhao, H. Gao and L. Mei, 2018. Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves. *Biology Open* 7(11): bio035279, doi: org/10.1016/j.plaphy.2014.08.012.
- Yang, J., J. Zhang, C. Li, Z. Zhang, F. Ma and M. Li. 2019. Response of sugar metabolism in apple leaves subjected to short-term drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 141(1): 164-171.
- Yao, X., X. Chen, J. Wang, J. Zhou, M. Cai and W. Lin. 2017. Effect of clonal rootstocks on the growth and yield of Hevea rubber. *Journal of Rubber Research* 20(3): 203-212.
- You, J. and Z. Chan. 2015. ROS regulation during abiotic stress responses in crop plants. *Frontiers in Plant Science* 6(1): 1092, doi:10.3389/fpls.2015.01092.