

การประเมินรูปแบบการกระจายตัวของรากและการตอบสนองทางสรีรวิทยา ของอ้อย 15 สายพันธุ์โดยใช้วิธีไรโซบ็อกซ์

Evaluation of root distribution patterns and physiological responses of 15 sugarcane genotypes using rhizobox method

ศรัญญา ชุมภู¹, พัชริน ส่องศรี^{1,2*} และ นันทวุฒิ จงรังกลาง^{1,2}

Saranya Chumphu¹, Patcharin Songsri^{1,2*} and Nuntawoot Jongrungklang^{1,2}

บทคัดย่อ: รากมีความสำคัญต่อการดูดน้ำและธาตุอาหารให้แก่ลำต้นเพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโต และมักจะทำหน้าที่สัมพันธ์กับกระบวนการทางสรีรวิทยาของส่วนเหนือดิน ซึ่งการพัฒนาพันธุ์ที่มีระบบราก และการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่ช่วยส่งเสริมให้อ้อยมีผลผลิตสูงจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินลักษณะรากและการตอบสนองทางสรีรวิทยาของอ้อยทั้ง 15 สายพันธุ์ที่ปลูกในไรโซบ็อกซ์ภายใต้สภาพเรือนทดลอง ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยไรโซบ็อกซ์มีความกว้าง 50 ซม. หน้า 10 ซม. และสูง 120 ซม. ตรวจวัดข้อมูลความยาวรากน้ำหนักแห้งรากลักษณะทางสรีรวิทยา (ความชื้นของสีใบ, ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง, ค่าการนำของปากใบและปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ) และน้ำหนักแห้งของส่วนต้นที่อายุ 60 วันหลังย้ายปลูก พบว่าอ้อยแต่ละพันธุ์มีลักษณะรากและการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่แตกต่างกัน ซึ่งพันธุ์อ้อยถูกแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มตามลักษณะความยาวรากรวม โดยพันธุ์ที่มีความยาวรากรวมมาก คือ อ้อยพันธุ์ KK06-419 นอกจากนี้ยังพบว่าความยาวรากและพื้นที่ผิวสัมผัสรากมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าการนำของปากใบ ($r = 0.681$, $p = 0.01$ และ $r = 0.533$; $p = 0.5$, ตามลำดับ) ในขณะที่ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงมีความสัมพันธ์เชิงลบกับพื้นที่ผิวสัมผัสรากและปริมาตรราก ($r = -0.621$; $p = 0.05$ และ $r = -0.618$; $p = 0.05$, ตามลำดับ) ข้อมูลจากการทดลองนี้จะเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงพันธุ์อ้อยและงานวิจัยด้านอ้อยในสาขาอื่นได้

คำสำคัญ: ลักษณะราก, ลักษณะทางสรีรวิทยา, *Saccharum* spp. สดส่วนรากต่อต้น

Received December 12, 2018

Accepted June 12, 2019

¹ ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประเทศไทย 40002

Department of Agronomy Faculty of Agriculture, KhonKaen University, KhonKaen Thailand 40002

² ศูนย์วิจัยอ้อยและน้ำตาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

Northeast Thailand Cane and Sugar Research Center, Department of Agronomy Faculty of Agriculture, KhonKaen University, KhonKaen, Thailand 40002

* Corresponding author: patcarinso@kku.ac.th

ABSTRACT: Root is an important plant part that takes up nutrients and water for growth, which in association with the physiological traits contributes to the above-ground growth. The development of sugarcane genotypes with root systems and physiological traits were the association with maintaining high yield is necessary. The objective of this study was to evaluate root traits and physiological responses of 15 sugarcane genotypes by rhizobox method under greenhouse condition at the Field Crop Research Station of Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand. The rhizoboxes had the dimension of 50 cm in width, 10 cm in thickness and 120 cm in height. The data were recorded for root length, root dry weight, physiological traits (SPAD chlorophyll meter reading (SCMR), maximum quantum yield of photosystem II, stomatal conductance and relative water content) and shoot dry weight at 60 days after transplanting (DAT). Sugarcane genotypes were significantly different for root characteristics and physiological traits. Sugarcane genotypes were classified into four groups based on total root length, and KK06-419 had the highest root length. Moreover, root length and root surface area were positively correlated with stomatal conductance ($r = 0.681$, $p = 0.01$ and $r = 0.533$; $p = 0.05$, respectively), whereas chlorophyll fluorescence were negatively correlated with root surface area and root volume ($r = -0.621$; $p = 0.05$ and $r = -0.618$; $p = 0.05$, respectively). The information obtained in this study will be useful to improve the sugarcane genotypes in breeding program and the sugarcane research in fields others.

Keywords: root traits, physiological traits, *Sacharum* spp., root to shoot ratio

บทนำ

อ้อย (*Sugarcane*; *Saccharum officinarum* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมน้ำตาล ในปัจจุบันภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นแหล่งปลูกอ้อยที่ใหญ่ที่สุดของประเทศไทยมีพื้นที่การเพาะปลูกอ้อย 43 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งประเทศ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2560) และพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย และดินทรายเป็นหลัก หากไม่มีการปรับปรุงบำรุงดินที่ดีจะทำให้โครงสร้างดินเสื่อม การซึมผ่านของน้ำไม่ดี (รัชดา และคณะ, 2555) มีผลต่อการเจริญเติบโตของรากเนื่องจากดินมีปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของรากพืช เช่น ธาตุอาหาร น้ำ และอากาศ รวมถึงลักษณะทางกายภาพ ซึ่งปริมาณของน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้นั้นมีอย่างจำกัด (Penning de Vries and Laar, 1982)

การศึกษาการเจริญเติบโตของรากของอ้อยพันธุ์ต่างๆ จะทำให้เป็นประโยชน์ต่อการศึกษามากมาย ด้าน เช่น สรีรวิทยา การดูดน้ำและธาตุอาหาร และการปรับปรุงพันธุ์ เป็นต้น โดยรากอ้อยเป็นระบบรากฝอย สามารถแบ่งตามหน้าที่ได้ 3 ชนิด คือ 1) รากฝอย (superficial roots) เป็นรากที่มีขนาดเล็กและแตกแขนงมาก ทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหาร 2) รากค้ำยัน (buttress roots) มีสีขาวอวบ ขนาดใหญ่กว่ารากชนิดอื่นๆ ทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหาร และพยุงลำต้นอ้อย และ 3) รากหยั่งลึก (rope system)

รากชนิดนี้จะหยั่งลึกไปตามแนวดิ่ง หน้าที่หลักคือช่วยพยุงลำต้น และอาจมีความยาวได้มากถึง 4-6 เมตร ภายใต้สภาวะแล้งรากชนิดนี้สามารถช่วยดูดน้ำจากดินชั้นล่างได้มากและรวดเร็ว (Smith et al., 2005) ซึ่งปริมาณรากแต่ละชนิดนั้นมีความแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์

การศึกษาระบบราก คือ วิธีการที่ทำให้ทราบถึงรูปร่าง ลักษณะ ปริมาตรและการกระจายตัวของรากที่เจริญเติบโตอยู่ในดิน นิมิตร (2530) และ Bohm (1979) ได้อธิบายว่าการศึกษารากมีหลายวิธี แต่ละวิธีมีความแตกต่างกันในวิธีการศึกษาและวัตถุประสงค์ ยกตัวอย่างเช่น วิธี Monolith methods คือ วิธีการศึกษารากพืชแบบขุดเก็บรากทั้งหมด มีการขุดทำลายต้นพืช วิธี Auger methods เป็นวิธีการที่ดีที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากเก็บตัวอย่างดินและรากพืชจากตำแหน่งที่กำหนด แต่เป็นเพียงการสุ่มเก็บตัวอย่างเท่านั้น เห็นได้ว่าการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นมีข้อจำกัด เช่น ไม่สามารถมองเห็นการเจริญเติบโตของรากอ้อยได้ ดังนั้นวิธีการไรโซบ็อกซ์ (Rhizobox) จึงเป็นอีกทางเลือกในการศึกษาราก (Bobadilla et al., 2017) ซึ่งวิธีการนี้สามารถแสดงระบบรากทั้งหมด เช่น การกระจายตัวของราก (Thangthong et al., 2017) การพัฒนาของระบบราก (Neumann et al., 2009) ชนิดของราก และแยกความแตกต่างของลักษณะรากในอ้อยพันธุ์ต่างๆ ได้ และมีการศึกษากับพืชหลายชนิด เช่น ถั่วลิสง (Thangthong et al., 2016; Thangthong

et al., 2017) และแก่นตะวัน (Puangbut et al., 2018) แต่ยังไม่มีการศึกษาในอ้อย

โดยทั่วไปแล้วรากพืชมักจะทำหน้าที่สอดคล้องกับกระบวนการทางสรีรวิทยาของส่วนเหนือดิน ซึ่งน้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต รวมไปถึงกระบวนการทางสรีรวิทยา และกระบวนการทางชีวเคมีของพืช (ตุลาพร และ วัฒน, 2549) พืชจะดูดน้ำขึ้นมาเพื่อรักษาความสมดุลของน้ำในต้นพืชโดยการเจริญเติบโตและหยั่งลึกของราก ในส่วนของการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่มีบทบาทสำคัญ ได้แก่ การปิด-เปิดปากใบ การแลกเปลี่ยนก๊าซ ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบ ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง และค่าความเข้มข้นของสีใบ (Graca et al., 2010) โดยปากใบมีบทบาทสำคัญในกระบวนการคายน้ำและปริมาณน้ำที่พืชดูดขึ้นมาใช้เมื่อพืชเปิดปากใบเพื่อการคายน้ำ ในระหว่างนั้นเกิดการแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศเข้าสู่ใบ และส่งผลให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (แดงไทย และคณะ, 2561) โดยประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ด้วยแสงในพืชคำนวณจากค่า F_v/F_m ที่แสดงถึงสัดส่วนของโฟตอนที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เทียบกับจำนวนโฟตอนทั้งหมดที่ใบดูดกลืน (Heinz Walz GmbH, 1996) ยิ่งไปกว่านั้นระบบรากที่ดีโดยมีการแผ่กระจายตัวของรากที่เพิ่มขึ้น ยังสนับสนุนลักษณะทางสรีรวิทยา และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของส่วนเหนือดิน (Sinclair and Muchow, 1999) ดังนั้นลักษณะรากและลักษณะการสังเคราะห์แสงที่สำคัญต่อผลผลิตมีความจำเป็นที่จะต้องวัดเพื่อตรวจสอบว่ามีความแปรปรวนของลักษณะเหล่านี้อยู่ในพันธุ์ต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคัดเลือกพันธุ์ปลูกและการปรับปรุงพันธุ์อ้อยได้

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายรูปแบบการกระจายตัวของรากและการตอบสนองทางสรีรวิทยาของอ้อย เพื่อเพิ่มความเข้าใจในกลไกที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มศักยภาพการให้ผลผลิต ซึ่งน่าจะก่อให้เกิดประโยชน์ในงานพัฒนาพันธุ์ใหม่และงานวิจัยในสาขาอื่นๆ ได้

วิธีการศึกษา

พันธุ์อ้อยที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้ปลูกทดสอบพันธุ์อ้อยจำนวน 15 พันธุ์ ซึ่งประกอบไปด้วยพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกคือ KK3 พันธุ์อ้อยก้าวหน้า ได้แก่ KK06-419, MPT02-458, KK06-501, UT12, KKKU99-06, KKKU99-02, CSB07-79, MPT05-187, TBy28-0941, Kps01-12, UT13, KKKU99-03 และ KKKU99-01 และอ้อยพลังงานที่เกิดจากการผสมข้ามระหว่างอ้อยปลูกกับอ้อยป่า คือ Biotech 1

การเตรียมไรโซบ็อกซ์ที่ใช้ปลูกทดสอบ

วิธีการเก็บรักษารากและโครงสร้างรากด้วยวิธีไรโซบ็อกซ์หรือวิธี root box-pinboard (needle-board) (Figure 1) ตามวิธีการของ Thangthong et al. (2017) กล่องไรโซบ็อกซ์มีความยาว 50 ซม. หนา 10 ซม. และสูง 120 ซม. (Figure 1a) ระบบรากถูกจัดให้คงที่ด้วยไม้ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กเพื่อรักษาระบบรากไว้ในตำแหน่งเดิมหลังการล้าง ระยะห่างของไม้ที่ด้านหลังของไรโซบ็อกซ์ คือ 5 x 5 ซม. จุดเริ่มต้นของไม้เริ่มต้นที่ 12.5 ซม. จากด้านบนของไรโซบ็อกซ์และคอลัมน์ห่างจากด้านซ้ายประมาณ 2.5 ซม. (Figure 1c) การบรรจุดินแห้งลงในไรโซบ็อกซ์ในแต่ละชั้นดิน (มี 11 ชั้น) จะบรรจุดินแห้ง 4 กก. ในทุกๆ ความลึก 5 ซม. ถึง 115 ซม. ความหนาแน่นของโครงสร้างเดิมโดยดินที่บรรจุใหม่จะมีความหนาแน่น 1.56 ก./ลบ.ซม. ดินจะถูกบรรจุอย่างสม่ำเสมอจากด้านบนถึงด้านล่างของกล่องไรโซบ็อกซ์ โดยด้านหน้าของกล่องไรโซบ็อกซ์เป็นแผ่นกระจกใสหนา 10 มม. นำแผ่นพลาสติกสีดำหนา 5 มม. คลุมเพื่อป้องกันไม่ให้แสงเข้ามาบริเวณการเจริญเติบโตของราก และด้านหลังของกล่องไรโซบ็อกซ์เป็นแผ่นโลหะ หนา 1 มม. ภายในเป็นแผ่นพลาสติกสีดำ หนา 2 มม. ส่วนพื้นผิวด้านนอกตามแนวตั้งของกล่องไรโซบ็อกซ์ และทุกๆ ด้านของไรโซบ็อกซ์ ถูกคลุมด้วยอลูมิเนียมฟอยล์เพื่อหลีกเลี่ยงการเพิ่มอุณหภูมิด้วยแสงแดด (Figure 1b)

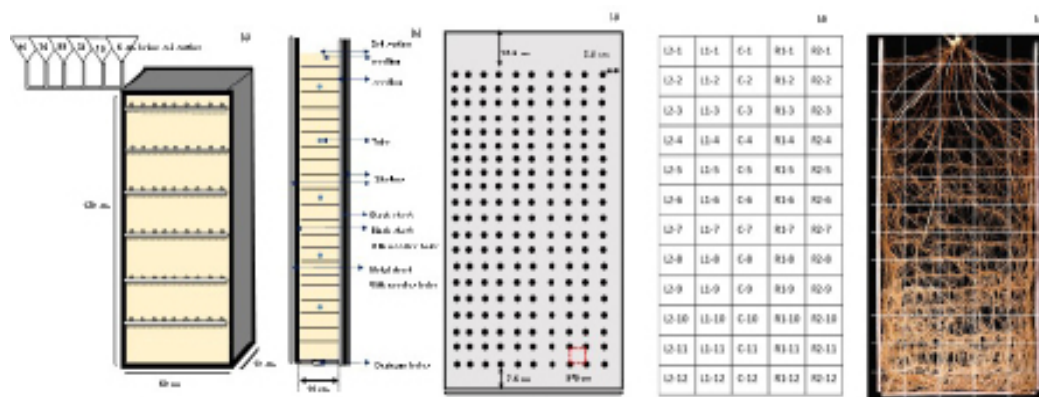


Figure 1 Diagram of rhizobox dimension with six water supply tubes (a), the section showing different elements of the system (b), backside of rhizoboxes with spacing of needle board (c), and size of square unit is 10 cm x 10 cm size of square unit was observed area (d), the image of sugarcane root system that was grown in rhizobox at 60 days after planting (e) at the Field Crop Research Station of KhonKaen University.

การปลูกอ้อยและการดูแลรักษา

การเตรียมท่อนพันธุ์อ้อย โดยการตัดท่อนพันธุ์อ้อยให้มีความยาวด้านละ 2.5 ซม. ที่ห่างออกจากตาอ้อย นำท่อนพันธุ์อ้อยไปแช่ในกล่องพลาสติกเป็นเวลา 5 วัน เพื่อกระตุ้นให้งอกราก หลังจากนั้นนำท่อนพันธุ์อ้อยไปปลูกในไรโซบ็อกซ์โดยวางท่อนพันธุ์อ้อยที่ตำแหน่งกลางกล่องไรโซบ็อกซ์ เติมนดินกลบท่อนพันธุ์ในความลึก 5 ซม. ปลูกท่อนพันธุ์อ้อย 1 ต้นต่อ 1 ไรโซบ็อกซ์

ระบบน้ำจะถูกติดตั้งบนกล่องไรโซบ็อกซ์ก่อนย้ายปลูก อ้อยได้รับน้ำผ่านสายยาง 6 สาย ที่ระดับความลึก 5, 15, 35, 55, 75 และ 95 ซม. ได้ผิวดิน (Figure 1a) และก่อนการย้ายปลูกจะให้น้ำเริ่มต้นตามระดับความจุความชื้นภาคสนาม(field capacity: FC) ที่มีความชื้นดินเท่ากับ 13 เปอร์เซ็นต์ในทุกชั้นดิน 0-120 ซม. เพื่อให้ให้น้ำเข้าสู่ผิวดินและให้เพียงพอต่อความต้องการน้ำของอ้อย การให้น้ำในแต่ละครั้งถูกควบคุมและเติมน้ำทุกวันตามความต้องการน้ำของอ้อยโดยคำนวณตามวิธีของ Jangpromma et al. (2010) ดังนี้

$$ET_{crop} = E_{To} \times K_c$$

โดย ET_{crop} = ความต้องการน้ำของพืช (มิลลิเมตรต่อวัน)

E_{To} = การคายระเหยน้ำอ้างอิง คำนวณโดยวิธี Pan Evaporation method

K_c = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของอ้อย

การตรวจสอบความชื้นในดิน ตรวจวัดด้วยวิธี micro auger gravimetric method ที่ความลึก 10, 25, 45, 65, 85 และ 105 ซม. จากผิวดิน โดยเริ่มที่ความลึก 10 ซม. จากด้านบนของไรโซบ็อกซ์ การสุ่มเก็บตัวอย่างโดยเก็บความชื้นดินเมื่ออ้อยอายุ 60 วันหลังย้ายปลูก (เก็บตัวอย่างดินเมื่อเปิดกล่อง) ความชื้นดินในทุกระดับความลึกมีความใกล้เคียงกับความจุความชื้นภาคสนาม โดยมีความชื้นดินที่ตรวจวัดเท่ากับ 12.1 เปอร์เซ็นต์

ข้อมูลที่ตรวจวัด

ลักษณะทางสรีรวิทยา

เก็บข้อมูลลักษณะทางสรีรวิทยา ได้แก่ ความเข้มของสีใบ (SPAD chlorophyll meter reading; SCMR), ค่าการนำของปากใบ (stomatal conductance), ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง (maximum quantum yield of photosystem II) และสถานะน้ำในใบอ้อยด้วยค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (Relative water

content; RWC) ตรวจวัดจากใบที่ 2 ที่ปรากฏคอใบ นับจากบนลงล่างของลำต้นหลักโดยเก็บข้อมูลเมื่อ อ้อยอายุ 60 วันหลังย้ายปลูก

ค่าความเข้มของสีใบ (SPAD chlorophyll meter reading; SCMR) ด้วยเครื่อง SPAD chlorophyll meter (SPAD-502, Minolta, Tokyo, Japan) วัด ส่วนโคน กลาง และปลายใบ ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล 09.00 – 12.00 น.

ค่าการนำของปากใบ (stomatal conductance) บันทึกข้อมูลการนำปากใบ ด้วยเครื่อง SC-1 Leaf Porometer (Decagon Devices, inc. WA 99163, USA) ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล 09.00 – 12.00 น.

ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง ตรวจวัด โดยใช้เครื่อง Chlorophyll fluorescence (Mini-PAM (Walz, Effeltrich, Germany) ตรวจวัดในสภาพมืด

(Dark adapted) เก็บข้อมูลในช่วงเวลา 18.00 น. เป็นต้นไป แล้วบันทึกข้อมูลประสิทธิภาพของการใช้แสง ณ ช่วงเวลานั้น

สถานะน้ำในใบอ้อยด้วยค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (Relative water content; RWC) วัดส่วนโคน กลาง และปลายใบ ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล 09.00 – 12.00 น. นำตัวอย่างใบที่เก็บใส่ในถุงซิปล็อคแล้วนำไปแช่ใน น้ำแข็ง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักสดของใบต่อมานำมา แช่น้ำกลั่น 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อครบกำหนดเวลานำใบที่แช่น้ำออกให้แห้ง และนำมา ชั่งน้ำหนักใบที่อืดด้วยน้ำ จากนั้นนำไป อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักใบแห้ง แล้วคำนวณหาปริมาณ น้ำสัมพัทธ์ในใบ ดังสมการ

$$RWC = \left[\frac{\text{น้ำหนักใบสด} - \text{น้ำหนักใบแห้ง}}{\text{น้ำหนักใบที่อืดด้วยน้ำ} - \text{น้ำหนักใบแห้ง}} \right] \times 100$$

รูปแบบการกระจายตัวของราก

ข้อมูลการกระจายตัวของราก เก็บข้อมูลเมื่อ อ้อยอายุ 60 วันหลังย้ายปลูก โดยทำการล้างรากด้วย น้ำสะอาดอย่างระมัดระวัง เพื่อขจัดดินและสิ่งสกปรก ออกจากตัวอย่างราก จากนั้นนำไปที่พยางค์โครงสร้าง ของระบบรากออกจากส่วนของแผ่นพลาสติกสีดำ อย่างระมัดระวัง หลังจากขั้นตอนนี้จะใช้ 2 ขั้นตอน ในการกำหนดลักษณะราก ขั้นตอนที่ 1) การถ่ายภาพ โดยกล้อง Canon EOS 5D Mark IV 24-70 f2.8 (Canon Ltd, Tokyo, Japan) รูปภาพจะแสดงให้เห็น รูปแบบการกระจายรากของระบบรากทั้งหมดบน แผ่นสีดำที่มีแถบสเกล (Figure 1e) และขั้นตอนที่ 2) การสแกนรากโดยเครื่อง Epson Perfection V700 และวิเคราะห์หาความยาวราก (Root length) โดยใช้ โปรแกรม WINRHIZO Pro 2004a software (REGENT Instruments Inc., QC, Canada) รากอ้อย ถูกแบ่งตามข้อสี่เหลี่ยมจัตุรัส จากคอลัมน์ด้าน ซ้ายกลาง และด้านขวาของกล่องไรโซบ็อกซ์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 11 ชั้นดินที่ระยะห่าง 10 ซม. จากด้านบนกับ ด้านล่างของกล่อง (Figure 1d)

ความยาวรากนำมารวมกันเป็น 2 ระดับชั้นคือ

ระดับดินชั้นบนที่อ้างอิงถึงชั้นไทรพอร์นความลึก ระหว่าง 0-30 เซนติเมตร (ประกอบด้วยชั้น 0-10, 10-20, 20-30 เซนติเมตร) และระดับดินชั้นล่างจากความลึก ระหว่าง 30-110 เซนติเมตร หรือชั้นดินที่ต่ำกว่า

น้ำหนักแห้งของรากและลำต้น

เมื่ออ้อยอายุ 60 วันหลังย้ายปลูก ส่วนต้นของ อ้อยจะถูกตัด (ส่วนเหนือดินทั้งหมด) ที่บริเวณผิวดิน และตัวอย่างรากหลังจากนำไปหาความยาวรากนำไป อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมงและชั่งน้ำหนักแห้ง

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ชนิดลักษณะรากและน้ำหนัก

ปริมาณรากของอ้อยทั้ง 15 พันธุ์ มีรูปแบบที่ แตกต่างกัน การแผ่กระจายตัวของรากจากดินชั้นบน สู่ดินชั้นล่าง สามารถแบ่งกลุ่มพันธุ์ตามปริมาณราก ออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 กลุ่มพันธุ์ที่มีปริมาณราก มากในดินชั้นล่าง กลุ่มที่ 2 กลุ่มพันธุ์ที่มีปริมาณราก ค่อนข้างมาก กลุ่มที่ 3 กลุ่มพันธุ์ที่มีปริมาณราก

มากในดินชั้นบน และกลุ่มที่ 4 กลุ่มพันธุ์ที่มีปริมาณรากค่อนข้างน้อย โดยกลุ่มพันธุ์ที่มีปริมาณรากมากในดินชั้นล่าง ได้แก่ อ้อยพันธุ์ KK06-419, KKU99-02, MPT05-187 และ Kps01-12 (Figure 2) การศึกษาจำนวนมากแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการเจริญเติบโตของรากมีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ (Fukuzawa et al. 2009; Smith et al. 1999) นอกจากนี้ อ้อยพันธุ์ KK06-419, KK06-501, UT12, CSB07-79, KKU99-02 และ KKU99-03 (Figure 2) มีการเกิดของรากใหม่ รากชนิดนี้มีสีขาวอวบ ขนาดใหญ่กว่ารากชนิดอื่นๆ และมักงอกทำมุม 45-60 องศากับผิวดิน รากชนิดนี้คือ รากค้ำยัน หรือ buttress roots (Smith et al., 2005)

สำหรับความยาวของรากอ้อย (ทั้ง 11 ชั้นดิน) ถูกแบ่งออกเป็น 2 ระดับชั้นคือ ระดับดินชั้นบน (0-30 ซม.) และระดับดินชั้นล่าง (30-110 ซม.) พบว่า อ้อยทั้ง 15 พันธุ์มีเปอร์เซ็นต์ความยาวรากมากอยู่ในระดับดินชั้นล่าง (30-110 ซม.) การหยั่งลึกของระบบรากอ้อยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่อยู่ในดินและธาตุอาหารที่พืชดูดใช้ (Smith et al., 2005) และประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของรากตามการตอบสนองต่อของไนโตรเจนที่อยู่ในดินชั้นลึก (Trachsel et al., 2013) อ้อยพันธุ์ KK06-419, UT12, TBy28-0941, Kps01-12 และ UT13 เป็นพันธุ์ที่มีการยืดยาวและแตกแขนงของรากเพิ่มขึ้นในระดับดินชั้นล่าง (110 ซม.) (Figure 3) ทำให้มีชีวมวลของรากเพิ่มขึ้น (Azhiri-Sigari et al., 2000)



Figure 2 Root distribution patterns of 15 sugarcane genotypes grown in rhizobox at 60 days after planting.

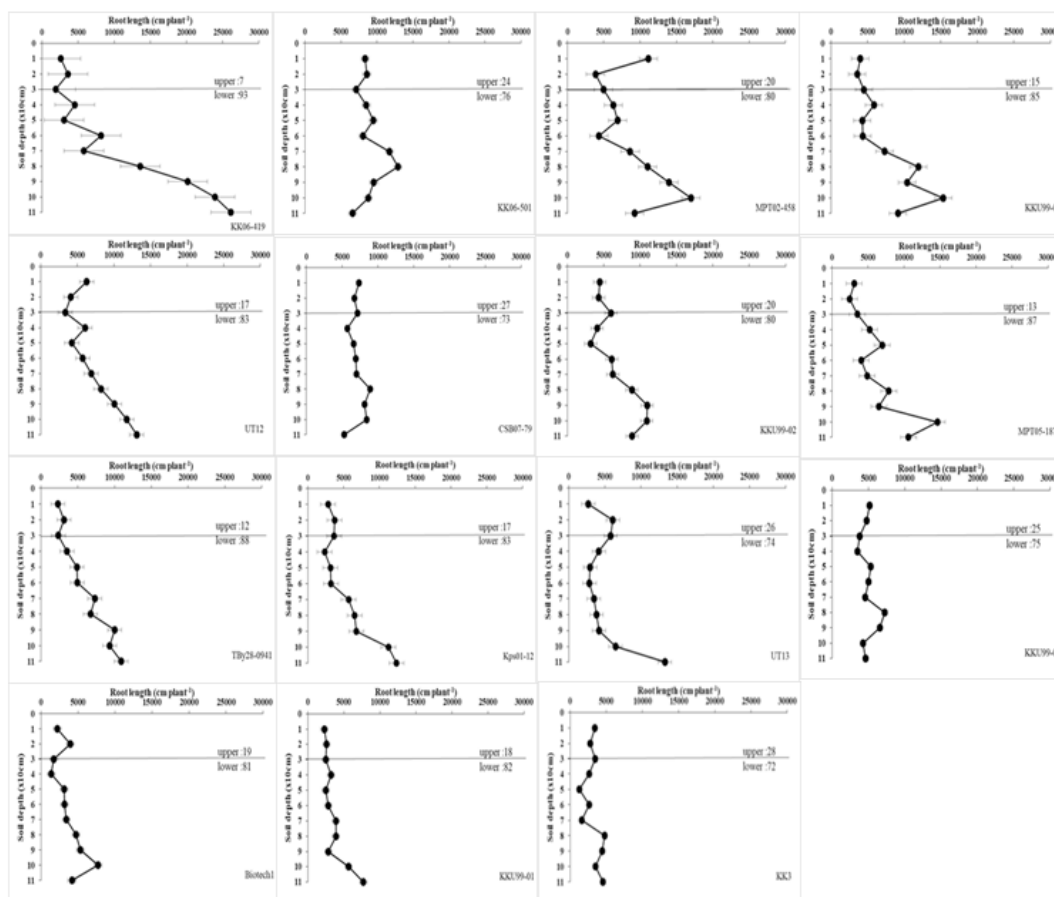


Figure 3 Root length patterns of sugarcane genotypes of each layer for two soil layers identified as upper soil layer between 0 and 30 cm of soil depth and lower soil layer between 30 and 110 cm of soil depth. The experiment was conducted in first season during October–December 2014 each layer plotted on mean root length and standard error by half-size of rhizobox data.

ความแปรปรวนของลักษณะรากในอ้อยทั้ง 15 พันธุ์

การเจริญเติบโตของราก (ความยาวราก พื้นที่ผิวสัมผัสราก ปริมาตรราก และเส้นผ่านศูนย์กลางราก) อ้อยพันธุ์ KK06-419 มีลักษณะของรากทุกลักษณะ ได้แก่ ความยาวราก พื้นที่ผิวสัมผัสราก ปริมาตรราก และเส้นผ่านศูนย์กลางราก (Figure 4a-4d) ประสิทธิภาพการทำงานของระบบรากที่ดีจะมีการตอบสนองของความยาวราก พื้นที่ผิวสัมผัสราก และปริมาตรรากต่อสภาวะแล้งในช่วงต้นการเจริญเติบโตและยังสนับสนุนลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของ

ส่วนเหนือดิน (Khonghintaiong et al., 2017) ลักษณะรากเหล่านี้ จัดเป็นปัจจัยในการหลีกเลี่ยงต่อสภาวะความแห้งแล้งมีรายงานไว้ในพืชชนิดต่างๆ เช่น แก่นตะวัน (Ruttanaprasert et al., 2015) และถั่วลิสง (Songsri et al., 2008)

น้ำหนักรากแห้งต่อต้น ในอ้อยพันธุ์ KK06-419 และ KCU99-02 มีน้ำหนักรากแห้งต่อต้นมาก เกิดจากการเจริญเติบโตของรากใหม่ การยืดยาวและการแตกแขนงของรากเก่า (Azhiri-Sigari et al., 2000) (Figure 5a) ส่วนอ้อยพันธุ์ KCU99-02 มีอัตราส่วน

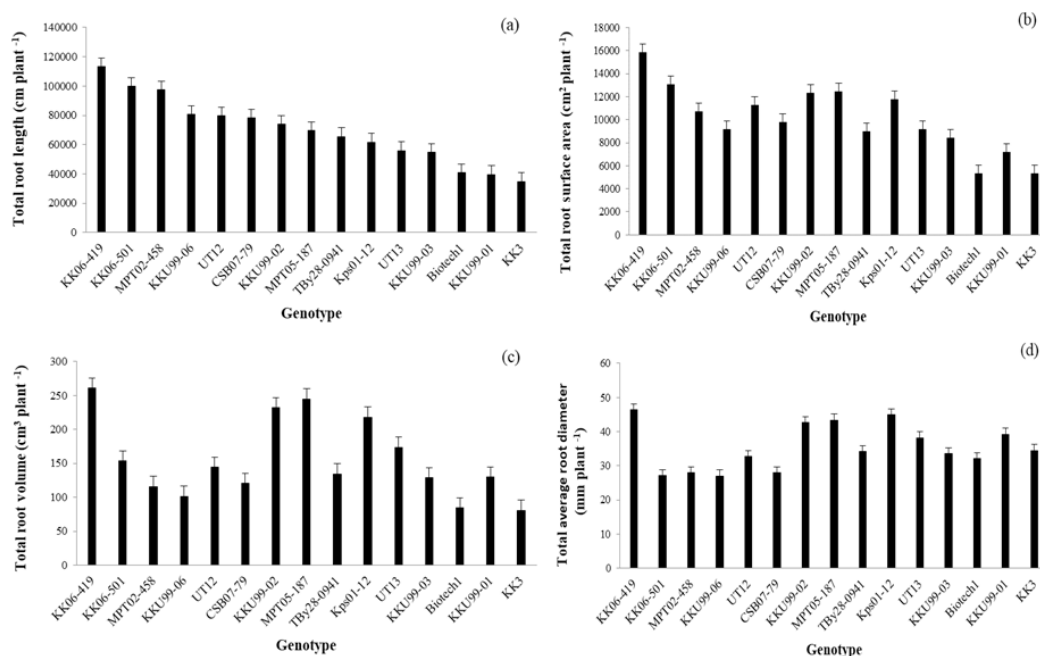


Figure 4 Total root length (a), total root surface area (b), total root volume (c) and total average root diameter (d) of 15 sugarcane genotypes grown in rhizobox.

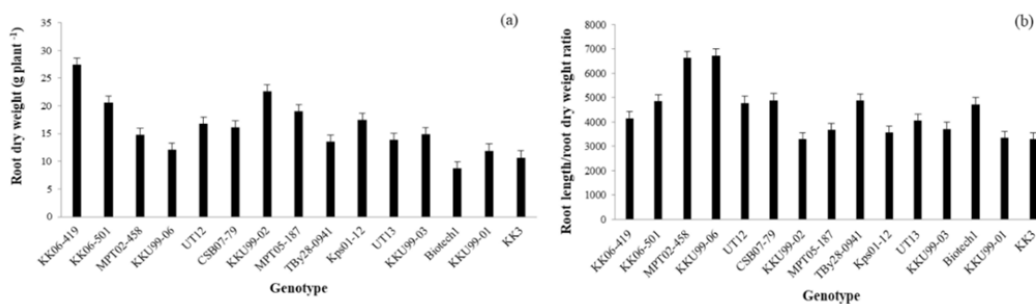


Figure 5 Root dry weight (a) and root length/root dry weight ratio (b) of 15 sugarcane genotypes grown in rhizobox.

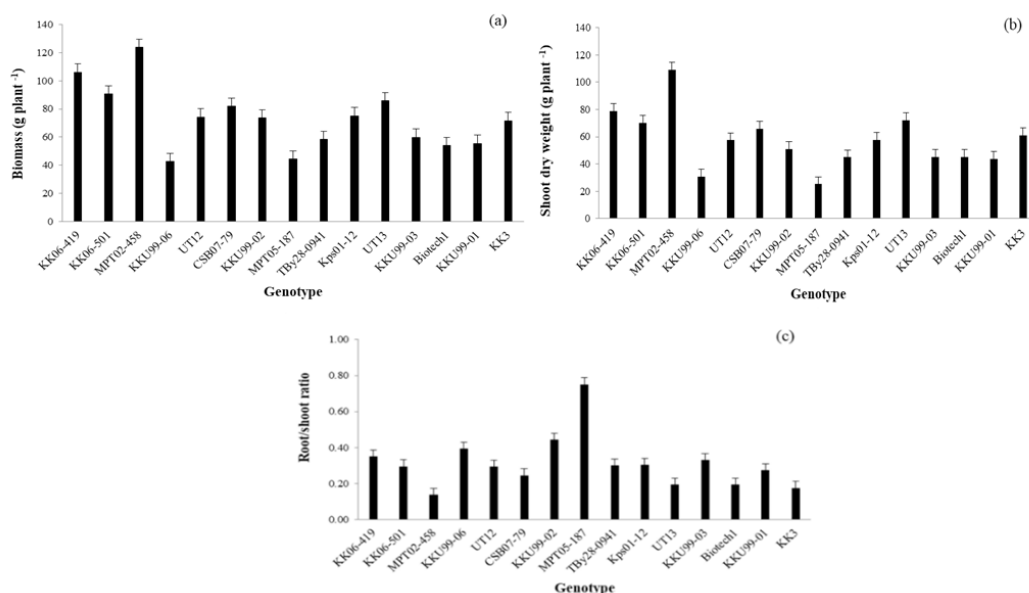


Figure 6 Biomass (a), shoot dry weight (b) and root/shoot ratio (c) of 15 sugarcane genotypes grown in rhizobox.

น้ำหนักแห้งต่อความยาวรากน้อย รากมีการเจริญเติบโตโดยการเพิ่มความยาวราก แต่รากมีขนาดเล็ก (Figure 5b) นอกจากนี้ข้อยพันธุ์ MPT02-458 และ KKL99-06 มีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งต่อความยาวรากมากซึ่งมีความยาวรากค่อนข้างน้อย แต่รากมีขนาดใหญ่ (Figure 5b) รากที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่จะเจริญเติบโตแตกแขนง และมีความยาวรากเพิ่มขึ้น (Wu et al., 2016)

ชีวมวล น้ำหนักแห้งของส่วนต้น และอัตราส่วนรากต่อต้นของข้อยทั้ง 15 พันธุ์

ชีวมวลของข้อยทั้ง 15 พันธุ์ โดยข้อยพันธุ์ KK06-419, KK06-501 และ MPT02-458 มีชีวมวลมาก (Figure 6a) ส่วนข้อยพันธุ์ MPT02-458 มีน้ำหนักแห้งส่วนต้นมาก (Figure 6b) ในขณะที่อัตราส่วนระหว่างรากต่อต้นพบว่า ข้อยพันธุ์ MPT02-458, UT13, Biotech 1, KKL99-01 และ KK3 เป็นพันธุ์ที่มีอัตราส่วนรากต่อต้นน้อยและข้อยพันธุ์ MPT05-187 เป็นพันธุ์ที่มีอัตราส่วนรากต่อต้นมาก (Figure 6c)

สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะรากกับลักษณะทางสรีรวิทยาของข้อยทั้ง 15 พันธุ์

ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะรากกับลักษณะทางสรีรวิทยา พบว่าความยาวราก และพื้นที่ผิวสัมผัสรากมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าการนำของปากใบ มีค่าเท่ากับ $r=0.681$ ที่ $p=0.01$ และ $r=0.533$ ที่ $p=0.05$ ตามลำดับ นอกจากนี้พื้นที่ผิวสัมผัสรากและปริมาตรรากมีความสัมพันธ์ระดับปานกลางเชิงลบกับประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง มีค่าเท่ากับ $r=-0.621$ ที่ $p=0.05$ และ $r=-0.618$ ที่ $p=0.05$ ตามลำดับ (Table 1)

ความหนาแน่นของรากที่ดีจะช่วยรักษาปริมาณน้ำในดินและการดูดใช้น้ำของพืช และยังช่วยให้ข้อยมีค่าการนำปากใบที่สูง เนื่องจากสามารถรักษาสถานะน้ำในใบพืชได้ดี (Turner, 1986) โดยพันธุ์ที่มีระบบรากหนาแน่นและหยั่งรากลึก และมีการสังเคราะห์ด้วยแสงที่มีประสิทธิภาพสูง น่าจะเหมาะกับระบบปลูกข้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากเกษตรกรชาวไร่ข้อยส่วนใหญ่มีการปลูกข้อยข้ามแล้ง ในช่วงเดือนตุลาคม – พฤศจิกายน ซึ่งมักกระทบแล้งช่วงต้นของการเจริญเติบโต

Table 1 Correlation between rooting traits (root length, root surface area, root volume and average root diameter) and physiological traits (shoot dry weight, relative water content (RWC), stomatal conductance, SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) and chlorophyll fluorescence (Fv/Fm)) of 15 sugarcane genotypes grown in rhizobox

Parameters	Shoot dry weight	RWC	Stomatal conductance	SCMR	(Fv/Fm)
Root length	0.477	0.055	0.681**	0.248	-0.459
Root surface area	0.271	0.336	0.533*	0.302	-0.621*
Root volume	-0.013	0.430	0.286	0.108	-0.618*
Average root diameter	-0.172	0.333	0.009	-0.085	-0.495

* and ** significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively.

สรุป

อ้อยแต่ละพันธุ์มีรูปแบบการกระจายตัวของราก และการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่แตกต่างกัน ซึ่งพันธุ์อ้อยถูกแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มตามปริมาณราก ดังนี้ กลุ่มที่ 1 กลุ่มพันธุ์ที่มีปริมาณรากมากในดินชั้นล่าง กลุ่มที่ 2 กลุ่มพันธุ์ที่มีปริมาณรากค่อนข้างมาก กลุ่มที่ 3 กลุ่มพันธุ์ที่มีปริมาณรากมากดินชั้นบน และกลุ่มที่ 4 กลุ่มพันธุ์ที่มีปริมาณรากค่อนข้างน้อย โดยพันธุ์ที่มีลักษณะรากดีคือ อ้อยพันธุ์ KK06-419 มีการกระจายตัวของรากดี การหยั่งรากลึก และการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของรากการตอบสนองทางสรีรวิทยา เช่น ค่าการนำของปากใบ และประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง ข้อมูลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเจริญเติบโตของรากที่เพิ่มขึ้นทำหน้าที่สอดคล้องกับการเปิด-ปิดปากใบของพืช ข้อมูลดังกล่าวสามารถเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ก่อให้เกิดประโยชน์ในงานพัฒนาพันธุ์ใหม่และงานวิจัยในสาขาอื่นๆ ได้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- ตุลาพร แก้วแก่น และวัฒนา พัฒนากุล. 2549. ผลของสภาวะขาดน้ำจากความแล้งและความเครียดเกลือต่อลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการและเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในข้าวระยะต้นกล้า. วารสารวิจัย มข. 4: 260-268
- แดงไทย ภิญโญ, วัฒนชัย ล้นทม และ ศุจิรัตน์ สงวนรังศิริกุล. 2561. ผลของการขาดน้ำต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบอ้อย. วารสารแก่นเกษตร. 46: 99-104.
- นิมิตร วรสุด. 2530. รากพืชและวิธีการศึกษาเอกสารประกอบการสอนวิชาธาตุอาหารพืชไร่ ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- รัชดา ปรัชเจริญวิชัย, ทักษิณา คັນสยะวิชัย, กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ และสุรีย์พร ม้ากระโทก. 2555. ผลของการจัดการแปลงอ้อยระยะยาวต่อการกระจายตัวของรากและการให้ผลผลิตอ้อย. แก่นเกษตร 40 ฉบับพิเศษ, 3: 177-184.

- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2560. รายงานพื้นที่ปลูกอ้อยปีการผลิต 2559/60. ค้นข้อมูลจาก www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-9999.pdf เมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ.2561.
- Azhiri-Sigari, T., Yamauchi, A., Kamoshita, A. and Wade, L. J. 2000. Genotypic variation in response of rainfed lowland rice to drought and rewatering: II. Root growth. *Plant Prod. Sci.* 3: 180-188.
- Bobadilla, I. M., Hernández, M. V., Bobadilla, G. M., García, E. R., Gonzáles, R. G. and Pacheco, I. T. 2017. Rhizobox experimentation module for the study of the rhizosphere. In *Engineering Congress (CONIIN), 2017 XIII International*. 1-4.
- Bohm, W. 1979. *Methods of Studying Root System*. Ecological Studies 33. Springer-Verlag. Berlin.
- Fukuzawa, Y., Komiya, Y., Ueno, M. and Kawamitsu, Y. 2009. Relationship between the development of the root system and initial growth of sugarcane. *Proc. Crop. Sci. Soc. Jpn.* 78: 356-362.
- Graca, J. P. and Rodrigues, F.A. 2010. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. *Braz. J. Plant Physiol.* 22: 189-197.
- Heinz Walz GmbH. 1996. *Photosynthesis yield analyzer, Mini-PAM, Portable Chlorophyll Fluorometer: Handbook of operation*. First edition. Eichenring, Germany.
- Jangpromma, N., Songsri, P., Thammasirak, S. and Jaisil, P. 2010. Rapid assessment of chlorophyll content in sugarcane using a SPAD chlorophyll meter across different water stress conditions. *Asian J. Plant Sci.* 9: 368-374.
- Khonghintaisong, J., Songsri, P., Toomsan, B. and Jongrunklang, N. 2017. Rooting and physiological trait responses to early drought stress of sugarcane cultivars. *Sugar Tech.* 20: 396-406.
- Neumann, G., George, T. S. and Plassard, C. 2009. Strategies and methods for studying the rhizosphere—the plant science toolbox. *Plant Soil.* 321: 431–456
- Penning de Vries, F. W. and Van Laar, H. H. 1982. *Simulation of plant growth and crop production*. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen.
- Puangbut, D., Jogloy, S., Vorasoot, N. and Craig, K. 2018. Root distribution pattern and their contribution in photosynthesis and biomass in Jerusalem artichoke under drought conditions. *Pak. J. Bot.* 50: 879-886.
- Ruttanaprasert, R., Jogloy, S., Vorasoot, N., Kesmala, T., Kanwar, R. S., Holbrook, C. C. and Patanothai, A. 2015. Root responses of Jerusalem artichoke genotypes to different water regimes. *Biomass Bioenergy.* 81: 369-377.
- Sinclair, T.R., and Muchow, R.C. 1999. Radiation use efficiency. *Adv. Agron.* 65: 215-265.
- Smith, D.M., Inman-Bamber, N.G. and Thorburn, P.J. 2005. Growth and function of the sugarcane root system. *Field Crops Res.* 92: 169–183.
- Smith, J. P., Lawn, R. J. and Nable, R. O. 1999. Investigations into the root: shoot relationship of sugarcane, and some implications for crop productivity in the presence of sub-optimal soil conditions. 21: 108-113. In *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists*. Australian Society of Sugar Cane Technologists.

- Songsri, P., Jogloy, S., Vorasoot, N., Akkasaeng, C., Patanothai, A. and Holbrook, C. C. 2008. Root distribution of drought-resistant peanut genotypes in response to drought. *J. Agron. Crop. Sci.* 194: 92-103.
- Thangthong, N., Jogloy, S., Jongrunklang, N., Kvien, C. K., Pensuk, V., Kesmala, T. and Vorasoot, N. 2017. Root distribution patterns of peanut genotypes with different drought resistance levels under early-season drought stress. *J. Agron. Crop. Sci.* 204: 111-122.
- Thangthong, N., Jogloy, S., Pensuk, V., Kesmala, T. and Vorasoot, N. 2016. Distribution patterns of peanut roots under different durations of early season drought stress. *Field Crops Res.* 198: 40-49
- Trachsel, S., Kaeppler, S. M., Brown, K. M. and Lynch, J. P. 2013. Maize root growth angles become steeper under low N conditions. *Field Crops Res.* 140: 18-31.
- Turner, N. C. 1986. Adaptation to water deficits: A changing perspective. *Funct. Plant Biol.* 13: 175-190.
- Wu, Q., Pagès, L. and Wu, J. 2016. Relationships between root diameter, root length and root branching along lateral roots in adult, field-grown maize. *Ann. Bot.* 117: 379-390.