วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | Agriculture and Technology Journal

ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2564 | Vol.2 No.2 May – August 2021

Received: March 26, 2021; Revised: June 14, 2021; Accepted: July 7, 2021

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และ SCMR ของอ้อยพันธุ์ที่แตกต่างกันในช่วงระยะย่างปล้อง

Relationship between chlorophyll content and SCMR of diverse sugarcane genotypes in stalk elongation stage

วัชชิระ สอนผา[1] พรทิพย์พา หาระโคตร[1] และณกรณ์ จงรั้งกลาง[2*]

Wachira Sornpha[1], Pornthippa Harakotr[1] and Nakorn Jongrungklang[2*]

[1] คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น

[2] ศูนย์วิจัยอ้อยและน้ำตาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น

[*]Corresponding Author E mail: nuntawootjrk@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบัน ยังขาดองค์ความรู้เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์กับค่า SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) ของอ้อยพันธุ์ที่แตกต่างกันในช่วงระยะย่างปล้อง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์กับค่า SCMR ของอ้อยพันธุ์ที่แตกต่างกัน จำนวน 22 พันธุ์ ในช่วงระยะย่างปล้อง ดำเนินการทดลอง ณ หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ศึกษาในสภาพกระถาง ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยกำหนดให้พันธุ์อ้อยจำนวน 22 พันธุ์ ที่มีความแตกต่างกันทั้งชนิดและการเจริญเติบโตเป็นกรรมวิธีทดลอง เก็บข้อมูลปริมาณคลอโรฟิลล์และ SCMR เมื่ออ้อยมีอายุ 120 วันหลังปลูก และเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงและจำนวนหน่อต่อกอ เมื่ออ้อยอายุ 120 และ 150 วันหลังปลูก พบว่า อ้อยพันธุ์ที่แตกต่างกัน มีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และ SCMR ในช่วงระยะย่างปล้อง โดยพบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างค่า SCMR และ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (r = 0.70**) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (r = 0.69**) และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (r = 0.44*) อย่างไรก็ตาม ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่า SCMR และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี อยู่ในระดับที่ต่ำ ดังนั้น มีความเป็นไปได้ที่จะใช้ค่า SCMR ประเมินความแตกต่างของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในช่วงย่างปล้องของอ้อยพันธุ์ต่าง ๆ ได้ อีกทั้งพบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและปริมาณคลอโรฟิลล์ บี แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี แม้ว่าพบความสัมพันธ์ระหว่าง SCMR และอัตราการเพิ่มความสูง แต่ค่าสหสัมพันธ์มีค่าต่ำและยอมรับได้ยาก ข้อมูลจากการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์อ้อยที่มีจำนวนประชากรมาก

คำสำคัญ: คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี อัตราการเพิ่มความสูง จำนวนหน่อ

Abstract

To date, the knowledge of the relationship between chlorophyll content and SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) of diverse sugarcane genotypes during stalk elongation phase have been lacking. Therefore, the objective of this study was to indicate the relationship between chlorophyll content and SCMR of 22 diverse sugarcanes during elongation stage. Pot experiment was conducted at Agronomy research station, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University. Completely Randomized Design (CRD) with 4 replications was used, diverse 22 genotypes based on typical and growth performance were assign as treatments. Chlorophyll content and SCMR were measured at 120 days after planting, and growth characters namely height and tiller numbers were recorded at 120 and 150 days after planting. The relationship between chlorophyll content and SCMR of 22 genotypes were found at elongation stage, positive correlations addressed between SCMR value and total chlorophyll (r = 0.70**), chlorophyll a (r = 0.69**) and chlorophyll b (r = 0.44*) contents. However, correlation coefficient value between SCMR and chlorophyll b was low. As the result, SCMR value feasibly use to evaluate the difference of total chlorophyll and chlorophyll a contents among diverse sugarcane genotypes. In addition, there were positive correlation between total chlorophyll content and chlorophyll a, and between total chlorophyll content and chlorophyll b, whereas the relationship between chlorophyll a and chlorophyll b was not significant. Despite correlation between SCMR and height growth rate was found, but its correlation coefficient value was low and unacceptable. This information would be useful for screening total chlorophyll content and chlorophyll a especially in sugarcane breeding program with massive population work.

Keywords: Chlorophyll a, Chlorophyll b, Height growth rate, Tiller number

บทนำ

อ้อย (*Saccharum officinarum* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งในปัจจุบันไทยส่งออกน้ำตาลได้เป็นอันดับ 2 ของโลก รองจากประเทศบราซิล ในปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวประมาณ 11.9 ล้านไร่ ผลผลิตอ้อยรวม 128.5 ล้านตัน สร้างผลผลิตน้ำตาลได้ประมาณ 13.7 ล้านตัน ใช้ในประเทศ 2.6 ล้านตัน ที่เหลือสร้างมูลค่าการส่งออกน้ำตาลได้กว่า 90,000 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) อย่างไรก็ตาม เพื่อการผลิตอ้อยอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องเข้าใจลักษณะและปัจจัยที่มีผลต่อการให้ผลผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะทางสรีรวิทยาที่สำคัญยิ่งสำหรับการเจริญเติบโต (Taiz and Ziger, 2006) ซึ่งคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) เป็นเป็นองค์ประกอบสำคัญของการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงและส่งผ่านพลังงานแสงอาทิตย์ในพืชส่วนใหญ่ประกอบด้วย คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) และคลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll b) (Willows, 2004) ในปัจจุบัน มีการใช้ลักษณะปริมาณรงควัตถุในใบบ่งบอกการเจริญเติบโตของอ้อย (นฤนาท, 2546; จิดาภา และคณะ, 2560) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอาจเกี่ยวข้องการเจริญเติบโตของอ้อย

ช่วงการเจริญเติบโตที่สำคัญช่วงหนึ่งที่ส่งผลต่อผลผลิตของอ้อย คือ ช่วงระยะย่างปล้อง (Elongation phase) (Mall et al., 2016) ซึ่งในระยะนี้อยู่ในช่วงอ้อยอายุ 120-270 วันหลังปลูก และในระยะนี้อ้อยจะสามารถเพิ่มความสูงได้ถึง 4-5 นิ้วต่อเดือน (Sanghera et al., 2019) ดังนั้น ในช่วงเวลาดังกล่าว หากอ้อยมีการเจริญเติบโตที่ดีก็จะสามารถให้ผลผลิตที่ดีได้ด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตาม การตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ้อยนั้นสามารถตรวจวัดได้แบบทางตรงและทางอ้อม โดยการตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์แบบทางตรงจะเป็นการเก็บตัวอย่างแบบทำลายต้น (Destructive sample) นำไปสกัดเนื้อเยื่อใบโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ตรวจวัด (Moran and Porath, 1980) แม้ว่าวิธีการนี้เป็นวิธีที่มีความแม่นยำสูง แต่วิธีการนี้ไม่เพียงต้องสูญเสียตัวอย่างต้นอ้อย ยังใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูงอีกด้วย และอีกวิธีการหนึ่ง คือ การตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ทางอ้อมโดยใช้เครื่อง SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) ซึ่งสามารถตรวจวัดข้อมูลได้รวดเร็วประหยัดเวลา และไม่เกิดการทำลายตัวอย่าง (Saberioon et al., 2014) แต่วิธีการนี้ก็มีข้อจำกัดในเรื่องความแม่นยำและไม่สามารถจำแนกถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ชนิดต่าง ๆ ได้

ในปัจจุบัน ได้มีการรายงานองค์ความรู้การตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งแบบทางตรงและทางอ้อมในอ้อย โดย Bunphan et al. (2018) ได้ตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ และ SCMR ของอ้อยในช่วงอายุ 8 ถึง 12 เดือนหลังปลูก และพบความสัมพันธ์ของลักษณะทั้งสองในระยะดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ในระยะดังกล่าวเป็นระยะที่อ้อยมีการสะสมน้ำตาล และเกิดการสุกแก่ทางสรีรวิทยา (Physiological maturity) (Mall et al., 2016) ทำให้อัตราการเจริญเติบโตคงที่ น้ำตาลที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงส่วนใหญ่ถูกสะสมเป็นความหวานในลำต้นอ้อย อาจกล่าวได้ว่า การศึกษาในช่วงนี้มีความเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตทางลำต้นของอ้อยน้อยมาก นอกจากนี้ Jangpromma et al. (2010) ได้พบความสัมพันธ์ระหว่าง SCMR และปริมาณคลอโรฟิลล์ในอ้อย ในอ้อยอายุ 3 เดือนที่ขาดน้ำ 10 วันในช่วงต้นของการเจริญเติบโต ซึ่งอ้อยที่ได้ทำการศึกษาอยู่ในระยะแตกกอ อีกทั้ง ค่า SCMR ในอ้อยที่ขาดน้ำในช่วงต้นของการเจริญเติบโตมีความสัมพันธ์กับจำนวนหน่อของอ้อยในระยะแตกกอ (จิดาภา และคณะ, 2560) และ Silva et al. (2007) ตรวจวัดค่า SCMR ในช่วงระยะย่างปล้อง (180-260 วันหลังปลูก) ในอ้อย 8 สายพันธุ์ที่มีความแตกต่างกันภายใต้สภาพไม่ขาดน้ำและขาดน้ำ พบว่าอ้อยพันธุ์ต่าง ๆ มีค่า SCMR แตกต่างกัน และพบความแตกต่างในสภาพที่ได้รับน้ำแตกต่างกันด้วย ดังนั้นลักษณะ SCMR จึงมีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ประเมินในช่วงย่างปล้องและเหมาะสมสำหรับการคัดเลือกพันธุ์อ้อยให้ทนทานต่อความแห้งแล้ง

อย่างไรก็ตาม การศึกษาความสัมพันธ์ของวิธีการตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทางตรง และทางอ้อม (SCMR) ที่ผ่านมา ยังขาดการรายงานความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการทั้งสองในช่วงระยะย่างปล้อง (อายุอ้อย 120 วันหลังปลูก) ในอ้อยที่มีความหลากหลายของพันธุกรรม และการส่งเสริมการเจริญเติบโตของปริมาณคลอโรฟิลล์ในช่วงดังกล่าว ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และ SCMR ของอ้อยพันธุ์ที่แตกต่างกันในช่วงระยะย่างปล้อง และความสัมพันธ์ของปริมาณคลอโรฟิลล์และการเจริญเติบโตของอ้อย ซึ่งองค์ความรู้ดังกล่าว จะช่วยให้เข้าใจศักยภาพของเครื่องมือในการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อย รวมถึงทราบลักษณะที่สามารถใช้ตรวจวัดการเจริญเติบโตของอ้อยทางอ้อมในระยะย่างปล้องนี้ด้วย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

สถานที่ทดลองและแผนการทดลอง

การทดลองนี้ทำการศึกษาในสภาพกระถางขนาดใหญ่ (บ่อซีเมนต์) กระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร ความสูง 100 เซนติเมตร โดยในแต่ละกระถางใส่ดินเท่ากัน ในปริมาณ 602 กิโลกรัมต่อกระถาง ให้ได้ความสูงของดิน 80 เซนติเมตร ซึ่งแบ่งบรรจุดินเป็น 8 ชั้น ๆ ละ 10 เซนติเมตร โดยแต่ละชั้นใส่ดินน้ำหนัก 75.25 กิโลกรัม ดินที่ใช้เป็นดินชุดยโสธร ดำเนินการทดลอง ณ หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ใช้แผนการทดลองแบบ Completely

Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยกำหนดให้พันธุ์ที่แตกต่างกันเป็นกรรมวิธีทดลอง จำนวน 22 พันธุ์ ได้แก่ UT6, UT5, UT4, UT3, TPJ04-768, F03-362, KK08-059, KK09-0939, KK07-037, 85-2-352, SP80, K84-200, K88-92, LK92-11, KK07-250, KK08-0358, KK07-599, F152, Singapore, SP50, UTj10-19 และ Malaysia (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 รายชื่อพันธุ์อ้อย ชนิดอ้อยที่ใช้ศึกษา จำนวน 22 พันธุ์

ลำดับ	พันธุ์	ชนิดอ้อยและลักษณะการเจริญเติบโต	ลำดับ	พันธุ์	ชนิดอ้อยและลักษณะการเจริญเติบโต
1	UT6	อ้อยโรงงาน งอกเร็ว เจริญเติบโตเร็ว แตกกอน้อย	12	K84-200	อ้อยโรงงาน งอกปานกลาง เจริญเติบโตปานกลาง
2	UT5	อ้อยโรงงาน งอกเร็ว เจริญเติบโตเร็ว แตกกอดี ออกดอกเร็ว	13	K88-92	อ้อยโรงงาน งอกปานกลาง เจริญเติบโตปานกลาง แตกกอน้อย
3	UT4	อ้อยโรงงาน งอกปานกลาง เจริญเติบโตปานกลาง	14	LK92-11	อ้อยโรงงาน งอกปานกลาง เจริญเติบโตค่อนข้างช้า-ปานกลาง
4	UT3	อ้อยโรงงาน งอกเร็ว เจริญเติบโตปานกลาง	15	KK08-0358	อ้อยโรงงาน งอกเร็ว เจริญเติบโตเร็ว
5	TPJ04-768	อ้อยอเนกประสงค์ งอกช้า เจริญเติบโตปานกลาง	16	KK07-250	อ้อยโรงงาน งอกช้า เจริญเติบโตปานกลาง
6	F03-362	อ้อยอาหารสัตว์ งอกปานกลาง เจริญเติบโตเร็ว แตกกอดี ออกดอกเร็ว	17	KK07-599	อ้อยโรงงาน งอกเร็ว เจริญเติบโตปานกลาง-เร็ว
7	KK08-059	อ้อยโรงงาน งอกเร็ว เจริญเติบโตเร็ว	18	F152	อ้อยโรงงาน งอกช้า เจริญเติบโตช้า
8	KK09-0939	อ้อยโรงงาน งอกเร็ว เจริญเติบโตเร็ว	19	Singapore	อ้อยคั้นน้ำ งอกช้า เจริญเติบโตปานกลาง
9	KK07-037	อ้อยโรงงาน งอกเร็ว เจริญเติบโตเร็ว	20	SP50	อ้อยคั้นน้ำ งอกเร็ว เจริญเติบโตปานกลางเจริญ
10	85-2-352	อ้อยโรงงาน งอกปานกลาง เจริญเติบโตปานกลาง	21	UTj10-19	อ้อยคั้นน้ำ งอกปานกลาง เจริญเติบโตปานกลาง
11	SP80	อ้อยโรงงาน งอกปานกลาง เจริญเติบโตปานกลาง	22	Malaysia	อ้อยคั้นน้ำ งอกปานกลาง เจริญเติบโตปานกลาง

ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (2558) และกรมวิชาการเกษตร (2564)

การปลูกและการดูแลรักษา

เตรียมท่อนพันธุ์อ้อยทั้ง 22 พันธุ์ โดยใช้ท่อนพันธุ์อายุ 12 เดือน ตัดข้อตาอ้อยให้มีระยะห่างจากตาด้านละ 1.5 นิ้ว แล้วนำข้อตามาเพาะในถุงชำขนาด 2 x 6 นิ้ว โดยใช้กากตะกอนหม้อกรองเป็นวัตถุดิบในการเพาะกล้าพันธุ์อ้อย จากนั้น เมื่ออ้อยอายุได้ 14 วันหลังปลูก คัดเลือกต้นกล้าอ้อยที่แข็งแรงและมีความสม่ำเสมอ นำไปย้ายปลูกในกระถางบ่อซีเมนต์ที่เตรียมไว้ พร้อมใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 สูตร 15-15-15 อัตรา 0.1 กรัมต่อกระถาง ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ช่วงอายุ 2 เดือน 15-15-15 อัตรา 0.1 กรัมต่อกระถาง และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 ช่วงอายุ 4 เดือน สูตร 46-0-0 15 อัตรา 0.1 กรัมต่อกระถาง กำจัดวัชพืชโดยการถอนด้วยมือ ให้น้ำแก่อ้อยตามความต้องการน้ำของอ้อยรายวัน คำนวณจากความต้องการน้ำของอ้อย ซึ่งคำนวณได้ตามวิธีของ (Songsri et al., 2009; Jangpromma et al., 2010) ดังสมการที่ 1

$$ET\ crop = ETo \times Kc \quad (1)$$

ความหมาย ET crop = ความต้องการน้ำของพืช (มิลลิเมตรต่อวัน)
ETo = การคายระเหยน้ำอ้างอิงจากการคำนวณโดยวิธี Pan Evaporation method
Kc = สัมประสิทธิ์ของความต้องการน้ำของอ้อย

ข้อมูลที่ทำการตรวจวัด

เก็บข้อมูล SCMR ด้วยเครื่อง SPAD-502 chlorophyll meter (Minolta SPAD502 meter Tokyo, Japan) ช่วงเวลา 09.00-11.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่พลังงานรังสีดวงอาทิตย์มีค่าสูงและใบอ้อยมีกิจกรรมทางสรีรวิทยาจากการรับแสงแล้ว โดยเก็บข้อมูลที่ลำต้นหลักของอ้อย เก็บตรงตำแหน่งกลางใบของใบลำดับที่ 2 ที่แผ่ขยายเต็ม เก็บข้อมูลวันที่ 120 วันหลังปลูกซึ่งอ้อยเข้าสู่ช่วงระยะย่างปล้อง

ข้อมูลปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบแบบทางตรง วัดในวันเดียวกันกับวันที่เก็บ SCMR โดยตัดใบอ้อยขนาด 2 ตารางเซนติเมตร ตัดจากการตำแหน่งเดียวกันกับที่ใช้วัด SCMR นำตัวอย่างชิ้นใบอ้อยใส่ในถุงซิปเก็บในกล่องน้ำแข็ง ช่วงเวลาทำ 11.00-12.00 น. เมื่อนำตัวอย่างมาถึงห้องปฏิบัติการ ตัดตัวอย่างใบอ้อยให้เหลือขนาด 1 ตารางเซนติเมตร นำชิ้นตัวอย่างที่ตัดใส่หลอดทดลองที่ห่อไว้ด้วยอะลูมิเนียมฟรอยล์เพื่อไม่ให้แสงเข้า นำสาร N,N-Dimethylformamide ใส่ในหลอดทดลองในปริมาณ 5 มิลลิลิตร ปิดหลอดทดลองพาราฟิล์มให้มิดชิดเพื่อป้องกันสารระเหยออกมา แล้วปิดหลอดด้วยอะลูมิเนียมฟรอยล์อีก 1 ชั้น ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง เพื่อให้สาร N,N-Dimethylformamide สกัดคลอโรฟิลล์ใบอ้อย แล้วนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยวัดทุกตัวอย่างที่ความยาวคลื่นแสง 647 นาโนเมตร และ 664 นาโนเมตร คำนวณ ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ, บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ตามวิธีของ Moran (1982) และ Jangpromma et al. (2010) ดังสูตร

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ} = 12.64A_{664} - 2.99A_{647}$$
$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี} = -5.6A_{664} + 23.24A_{647}$$
$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด} = 7.04A_{664} + 20.27A_{647} \quad (2)$$

เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อย ได้แก่ ความสูงต้นและจำนวนหน่อ เก็บข้อมูลเมื่ออ้อยอายุ 120 และ 150 วันหลังปลูก วัดความสูงของต้นอ้อยทุกพันธุ์ในแต่ละซ้ำ วัดที่ตำแหน่งลำต้นหลัก โดยวัดจากโคนต้น (ชิดดิน) ขึ้นไปจนถึงตำแหน่งคอใบสุดท้ายที่ปรากฏ ด้วยไม้เมตรมีหน่วยเป็นเซนติเมตร จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย นำข้อมูลความสูงเฉลี่ยไปคำนวณอัตราการเพิ่มความสูงรายวัน (Height growth rate per day) โดยคำนวณตามสมการที่ 3 (จิดาภา และคณะ, 2560)

$$\text{Height growth rate} = H2\text{-}H1 \,/\, t2 - t1 \quad (3)$$

โดย H = ความสูงของต้นอ้อย (H2 ความสูงที่อายุ 150 วันหลังปลูก, H1 ความสูงที่อายุ 120 วันหลังปลูก)
t = เวลา (t2 อายุอ้อย 150 วันหลังปลูก, t1 อายุอ้อย 120 วันหลังปลูก)

จำนวนหน่อต่อกอ (ถ้าอ้อยสร้างลำแล้วคือ จำนวนลำต่อกอ) ของต้นอ้อยทุกพันธุ์ในแต่ละซ้ำ โดยนับจำนวนลำต้นในกอที่มีการย่างปล้องแล้วรวมกับจำนวนหน่อที่โผล่เหนือดิน จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนในทุกลักษณะตามแผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least significant difference (LSD) ด้วยโปรแกรม Statistix 8 ที่ระดับนัยสำคัญ $p<0.05$ เปรียบเทียบอัตราความสูงรายวันและจำนวนหน่อต่อกอในแต่ละพันธุ์จากค่า Standard error และหาความสัมพันธ์ของลักษณะต่าง ๆ ด้วย Simple correlation

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ปริมาณคลอโรฟิลล์และค่า SCMR และความสัมพันธ์ของลักษณะเหล่านี้

อ้อยทั้ง 22 พันธุ์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และค่า SCMR ที่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) และมีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยพบว่าพันธุ์ที่มีความโดดเด่นในลักษณะปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้แก่พันธุ์ K88-92, 85-2-352, TPJ04-768, KK08-0358 และ SP80 ส่วนพันธุ์ UT3 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี สูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ ซึ่งพันธุ์ที่โดดเด่นในลักษณะปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด 85-2-352, K88-92, TPJ04-768 และ UT3 และพันธุ์ที่มีค่า SCMR สูงโดดเด่น ได้แก่ พันธุ์ 85-2-352, KK08-0358 และ K88-92 (ตารางที่ 2)

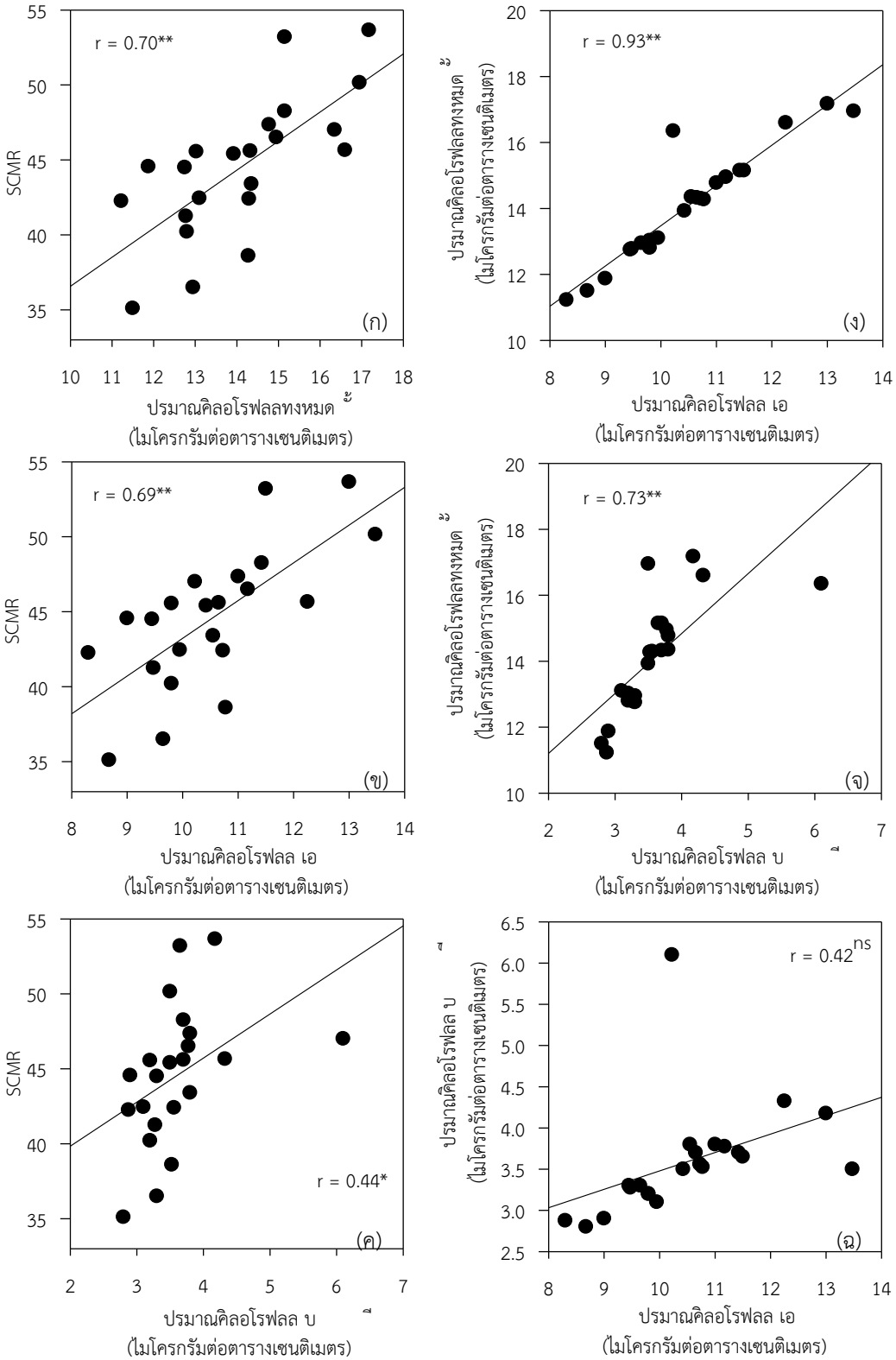
ตารางที่ 2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และค่า SCMR ของอ้อย 22 พันธุ์ ในระยะย่างปล้อง (120 วันหลังปลูก)

พันธุ์อ้อย	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร)		ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร)		ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร)		SCMR	
UT6	9.8	d-g	3.2	bc	13.0	c-f	45.6	c-f
UT5	11.2	bcd	3.8	bc	15.0	abc	46.5	b-f
UT4	8.3	g	2.9	bc	11.2	f	42.3	d-h
UT3	10.2	c-g	6.1	a	16.4	ab	47.0	a-f
TPJ04-768	12.3	abc	4.3	b	16.6	ab	45.7	c-f
F03-362	8.7	fg	2.8	c	11.5	ef	35.1	i
KK08-059	9.0	efg	2.9	bc	11.9	def	44.6	c-g
KK09-0939	9.8	d-g	3.2	bc	12.8	c-f	40.2	f-i
KK07-037	10.6	c-f	3.8	bc	14.4	a-e	43.4	c-h
85-2-352	13.0	ab	4.2	bc	17.2	a	53.7	a
SP80	11.4	a-d	3.7	bc	15.2	abc	48.3	a-d
K84-200	9.5	d-g	3.3	bc	12.8	c-f	44.5	c-g
K88-92	13.5	a	3.5	bc	17.0	a	50.2	abc
LK92-11	10.8	cde	3.5	bc	14.3	a-e	38.6	ghi
KK08-0358	11.5	a-d	3.7	bc	15.2	abc	53.2	ab
KK07-250	10.7	c-f	3.7	bc	14.3	a-e	45.6	c-g

พันธุ์อ้อย	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	SCMR
KK07-599	10.4 c-f	3.5 bc	13.9 b-f	45.4 c-g
F152	11.0 b-e	3.8 bc	14.8 a-d	47.4 a-e
Singapore	9.5 d-g	3.3 bc	12.8 c-f	41.3 e-i
SP50	10.0 d-g	3.1 bc	13.1 c-f	42.5 d-h
UTj10-19	9.7 d-g	3.3 bc	13.0 c-f	36.5 hi
Malaysia	10.7 c-f	3.6 bc	14.3 a-e	42.4 d-h
F-test	**	*	**	**
CV	13.94	28.58	14.74	7.06

หมายเหตุ: *,** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p<0.05 และ p<0.01 ตามลำดับ
ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD ที่ p<0.05

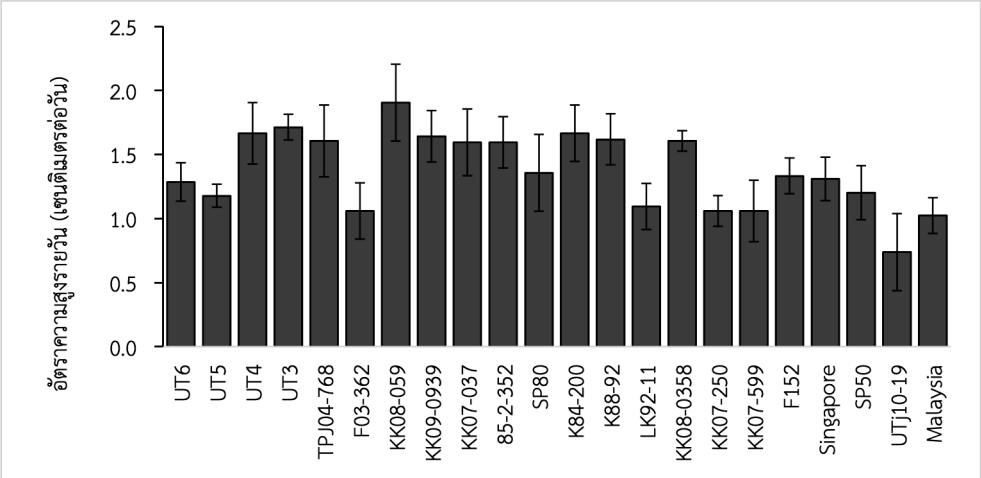
ในแง่ความสัมพันธ์ของลักษณะปริมาณคลอโรฟิลล์และ SCMR ในกลุ่มอ้อย 22 พันธุ์ พบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างค่า SCMR และ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (r = 0.70**) (รูปที่ 1ก) นอกจากนี้ ยังพบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างค่า SCMR และ ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (r = 0.69**) (รูปที่ 1ข) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าพบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างค่า SCMR และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี แต่ค่าสหสัมพันธ์ของลักษณะดังกล่าวมีค่าต่ำ (r = 0.44*) (รูปที่ 1ค) ดังนั้น ค่า SCMR ในช่วงย่างปล้องของอ้อยสามารถใช้สะท้อนปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในใบอ้อยได้ อีกทั้ง พบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (r = 0.93**) (รูปที่ 1ง) และ ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (r = 0.73*) (รูปที่ 1จ) แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (รูปที่ 1ฉ)



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และค่า SCMR ของอ้อย 22 พันธุ์ในระยะย่างปล้อง (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและค่า SCMR, (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และค่า SCMR, (ค) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ บี และค่า SCMR, (ง) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด, (จ) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และ (ฉ) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี

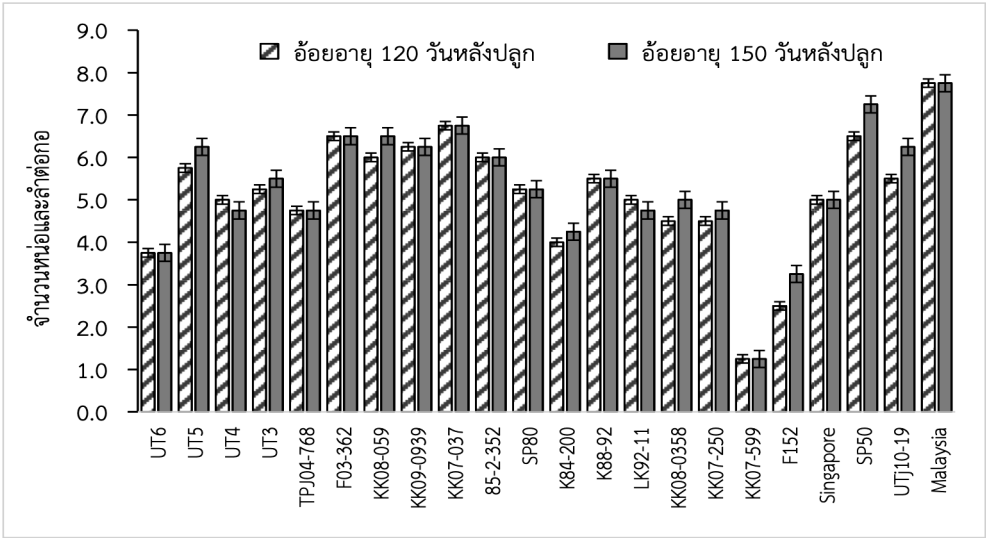
การเจริญเติบโต และความสัมพันธ์ของลักษณะการเจริญเติบโตและปริมาณคลอโรฟิลล์

อัตราการเพิ่มความสูงรายวันของอ้อยตั้งแต่อ้อยอายุ 120 ถึง 150 วันหลังปลูก ซึ่งอ้อย 22 พันธุ์ที่ทำการศึกษามีการเพิ่มความสูงเฉลี่ยรายวัน 1.38 เซนติเมตรต่อวัน อีกทั้ง อ้อย 22 พันธุ์มีอัตราการเพิ่มความสูงรายวันที่แตกต่างกัน โดยพันธุ์ที่มีอัตราการเพิ่มความสูงที่โดดเด่น คือพันธุ์ KK08-059, UT3, K84-200, K88-92, KK08-0358 และ UT4 ในทางตรงกันข้ามพันธุ์ที่มีอัตราการเพิ่มความสูงต่ำอย่างชัดเจนคือ พันธุ์ UTj10-19, F03-362, Malaysia LK92-11, KK07-250 และ KK07-599 (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 อัตราการเพิ่มความสูงรายวันของอ้อย 22 พันธุ์ ในระยะย่างปล้อง ตั้งแต่อ้อยอายุ 120 ถึง 150 วันหลังปลูก

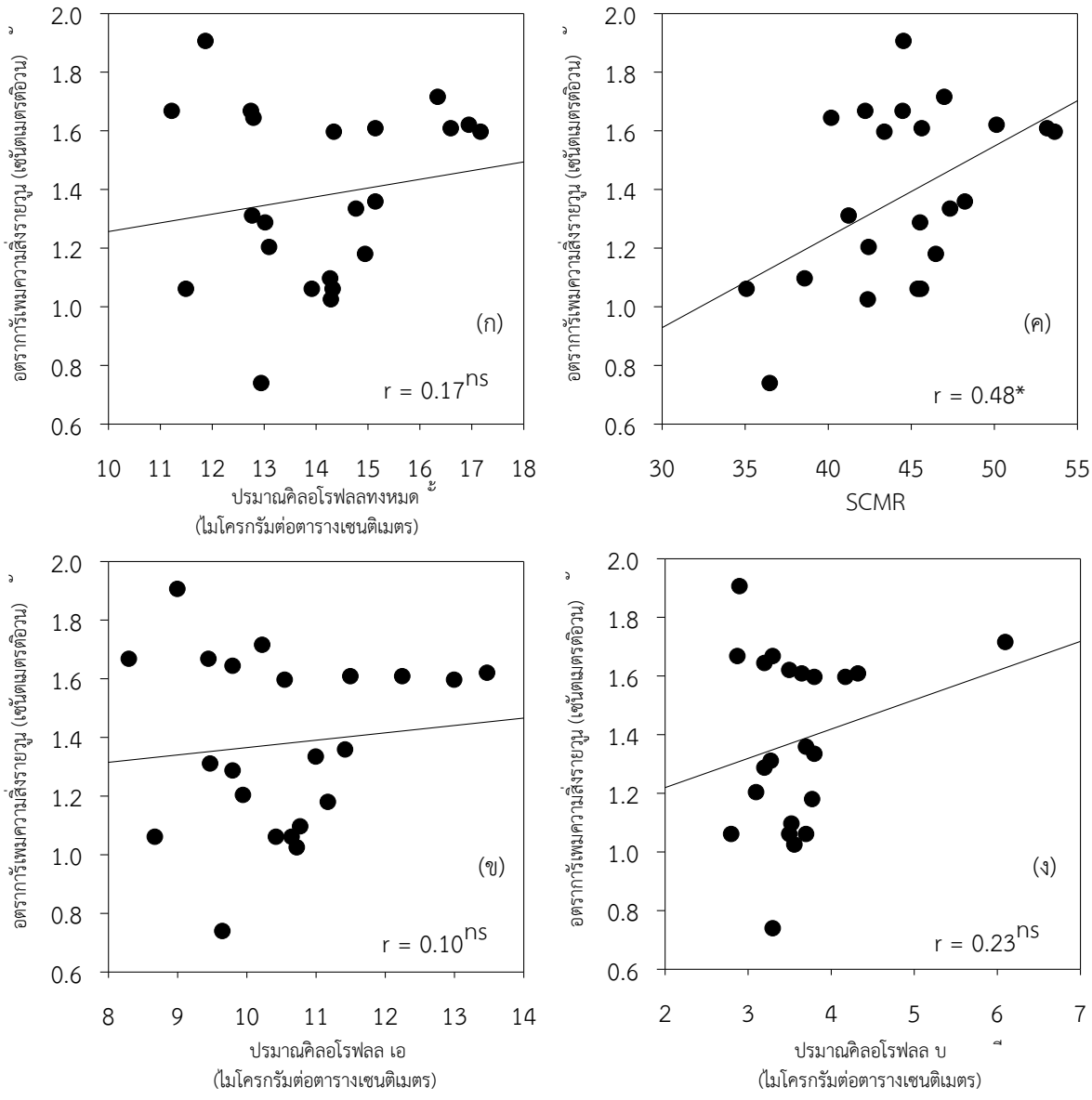
เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของลำและหน่อของอ้อยต่อกอ (หน่อบวกลำ) พบว่าอ้อยส่วนใหญ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนหน่อ/ลำอ้อยต่อกอในช่วงระยะที่อ้อยอายุ 120 ถึง 150 วันหลังปลูก มีเพียงอ้อย 6 พันธุ์ คือ UT5, KK08-059, KK08-0358, F152, SP50 และ UTj10-19 เท่านั้น ที่ยังคงมีจำนวนหน่อเพิ่มขึ้น (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงจำนวนหน่อและลำของอ้อย 22 พันธุ์ ในระยะย่างปล้อง เปรียบเทียบระหว่างอ้อยอายุ 120 และ 150 วันหลังปลูก

อย่างไรก็ตาม อ้อยทุกพันธุ์ในการทดลองนี้มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ในแง่ความสูงและจำนวนหน่อ และพบว่าบางพันธุ์มีการเพิ่มขึ้นในด้านความสูงอย่างมากและไม่เพิ่มจำนวนหน่อ (เช่น UT3, K84-200, K88-92 และ UT4) บางพันธุ์มีการเพิ่มความสูงอย่างมากและมีการสร้างหน่อเพิ่ม (เช่น KK08-059 และ KK08-0358) และมีบางพันธุ์ที่มีความสูงเพิ่มขึ้นไม่มากนักเพราะยังคงมีการสร้างหน่อใหม่เพิ่ม (เช่น UTj10-19 และ SP50)

ไม่พบความสัมพันธ์ของลักษณะการเจริญเติบโตในแง่อัตราการเพิ่มความสูงรายวันและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และ บี (รูปที่ 4 ก ข และ ง) และแม้ว่าอัตราการเพิ่มความสูงรายวันและค่า SCMR มีความสัมพันธ์ทางบวก แต่ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะดังกล่าวมีค่าต่ำ (r = 0.48*) (รูปที่ 4ค) อีกทั้ง ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนหน่อและ SCMR ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และ บี (ไม่ได้แสดงข้อมูล)



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเพิ่มความสูงรายวันและปริมาณคลอโรฟิลล์และค่า SCMR ของอ้อย 22 พันธุ์ในระยะย่างปล้อง (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและอัตราการเพิ่มความสูงรายวัน, (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และอัตราการเพิ่มความสูงรายวัน, (ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SCMR และอัตราการเพิ่มความสูงรายวัน, (ง) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์บีและอัตราการเพิ่มความสูงรายวัน

คลอโรฟิลล์คือรงค์วัตถุที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง ระบบแสง 1 (PSI) และระบบแสง 2 (PSII) และต่อเนื่องไปถึงการให้ผลผลิตของพืชปลูก (Rong-hua et al., 2006) ปริมาณคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อใบอ้อยมีความแตกต่างกันออกไปในอ้อยพันธุ์ต่าง ๆ (Kamat and Singh, 2002) สัดส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในใบอ้อยมีค่าอยู่ประมาณ 2.5-3.0 เท่า (Islam and Begum, 2012) ซึ่งผลการทดลองอ้อย 22 พันธุ์นี้มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงกว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ประมาณ 3 เท่า นอกจากนี้ Islam and Begum (2012) ได้รายงานว่าอ้อยพันธุ์ต่าง ๆ ในระยะเก็บเกี่ยวมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดแตกต่างกัน อีกทั้ง ลักษณะ SCMR ของอ้อยพันธุ์ต่าง ๆ มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Jangpromma et al., 2010) ซึ่ง SCMR เป็นลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการแสดงออกของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง กล่าวคือลักษณะ SCMR แสดงถึงปริมาณรงควัตถุทางอ้อมในใบพืช ซึ่งรงควัตถุมีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง Silva et al. (2007) และ (da Silva et al., 2012) ให้ข้อแนะนำว่า ลักษณะ SCMR เป็นลักษณะที่เหมาะสำหรับนำมาใช้คัดเลือกพันธุ์อ้อยให้ทนทานต่อความแห้งแล้ง

ช่วงการเจริญเติบโตที่สามารถกำหนดผลผลิตได้อย่างระยะย่างปล้อง การศึกษานี้พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์ เอ และ บี กับค่า SCMR ของอ้อย 22 พันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับ Jangpromma et al. (2010) ที่พบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและ SCMR ในช่วงต้นของการเจริญเติบโตของอ้อย (อ้อยอายุ 90 และ 100 วันหลังปลูก) โดยแสดงค่าสหสัมพันธ์ของลักษณะดังกล่าวเท่ากับ 0.78** และ 0.74** ตามลำดับ และพบค่าสหสัมพันธ์ที่สูงระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและ SCMR ทั้งในชุดการทดลองของอ้อยจำนวน 15 พันธุ์ (r=0.83**) (Radhamani et al., 2016) และอ้อยจำนวน 24 พันธุ์ (r=0.90**) (Radhamani et al., 2013) อีกทั้ง ยังพบความสัมพันธ์ของลักษณะดังกล่าวในสภาพขาดน้ำอีกด้วย และในระยะอ้อยสะสมน้ำตาลและสุกแก่ ที่อ้อยอายุ 8-12 เดือนหลังปลูก Bunpun et al. (2018) พบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และ SCMR โดยมีค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง 0.55*-0.78** ซึ่งค่าสหสัมพันธ์ของการรายงานวิจัยที่ผ่านมามีค่าสอดคล้องกับการวิจัยนี้ที่พบความสัมพันธ์ในระยะย่างปล้อง

จิดาภา และคณะ (2560) ได้รายงานว่า ค่า SCMR ในอ้อยมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเจริญเติบโตของหน่ออ้อย ในระยะอ้อยแตกกอ ซึ่งค่าความเขียวเข้มของสีใบที่แสดงจากค่า SCMR จึงมีความเกี่ยวข้องกับแสดงออกของจำนวนหน่อต่อกอ อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยของงานทดลองนี้ พบว่าแม้พันธุ์อ้อยส่วนใหญ่ไม่มีการสร้างหน่อเพิ่มขึ้นแล้ว แต่ก็มีอ้อยบางพันธุ์ที่ยังคงแตกหน่ออยู่ในช่วงระหว่างเดือนที่ 4 ถึง 5 เดือนหลังปลูก ด้วยเหตุนี้ อาจจะทำให้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์กับอัตราการเพิ่มความสูง และพบค่าสหสัมพันธ์ต่ำสำหรับค่า SCMR และอัตราการเพิ่มความสูง ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ส่งเสริมอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและการได้มาซึ่งอาหาร (Assimilate) จะถูกแบ่งสันปันส่วนไปเสริมสร้างมวลชีวภาพในส่วนต่าง ๆ ซึ่งบางพันธุ์อาจจะมีสารอาหารที่เพื่อย่างปล้อง หรือนำไปสร้างหน่อใหม่

บทสรุป

จากการศึกษาในครั้งนี้ พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และ SCMR ในช่วงระยะย่างปล้อง โดยพบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างค่า SCMR และ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี อย่างไรก็ตาม ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่า SCMR และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี อยู่ในระดับที่ต่ำ ดังนั้น ค่า SCMR ในช่วงย่างปล้องของอ้อยสามารถใช้บ่งบอกความแตกต่างของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในใบอ้อยได้ อีกทั้ง พบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณคลอโรฟิลล์ บี อย่างไรก็ตาม ไม่พบความสัมพันธ์ที่ยอมรับได้ระหว่างค่า SCMR และอัตราการเพิ่มความสูงของอ้อย และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และอัตราการเพิ่มความสูงของอ้อย ซึ่งการเจริญเติบโตในระยะย่างปล้องของอ้อยมีความซับซ้อน มีหลายลักษณะที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้น

จำเป็นต้องศึกษาลักษณะอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง การคายน้ำ ลักษณะราก และการแบ่งสันปันส่วนสารอาหาร เป็นต้น เพื่อให้เข้าใจการแสดงออกของการเจริญเติบโตในระยะย่างปล้องได้อย่างชัดเจน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์วิจัยอ้อยและน้ำตาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และสาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และได้รับการสนับสนุนพันธุ์อ้อยจากศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร อีกทั้งขอขอบคุณนางสาวจิญานันท์ จันทร์ยอย ที่ดำเนินการช่วยเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. (2564). บุคลากรในศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น และศูนย์วิจัยพืชไร่สพรรณบุรี. (สัมภาษณ์, 26 พฤษภาคม 2564).

จิดาภา คงหินไธสง, พัชริน ส่งศรี และ นันทวุฒิ จงรั้งกลาง. (2560). รูปแบบการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของอ้อยต่อการจำลองความแห้งแล้งในระบบการปลูกอ้อยข้ามแล้ง. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร:วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 25(2): 102-112.

นฤนาท ชัยรังสี. (2546). การศึกษาสังเคราะห์ด้วยแสงของเรือนพุ่มอ้อย. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร□.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2562). สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตร (ข้อมูลพื้นฐาน) ปี 2562. ค้นเมื่อ 13 สิงหาคม 2563. http://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/ebook/2563/commodity2562.pdf.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2558). พันธุ์อ้อยในประเทศไทย. สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม และมหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

Bunphan D., Sinsiri N. and Wanna R. (2019). Application of SCMR and fluorescence for chlorophyll measurement in sugarcane. International Journal of GEOMATE. 16(56): 33-38.

da Silva P.P., Soares L., da Costa J.G., Viana L.D.S., Farias de Andrade J.C., Goncalves E.R., dos Santos J.M. and Veríssimo G. (2012). Path analysis for selection of drought tolerant sugarcane genotypes through physiological components. Industrial Crops and Products: 37: 11–19.

Islam M.S. and Begum M.K. (2012). Comparative studies of chlorophyll content, yield and juice quality of eight sugarcane varieties**.** Journal of agroforestry and environment. 6(1): 121-124.

Jangpromma N., Songsri P., Thammasirirak S. and Jaisil P. (2010). Rapid assessment of chlorophyll content in sugarcane using a SPAD chlorophyll meter across different water stress conditions. Asian Journal of Plant Sciences. 9(6): 368-374.

Kamat D.N. and Singh J.R.P. (2002). Path analysis in sugarcane under rainfed condition. Indian Sugar 51: 795-797.

Mall R. K., Sonkar G., Bhatt D., Sharma N.K., Baxla A.K. and Singh K.K. (2016). Managing impact of extreme weather events in sugarcane in different agro-climatic zones of Uttar Pradesh. MAUSAM. 67(1): 233-250.

Moran R. (1982). Formulae for Determination of Chlorophyllous Pigments Extracted with N,N-Dimethylformamide. Plant Physiology. 69(6): 1376-1381.

Moran R. and Porath. D. (1980). Chlorophyll Determination in Intact Tissues Using N,N-Dimethylformamide. Plant Physiology. 65(3): 478-479.

Radhamani R. and Kannan R. (2013). Nondestructive and Rapid Estimation of Leaf Chlorophyll Content of Sugarcane using a SPAD Meter. International Journal of Science and Research. 5(4): 2392-2397.

Radhamani R., Kannan R. and Rakkiyappan P. (2016). Leaf chlorophyll meter reading as an indicator for sugarcane yield under Iron deficient Typic Haplustert. Sugar Tech. 18(1): 61-66.

Rong-hua L.I., Pei-pol G.U.O., Baumz M., Grando S. and Ceccarelli S. (2006). Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. Agricultural Sciences in China. 10: 551-557.

Saberioon M.M., Amin M.S.M., Gholizadeh A. and Ezri M.H. (2014). A Review of Optical Methods for Assessing Nitrogen Contents During Rice Growth. Applied engineering in Agriculture. 30(4): 657-669.

Sanghera, G. S., Malhotra, P. K., Singh, H., & Bhatt, R. (2019). Climate change impact in sugarcane agriculture and mitigation strategies. In Harnessing Plant Biotechnology and Physiology to Stimulate Agricultural Growth. Accessed 14 April 2021. https://www.researchgate.net/publication/331894646_Climate_Change_Impact_in_Sugarcane_Agriculture_and_Mitigation_Strategies_Climate_Change_Impact_in_Sugarcane_Agriculture_and_Mitigation_Strategies

Silva M.D.A., Jifon J.L., de Silva J.A.G. and Sharma V. (2007). Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Brazilian Journal of Plant Physiology. 19: 193-201.

Songsri P., Jogloy S., Holbrook C.C., Kesmala T., Vorasoot N., Akkasaeng C. and Patanothai A. (2009). Association of root, specific leaf area and SPAD chlorophyll meter reading to water use efficiency of peanut under different available soil water. Agricultural and Water Management. 96: 790-798.

Taiz L. and Zeiger E. (2006). Plant physiology. 4th ed. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.

Willows R. D. (2004). Chlorophylls. In Davies K.M. Editor. Plant Pigments and their Manipulation. Blackwell Publishing: Oxford. 23-56.