คุณลักษณะทางสรีรวิทยา
ของพันธุ์อ้อยที่มีศักยภาพในการดูดซับก๊าซเรือนกระจก

โครงการวิจัยศักยภาพของการดูดซับก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่การผลิตอ้อย

กรมวิชาการเกษตร

2565

คำนำ

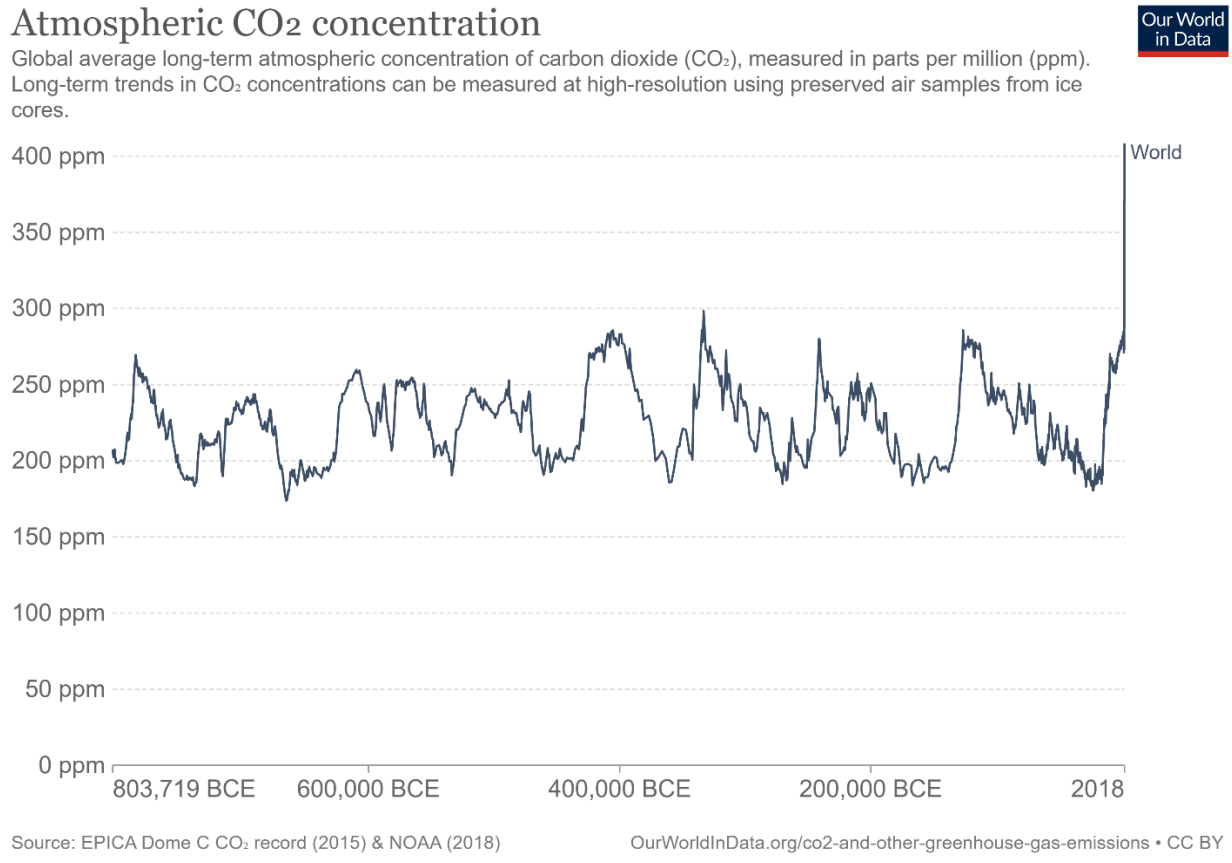
เอกสาร **คุณลักษณะทางสรีรวิทยาของพันธุ์อ้อยที่มีศักยภาพในการดูดซับก๊าซเรือนกระจก** นี้จัดทำขึ้นเพื่อรวบรวมผลการศึกษาในโครงการวิจัยศักยภาพของการดูดซับก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่การผลิตอ้อย ระหว่างตุลาคม 2563 -ธันวาคม 2564 ของกรมวิชาการเกษตร เป็นองค์ความรู้ใหม่ เรื่อง **ข้อมูลคุณลักษณะทางสรีรวิทยาของพันธุ์อ้อยที่มีศักยภาพในการดูดซับก๊าซเรือนกระจก** ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการวัดการสังเคราะห์แสงของอ้อย และปัจจัยที่มีผลกระทบ ซึ่งเป็นการตั้งต้นการดูดซับคาร์บอน

หวังเป็นอย่างยิ่งว่า เอกสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาต่อยอดงานวิจัยและพัฒนาการดูดซับก๊าซเรือนกระจก เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเลือกใช้พันธุ์อ้อยที่มีศักยภาพดูดซับก๊าซเรือนกระจก และจัดการแปลงให้มีสภาพที่เหมาะสม ช่วยดูดซับและกักเก็บคาร์บอนให้หมุนเวียนอยู่ในระบบการผลิตอ้อยได้

กุมภาพันธ์ 2565

ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas)

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ได้ให้ความหมายของ ก๊าซเรือนกระจก ว่าเป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อน หรือรังสีอินฟาเรดได้ดี ก๊าซเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการรักษาอุณหภูมิในบรรยากาศของโลกให้คงที่ ซึ่งหากบรรยากาศโลกไม่มีก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ ดังเช่นดาวเคราะห์ดวงอื่นๆ ในระบบสุริยะแล้ว จะทำให้อุณหภูมิในตอนกลางวันนั้นร้อนจัด และในตอนกลางคืนนั้นหนาวจัด เนื่องจากก๊าซเหล่านี้ดูดคลื่นรังสีความร้อนไว้ในเวลากลางวัน แล้วค่อยๆ แผ่รังสีความร้อนออกมาในเวลากลางคืน ทำให้อุณหภูมิในบรรยากาศโลกไม่เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน มีก๊าซจำนวนมากที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อน และถูกจัดอยู่ในกลุ่มก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีทั้งก๊าซที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญคือ ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โอโซน มีเทนและไนตรัสออกไซด์ สารซีเอฟซี เป็นต้น แต่ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมโดยพิธีสารเกียวโต มีเพียง 7 ชนิด โดยจะต้องเป็นก๊าซที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic greenhouse gas emission) เท่านั้น ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_20) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) และก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF_3)



ที่มา : https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions#co2-and-greenhouse-gas-emissions-country-profiles

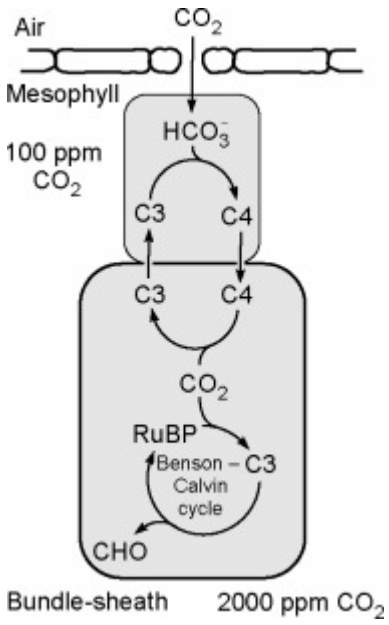
อ้อยดูดซับก๊าซเรือนกระจกและกักเก็บคาร์บอนได้

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นวัตถุดิบสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช และกักเก็บคาร์บอนในรูปเนื้อเยื่อพืช ปริมาณของสารอินทรีย์ที่พืชสังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสงจะอยู่ในรูปสารอินทรีย์ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นชีวมวล สามารถวัดออกมาเป็นน้ำหนักแห้งต่อหน่วยพื้นที่ได้ พื้นที่ป่าไม้จึงเป็นแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเก็บกักคาร์บอนที่สำคัญ แต่พื้นที่ที่ใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตรก็สามารถเป็นแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สำคัญ และมีศักยภาพเพียงพอต่อการหมุนเวียนการกักเก็บคาร์บอนทั้งในต้นพืชและในดิน ซึ่งการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินยังเป็นกลไกที่มีประสิทธิภาพ คาร์บอนในดินอยู่ในรูปสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ แต่ปริมาณยังผันแปรสูงขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และสภาพภูมิอากาศ การกักเก็บคาร์บอนและการปลดปล่อยนั้นเป็นกิจกรรมที่เกิดขึ้นควบคู่กัน แต่จะเป็นไปในทิศทางใดมากกว่ากันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น การจัดการดิน ปุ๋ย เนื้อดิน ความชื้น อุณหภูมิ สิ่งมีชีวิตในดิน การไถกลบเศษซากพืชทำให้คาร์บอนเก็บสะสมไว้ในรูปของฮิวมัส อินทรีย์คาร์บอนเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรรายงานว่ามีเนื้อที่ปลูกปี พ.ศ. 2564 ประมาณ 9.3 ล้านไร่ จึงมีโอกาสที่จะกักเก็บคาร์บอนไว้ในระบบการปลูกอ้อยได้มาก

อ้อยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง และกักเก็บคาร์บอนนั้นไว้ในรูปเนื้อเยื่อพืช ระยะการเจริญเติบโตของพืช ตำแหน่งใบ มีผลต่อการดูดซับ CO_2 การสะสมคารบอนเพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโตของพืช รวมทั้งการจัดการดินและน้ำ

อ้อยเป็นพืช C4

อ้อย เป็นพืช C4 จัดเป็นพืชที่มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่พันธุ์มีลักษณะทรงใบและทรงกอที่แตกต่างกัน ย่อมมีผลต่อการรับแสง จึงทำให้อ้อยแต่ละพันธุ์แตกต่างกัน อีกทั้งโครงสร้างของใบแบบ Kranz anatomy ที่ช่วยให้พืชสามารถนำคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศและในเซลล์ mesophyll ที่มีความเข้มข้นต่ำเข้าสู่ bundle-sheath ทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์ bundle-sheath สูงมากขึ้น เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของออกซิเจน ทำให้ปฏิกิริยาการตรึงออกซิเจน โดย RuBP เกิดได้น้อย



ที่มา : https://www.sciencedirect.com/topics/immunology-and-microbiology/c4-plant

การเจริญเติบโตและพัฒนาการของอ้อย

สารอินทรีย์ที่อ้อยสังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสงจะเปลี่ยนเป็นชีวมวลซึ่งสามารถวัดได้ การสะสมชีวมวลนั้นแตกต่างไปตามสภาพแวดล้อมที่ปลูกและพันธุ์อ้อย จากกรณีตัวอย่าง การปลูกอ้อย 6 พันธุ์ ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี ในวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2563 มีการให้น้ำเสริมในช่วงแรก

ความสูง

อ้อยอายุ 4 เดือนหลังปลูกอยู่ในช่วงกำลังเจริญเติบโต แตกหน่อ ดินชื้น ความสูง 87-123 ซม. ที่ 6 เดือน ระยะย่างปล้อง ความสูง 171-203 ซม. 8 เดือน เป็นช่วงมรสุมมีฝนตกหนักน้ำท่วมขังแปลงไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ ที่อายุ 10 เดือน ระยะสะสมน้ำหนักเจอลมแรงทำให้ต้นอ้อยล้ม ความสูง 260-340 ซม. เก็บเกี่ยวกุมภาพันธ์ 2564 เพื่อไว้ตอ อัตราการเพิ่มความสูงมากในช่วง 10 เดือน ($P<0.05$) แต่ไม่แตกต่างกันทั้ง 6 พันธุ์

Specific leaf area

พื้นที่ใบและจำนวนใบไม่แตกต่างกันทั้งพันธุ์และช่วงเวลา แต่อัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักของใบ (specific leaf area : SLA) แตกต่างกันระหว่างพันธุ์และช่วงเวลา ($P<0.01$) โดยทุกพันธุ์ใบบางลงเมื่ออายุมากขึ้น โดยพันธุ์อู่ทอง 12 และอู่ทอง 17 มีค่า SLA ต่ำกว่าพันธุ์อื่นๆ ทุกช่วงอายุ แสดงว่า 2 พันธุ์นี้ใบหนากว่า (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ความสูง พื้นที่ใบ จำนวนใบ และอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อหน่วยน้ำหนักของใบเฉลี่ยของอ้อยลำหลัก ที่สุพรรณบุรี ปลูกวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2563

พันธุ์	ความสูง (ซม.)			LA (ตร.ม.)			จำนวนใบ			SLA (ตร.ซม./กรัม)		
	4m	6m	10m	4m	6m	10m	4m	6m	10m	4m	6m	10m
ขอนแก่น 3	87	181	263	0.52	0.65	0.60	10.0	12.0	11.0	113	97	85
อู่ทอง 12	94	171	293	0.45	0.42	0.57	15.0	10.7	14.0	98	87	78
อู่ทอง 15	114	181	260	0.41	0.50	0.50	8.3	10.0	10.0	100	100	86
อู่ทอง17	110	178	311	0.60	0.51	0.58	13.3	10.7	12.0	76	76	73
UT10-615	114	203	340	0.61	0.58	0.66	13.7	11.3	12.7	103	84	86
UT10-009R	123	200	291	0.76	0.71	0.41	16.3	12.7	9.7	117	108	88

m: เดือนหลังปลูก

ปริมาณคลอโรฟิลด์

ปริมาณคลอโรฟิลด์ เอ ปริมาณคลอโรฟิลด์ บี และปริมาณคลอโรฟิลด์รวมไม่แตกต่างทางสถิติระหว่างพันธุ์และช่วงเวลา ยกเว้นปริมาณคลอโรฟิลด์ เอ ที่ต่างช่วงเวลากันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ละพันธุ์และช่วงเวลาผันแปรค่อนข้างสูง (ตารางที่ 2) พันธุ์และสภาพแวดล้อมมีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ คลอโรฟิลล์ เอ นั้นจัดว่าเป็น primary pigment ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงโดยตรง ส่วนรงควัตถุชนิดอื่น ๆ ต้องรับแสงแล้วจึงส่งต่อให้คลอโรฟิลล์ เอ (accessory pigment) ในพืชชั้นสูงมักจะมีคลอโรฟิลล์ เอ มากกว่าคลอโรฟิลล์ บี ประมาณ 2-3 เท่า ในพืชคลอโรฟิลล์เอดูดแสงได้ดีที่สุดที่ความยาวช่วงคลื่นซึ่งมีศูนย์กลางปฏิกิริยาที่ 680 และ 700 นาโนเมตร เรียก P680 และ P700 ตามลำดับ สำหรับคลอโรฟิลล์บีสามารถดูดแสงได้ดีในหลายความยาวคลื่น ได้แก่ 480, 640 และ 650 นาโนเมตร ซึ่งพืชจะมีการสร้างคลอโรฟิลล์ในปริมาณเท่าที่จำเป็นต้องใช้และเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีถึงสภาวะการขาดไนโตรเจน และธาตุอาหารที่เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์

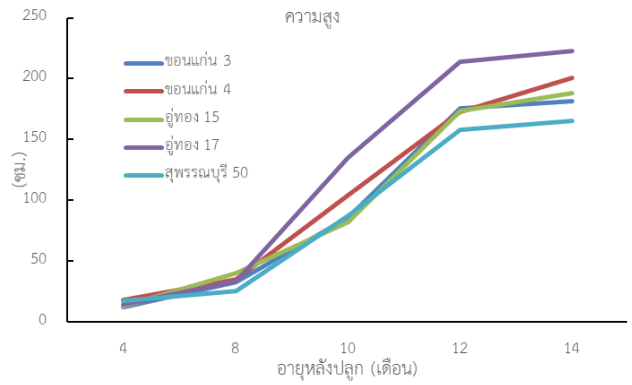
ตารางที่ 2 ปริมาณคลอโรฟิลด์ เอ ปริมาณคลอโรฟิลด์ บี และปริมาณคลอโรฟิลด์รวม (mg/dm^2) ของอ้อย 6 พันธุ์ ที่สุพรรณบุรี

พันธุ์	คลอโรฟิลด์ เอ				คลอโรฟิล บี				คลอโรฟิลรวม			
	4m	6m	10m	12m	4m	6m	10m	12m	4m	6m	10m	12m
ขอนแก่น 3	3.99	5.79	5.16	3.73	0.97	1.57	1.25	1.03	4.97	7.35	6.41	4.76
อู่ทอง 12	1.33	2.96	3.71	2.33	0.69	0.86	0.96	0.61	2.03	3.81	4.67	2.93
อู่ทอง 15	0.97	3.78	3.71	3.71	0.59	1.00	0.96	1.04	1.57	4.78	4.67	4.75
อู่ทอง 17	2.10	4.06	4.55	3.62	0.85	1.20	1.11	1.06	2.95	5.26	5.65	4.68
UT10-615	6.10	5.25	3.75	2.31	1.65	1.44	0.88	0.62	7.76	6.69	4.63	2.93
UT10-009R	1.00	5.03	2.36	2.71	0.65	1.36	0.57	0.70	1.65	6.39	2.93	3.41

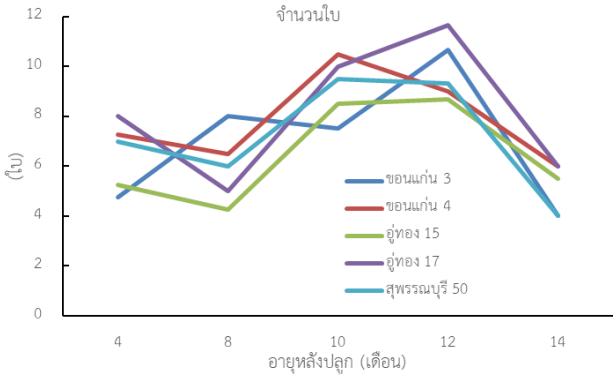
m: เดือนหลังปลูก

หากสภาพแวดล้อมไม่เอื้ออำนวย เช่น ฝนทิ้งช่วงนานและแห้ง ทำให้การเจริญเติบโตของอ้อยไม่เป็นไปตามอายุที่เพิ่มขึ้น เจริญเติบโตช้า และหยุดชงัก (ภาพที่ 1ก และ ข) ใบเหลืองปริมาณคลอโรฟิลด์ลดลงมาก เมื่อได้รับฝนจึงฟื้นตัวแตกหน่อใหม่ พัฒนาการและการเจริญเติบโตช้ามาก ทั้งความสูง จำนวนใบเขียว ขนาดของใบสูงสุดที่เห็น dewlap พื้นที่ใบรวมของลำหลัก อ้อยต้องปรับตัวต่อสภาพเครียดจากการขาดน้ำ โดยลดขนาดของใบลง (ภาพที่ 7ค) ลดจำนวนใบ เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมอ้อยจึงเพิ่มพื้นที่ใบมากขึ้น (ภาพที่ 7ง) อย่างไรก็ตาม ปริมาณฝนและช่วงเวลาฝนตกมีผลต่อช่วงเวลาการเจริญเติบโตของอ้อย ทำให้อ้อยที่ปลูกในสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้งเติบโบในช่วงเวลาที่สั้นกว่า ทั้งนี้เนื่องจากสภาพการปลูกที่เป็นดินทรายและช่วงเวลาของปีที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต รวมปริมาณน้ำฝนตลอดฤดูปลูก 965 ม.ม. (ภาพที่ 7จ)

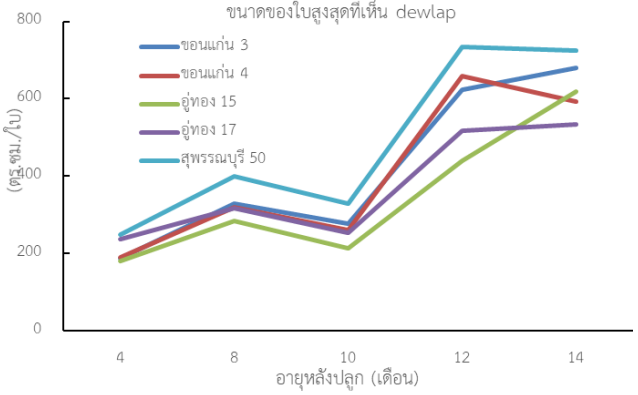
ก)



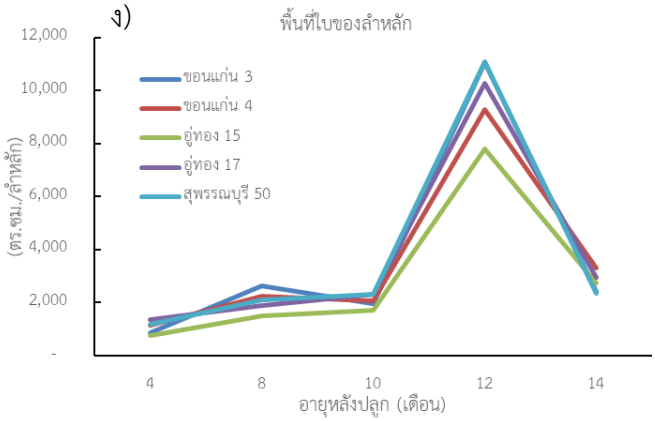
ข)



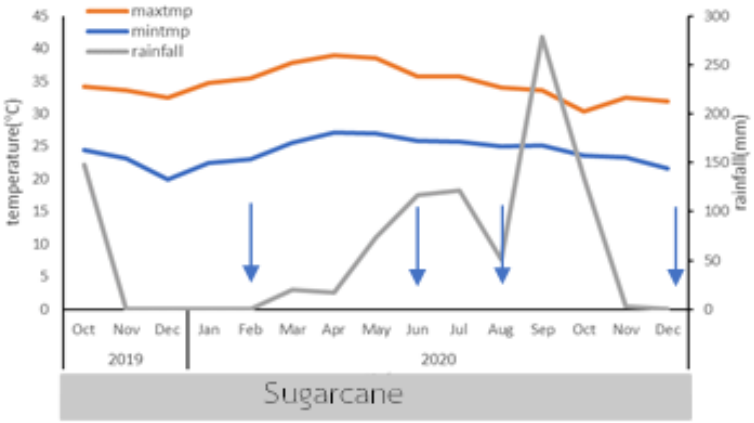
ค)



ง)



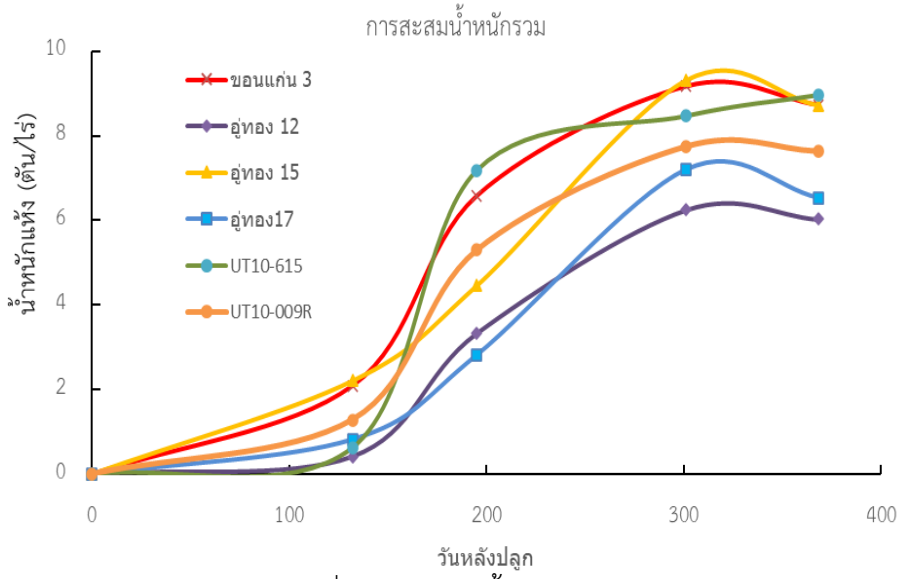
จ)



ภาพที่ 1 ความสูง (ก) จำนวนใบของลำหลัก(ข) ขนาดของใบสูงที่สุดที่เห็น dewlap (ค) พื้นที่ใบรวมของลำหลัก (ง) และสภาพอากาศในช่วงฤดูปลูก (จ) ของอ้อยปลูก 5 พันธุ์ ที่ อ. ตากฟ้า จ. นครสวรรค์

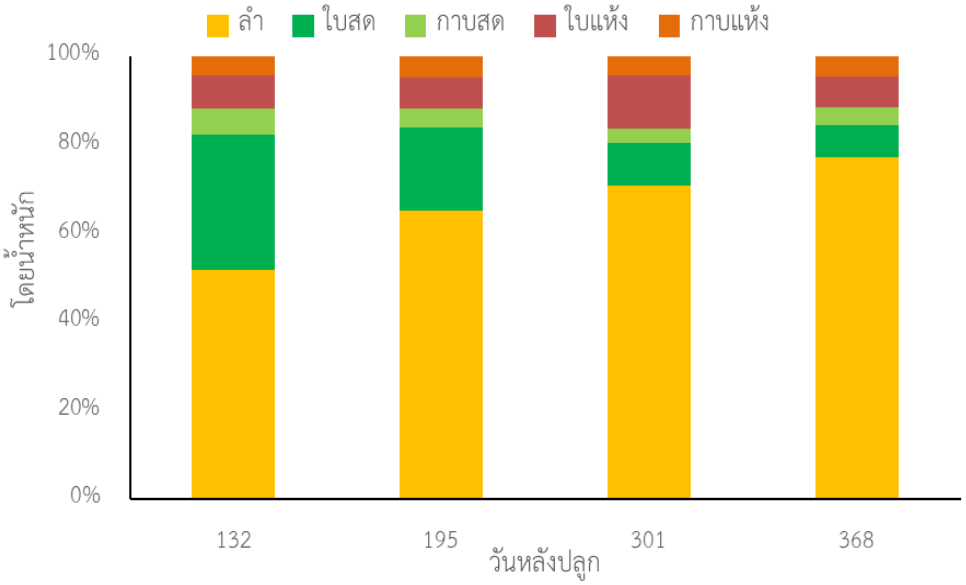
การสะสมชีวมวล

สภาพฟ้าอากาศที่แห้งแล้งในช่วงแรกและน้ำท่วมขังในช่วง 8 เดือนหลังปลูก ส่งผลต่อการสะสมชีวมวลในแต่ละส่วนของอ้อย โดยที่พันธุ์อ้อยและช่วงอายุมีผลต่อการสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆ ที่อยู่เหนือดิน ($P<0.01$) น้ำหนักแห้งรวมของอ้อยแต่ละพันธุ์แตกต่างกัน ทุกพันธุ์ให้น้ำหนักแห้งสูงสุดในช่วงอายุประมาณ 10 เดือน ยกเว้นพันธุ์ UT10-615 ที่น้ำหนักแห้งสูงสุดในช่วงเก็บเกี่ยว โดยพันธุ์อู่ทอง 15 ให้น้ำหนักแห้งสูงสุด 9,320 กก./ไร่ รองลงมา คือ ขอนแก่น 3 UT10-615 UT10-009R และอู่ทอง 17 ส่วนอู่ทอง 12 น้ำหนักแห้งต่ำสุด พันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งสูงสุดในช่วงเก็บเกี่ยว คือ พันธุ์ UT10-615 รวม 8,962 กก./ไร่ รองลงมาคือ พันธุ์ขอนแก่น 3 และอู่ทอง 15 น้ำหนักแห้งรวมเท่ากัน 8,728 กก./ไร่ โดยที่พันธุ์อู่ทอง 12 มีน้ำหนักแห้งต่ำสุด 6,027 กก./ไร่ เฉลี่ยทุกพันธุ์มีสัดส่วนมวลลำแห้งต่อมวลลำสดเฉลี่ย 0.34 ที่ระยะเก็บเกี่ยว เมื่อเก็บเกี่ยวน้ำหนักลดลงสาเหตุหนึ่งมาจากอ้อยล้มมากและหนูกัดแทะเสียหาย ซึ่งปกติการสะสมชีวมวลจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออายุมากขึ้น



ภาพที่ 2 การสะสมน้ำหนักรวมของอ้อย 6 พันธุ์

สำหรับการแบ่งสัดส่วนของชีวมวลไปยังส่วนต่างๆ ของอ้อย พบว่า สัดส่วนของน้ำหนักลำสูงสุดทุกระยะตั้งแต่ 4 เดือนและสูงสุดในช่วงเก็บเกี่ยวที่ 12 เดือน มีสัดส่วน 70-80% ของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินทั้งหมด (ภาพที่ 2) และมีสัดส่วนมวลลำแห้งต่อมวลลำสดเฉลี่ย 0.34 ที่ระยะเก็บเกี่ยว หรือลำอ้อยมีความชื้นต่อน้ำหนักแห้งของลำ 65.6% แต่การศึกษาครั้งนี้ไม่ครอบคลุมส่วนใต้ดิน เนื่องจากการปลูกและเก็บเกี่ยวอ้อยทำให้มีการหมุนเวียนชีวมวล ตัดอ้อยเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตส่งโรงงานและแตกกอใหม่เป็นอ้อยตอ ลำอ้อยเป็นผลผลิตที่นำออกจากแปลง น้ำหนักแห้งของผลผลิตลำอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อู่ทอง 12 อู่ทอง 15 อู่ทอง 17 UT10-615 และ UT10-009R จำนวน 6,703 4,208 6,948 5,100 7,186 และ 5,822 กก./ไร่ ตามลำดับ หรือคิดเป็นสัดส่วนของน้ำหนักแห้งรวมส่วนเหนือดิน 76.8 69.8 79.6 78.0 80.2 และ 76.3 % ตามลำดับ ส่วนที่เหลือจะทิ้งอยู่ในแปลงปกคลุมดินและย่อยสลายปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ต่อไป



ภาพที่ 2 การแบ่งสัดส่วนไปยังส่วนต่างๆของอ้อย 6 พันธุ์ ที่ 4 ช่วงเวลา

การสะสมคาร์บอนของอ้อย

การสะสมคาร์บอนของอ้อยส่วนเหนือดิน หาได้จากการนำตัวอย่างอ้อยแยกส่วนเป็นลำต้น ใบสด ใบแห้ง กาบใบสด และกาบใบแห้ง นำไปอบที่อุณหภูมิที่ 65 °ซ เป็นเวลาอย่างน้อย 72 ชั่วโมง เพื่อหาน้ำหนักแห้ง และวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (carbon content) โดยวิธี Walkley and Black คำนวณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดิน จากสมการ

$$\text{การกักเก็บคาร์บอน (ตันคาร์บอน/ไร่)} = \frac{\text{มวลชีวภาพ (ตัน/ไร่) X ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (\%)}}{100}$$

$$\text{การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ตัน } CO_2\text{/ไร่)} = \frac{\text{การกักเก็บคาร์บอน x 44}}{12}$$

ผลการวิเคราะห์ พบว่า เปอร์เซ็นต์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่อน้ำหนักแห้งชีวมวลในแต่ละส่วนของอ้อย 6 พันธุ์ ไม่แตกต่างกันทางสถิติตามพันธุ์และอายุอ้อย แต่แตกต่างตามชนิดของแต่ละส่วน ($P<0.01$) (ตารางที่ 3) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่อ้อยปลูกเก็บเกี่ยวที่ 12 เดือน สะสมได้แตกต่างกันตามพันธุ์ ($P<0.05$) โดยพันธุ์ UT10-615 มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงสุด 4,359 กก./ไร่ รองลงมา ได้แก่ ขอนแก่น 3 อู่ทอง 15 UT10-009R และอู่ทอง 17 มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 4,177 3,960 3,663 และ 3,194 กก./ไร่ ตามลำดับ ส่วนพันธุ์อู่ทอง 12 น้อยที่สุด 2,834 กก./ไร่ (ตารางที่ 4) โดยเป็นปริมาณอินทรีย์คาร์บอนส่วนของผลผลิตลำอ้อยทำนองเดียวกันดับส่วนเหนือดินทั้งหมด โดยพันธุ์ UT10-615 มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงสุด 3,500 กก./ไร่ รองลงมา ได้แก่

ขอนแก่น 3 อู่ทอง 15 UT10-009R อู่ทอง 17 และอู่ทอง 12 มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน 3,243 3,171 2,803 2,527 และ 1,974 กก./ไร่ ตามลำดับ การสะสมคารบอนเพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโต และมวลชีวภาพของอ้อย

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอนต่อน้ำหนักแห้งชีวมวลส่วนเหนือดินในแต่ละส่วนของอ้อย 6 พันธุ์

พันธุ์	วันหลังปลูก	% อินทรีย์คาร์บอน				
		ลำ	ใบสด	กาบสด	ใบแห้ง	กาบแห้ง
ขอนแก่น 3	132	45.5	44.3	44.0	42.7	41.3
	195	47.3	47.8	44.0	45.6	43.7
	301	47.8	47.1	46.2	45.2	45.7
	368	48.4	46.4	45.3	45.8	47.3
อู่ทอง 12	132	37.5	45.6	40.2	39.5	33.4
	195	46.4	47.2	44.8	48.1	45.0
	301	47.4	45.3	45.3	46.6	46.4
	368	46.9	48.4	47.3	46.3	47.7
อู่ทอง 15	132	46.7	46.4	46.0	39.1	41.3
	195	49.2	47.3	39.6	42.9	45.0
	301	44.2	44.3	44.3	42.7	43.9
	368	45.6	43.8	44.6	44.3	44.8
อู่ทอง17	132	38.4	44.0	38.5	37.5	37.8
	195	47.2	47.7	44.3	45.5	45.9
	301	47.5	46.6	44.8	46.5	44.7
	368	49.5	46.6	47.0	46.0	46.9
UT10-615	132	38.4	43.5	41.3	38.3	34.9
	195	46.7	48.0	46.4	46.6	43.7
	301	45.9	48.5	46.0	46.9	46.4
	368	48.7	49.9	47.4	47.1	48.8
UT10-009R	132	39.0	44.3	40.1	38.0	37.5
	195	48.2	46.6	44.3	46.9	45.6
	301	47.0	46.3	45.7	46.4	46.4
	368	48.2	49.7	46.7	46.4	47.9

ตารางที่ 4 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนส่วนเหนือดินของอ้อย 6 พันธุ์ ที่ระยะเวลาหลังปลูกเมื่อเก็บเกี่ยว (กก.C/ไร่)

พันธุ์	วันหลังปลูก				เมื่อเก็บเกี่ยวอ้อยนำออกในรูป
	132	195	301	368	ผลผลิตลำอ้อย
ขอนแก่น 3	935	3,093	4,349	4,177	3,243
อู่ทอง 12	164	1,546	2,933	2,834	1,974
อู่ทอง 15	1,012	2,122	4,102	3,960	3,171
อู่ทอง17	329	1,324	3,386	3,194	2,527
UT10-615	248	3,359	3,924	4,359	3,500
UT10-009R	522	2,515	3,622	3,663	2,803

การสังเคราะห์แสงของอ้อย

การสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ของอ้อย สภาพแวดล้อมมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของอ้อยทั้งปริมาณการสังเคราะห์แสงในรอบวัน และศักยภาพในการสังเคราะห์แสง ซึ่งอธิบายได้จากอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ แต่ละพันธุ์แตกต่างกันในแต่ละช่วงอายุ และช่วงเวลาในรอบวัน ช่วงอายุของอ้อยต้องเกี่ยวพันกับระยะการเจริญเติบโตและสภาพแวดล้อม ทำให้อ้อยปรับตัวและเจริญเติบโตให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม ทั้งการเปิดปิดปากใบ การลดพื้นที่ใบและการห่อใบ

ศักยภาพของการดูดซับคาร์บอน ศึกษาได้จากการตอบสนองต่อความเข้มแสงของใบพืช (light response) ซึ่งวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ (gas exchange rate) ที่ติดตามการลดลงของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกตรึงในกระบวนการสังเคราะห์แสงวัดออกมาในค่าของอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิ (net photosynthesis rate) หรือผลต่างระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงรวม กับอัตราการหายใจ จากเครื่องมือวัดประเภท portable photosynthesis system เช่น LI-6400XT หรือ LI-6800 ที่ความเข่มแสง 0, 25, 50, 75, 100, 200, 400, 600, 800, 1,000 1,200, 1400, 1600, 1800 และ 2000 μmol $m^{-2}s^{-1}$ และกำหนดความเข่มขนของ CO_2 400 ppm ในตำแหน่งใบสูงสุดที่เห็นดิวแล็พ dewlap (top visible dewlap, TVD) ของหน่อหลัก แล้ววิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อแสงและคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยแบบจำลอง non-rectangular hyperbola (Johnson, et al.,1989)

ส่วนการดูดซับคาร์บอนมีปัจจัยใดบ้างที่เป็นปัจจัยจำกัด ศึกษาได้จากการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซในสภาพแวดล้อมที่หลายหลาย และหลายช่วงอายุหรือช่วงการเจริญเติบโตของอ้อย ในตำแหน่งใบสูงสุดที่เห็นดิวแล็พ dewlap (top visible dewlap, TVD) ของหน่อหลัก ที่ได้จากสภาพแวดล้อมของแปลงและจากแสงแดดในรอบวัน ทำการวัดทุกชั่วโมง ตั้งแต่ช่วงเวลา 07.00 ถึง 18.00 น.ซึ่งวัดออกมาในค่าของอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิเช่นกัน ทั้งเครื่องมือวัดยังให้ค่าอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่านำไหลปากใบ (stromata conductance) ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซค์ในช่วงว่างระหว่างเซลล์ (C_i) การคายน้ำ แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (vapor pressure deficit) รวมทั้งสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น ความเข้มแสงเป็น PAR หรือ PPF ซึ่งเป็นช่วงที่พืชใช้ประโยชน์ได้ อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ อุณหภูมิใบ

การสังเคราะห์แสงในรอบวัน

การสังเคราะห์แสงในรอบวันวัดโดยใช้หัววัดที่มีแสงแดดเป็นแหล่งของแสง

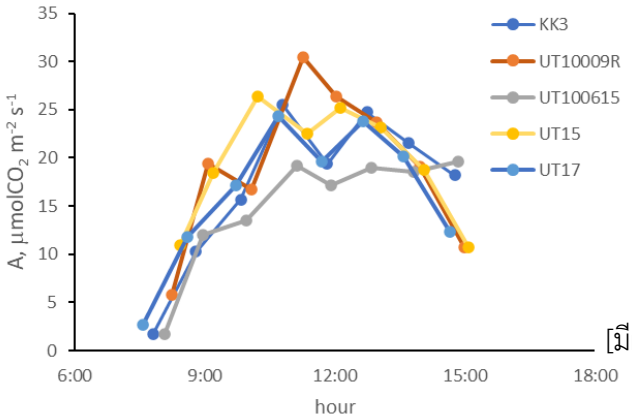
อ้อยอายุ 4 เดือนหลังปลูก อยู่ในช่วงฝนความชื้นสูง แสงเพิ่มขึ้นในช่วงกลางของวันและลดลง บางช่วงท้องฟ้ามีเมฆมากและฝนตกช่วง 16 น. จึงไม่ได้ทำการตรวจวัด แสงสูงสุดไม่เกิน 1,000 μmol m^{-2} s^{-1} อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มจาก 29 °ซ เพิ่มเป็น 36°ซ ในช่วง 13 น. แล้วลดลงเล็กน้อย และความชื้นตลอดทั้งช่วงอยู่ระหว่าง 49-53% และลดลงในช่วง 15 น ที่ 46% อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงในช่วง 10-14 น. มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดระหว่าง 15-30 μmolCO_2 m^{-2} s^{-1} โดยพันธุ์ UT10-615 มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิต่ำกว่าพันธุ์อื่นๆ การเพิ่มขึ้นและลดลงผันแปรตามแสง (PPF) และค่านำไหลปากใบ (g_s) ที่มีค่าเฉลี่ย 90 mmol$H_2O$$m^{-2}$$s^{-1}$ ในช่วงเช้าค่อยๆเพิ่มขึ้นถึง 260 mmolH_2O $m^{-2}$$s^{-1}$ แล้วลดลง แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (air vapor pressure deficit :VPD_{air}) เฉลี่ยจาก 2.0 kPa เพิ่มขึ้นในช่วง 13-14 น. แต่ไม่เกิน 3.0 kPa (ภาพที่ 5ก และ ภาพที่ 6) สภาพแวดล้อมในช่วงนี้ จึงทำให้สามารถดูดซับคาร์บอนได้ตลอดช่วงที่ทำการตรวจวัด อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิมีความสัมพันธ์ทางเดียวกันกับ g_s (r^2= 0.83) และ PPF (r^2=0.84) การคายน้ำ (E) (r^2=0.93) และอุณหภูมิ (r^2=0.74) แต่มีทิศทางตรงข้ามกับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างระหว่างเซล (C_i) (r^2=-0.82) ส่วนความชื้นและ VPD_{air} มีความสัมพันธ์กันต่ำ (r^2= 0.49 และ 0.32) แต่หากพิจารณาในช่วงเช้า 7-12 น. ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะมีค่า r^2สูงขึ้น

อ้อยอายุ 6 เดือน อยู่ในระยะย่างปล้อง อาศัยน้ำฝน ดินมีความชื้นต่ำ มีเมฆเป็นบางช่วงเวลา แสงสูงสุดประมาณ 2,000 μmol m^{-2} s^{-1} ในช่วง 12-14 น. สูงกว่า รอบ 4 เดือนแรกมาก อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มจาก 28°ซ เพิ่มเป็น 40°ซ ในช่วง 13 น. แล้วลดลงเล็กน้อย และความชื้นช่วงเช้าสูง อยู่ระหว่าง 55-62% แล้วค่อยๆลดลงตั้งแต่ 11 น. ต่ำสุดในเวลา 18 น.ที่ 36% อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงในช่วง 9-16 น. มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดเฉลี่ยระหว่าง 15-20 μmolCO_2 m^{-2} s^{-1} โดยเฉลี่ยทุกพันธุ์มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิในช่วง 1 วันใกล้เคียงกัน 17.1-18.8 molCO_2 m^{-2} d^{-1} สามารถดูดซับคาร์บอนได้ตลอดช่วงที่ทำการตรวจวัด การเพิ่มขึ้นและลดลงผันแปรตาม PPF และ g_s ที่มีค่าเฉลี่ย 95$\pm$55 mmolH_2O $m^{-2}s^{-1}$ ในช่วงเช้าค่อยๆเพิ่มขึ้นถึง 270 mmolH_2O $m^{-2}s^{-1}$ แล้วลดลงในช่วง 17 น. VPD_{air} เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 1.6 kPa ในช่วง 7 น. ไปจนเกิน 3.0 kPa ตั้งแต่ 12 น.เป็นต้นไป สภาพแวดล้อมในช่วงนี้อ้อยสามารถดูดซับคาร์บอนได้ตลอดช่วงที่ทำการตรวจวัด (ภาพที่ 5ข และภาพที่ 7) อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิมีความสัมพันธ์ทางเดียวกันกับ g_s (r^2= 0.92) และ PPF (r^2=0.72) การคายน้ำ (r^2= 0.88) และอุณหภูมิ (r^2=0.50) แต่มีทิศทางตรงข้ามกับ C_i (r^2=-0.55) ส่วนความชื้นและ VPD_{air} มีความสัมพันธ์กันต่ำมาก (r^2=0.22 และ 0.17) แต่หากพิจารณาในช่วงเช้า 7-12 น. ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะมีค่า r^2 สูงขึ้น ส่วนอ้อยอายุ 8 เดือนหลังปลูก สภาพแปลงน้ำท่วมขัง จึงไม่ได้ทำการตรวจวัด

อ้อยอายุ 10 เดือน ระยะสะสมน้ำหนัก ดินมีความชื้นสูง มีเมฆเป็นบางช่วงเวลา แสงสูงสุดประมาณ 1,700 μmol $m^{-2}s^{-1}$ ในช่วง 12 -13 น. ซึ่งต่ำกว่า รอบ 6 เดือนหลังปลูกเล็กน้อย แต่จำนวนชั่วโมงของแสงแดดสั้นกว่า เนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาว อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มจาก 26 °ซ เพิ่มเป็น 37°ซ ในช่วง 13 น. แล้วลดลงเล็กน้อย และความชื้นช่วงเช้าสูงประมาณ 65% แล้วค่อยๆลดลงต่ำสุดในเวลา 13 น. ที่ 50% แล้วเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยจนถึงช่วงเย็น อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงในช่วง 9-11 น. ต่ำลงเล็กน้อยในช่วง 11-15 น. ทุกพันธุ์ และเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยในช่วง 15 -16 น. ยกเว้นพันธุ์ UT15 ที่ลดลง ทุกพันธุ์สามารถดูดซับคาร์บอนได้ตลอดช่วงที่ทำการตรวจวัด มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดเฉลี่ยระหว่าง 15-20 μmolCO_2 m^{-2} s^{-1} โดยเฉลี่ยทุกพันธุ์มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิในช่วง 1 วันใกล้เคียงกัน 3.6-5.3 molCO_2 m^{-2} d^{-1} น้อยกว่าช่วง 6 เดือนหลังปลูกประมาณ 4 เท่า อย่างไรก็ตาม อ้อยสามารถดูดซับคาร์บอนได้ตลอดช่วงที่ทำการตรวจวัด (ภาพที่ 5ค และภาพที่ 8) การเพิ่มขึ้นและลดลงผันแปรตาม PPF และ g_s ที่มีค่าเฉลี่ย 68$\pm$39 mmolH_2O $m^{-2}s^{-1}$ ช่วงเช้าต่ำแล้วค่อยๆเพิ่มขึ้นถึง 230 mmolH_2O $m^{-2}s^{-1}$ แล้วลดลงในช่วง 13 น. VPD_{air} เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 1.1 kPa ในช่วงเช้าไปจนเกิน 3.0 kPa ตั้งแต่ 12 น.เป็นต้นไป แล้วลดลงหลัง 14 น. อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิมีความสัมพันธ์ทางเดียวกันกับ g_s (r^2= 0.93) และ PPF (r^2=0.82) และการคายน้ำ (r^2=0.86) แต่มีทิศทางตรงข้ามกับ Ci (r^2=-0.77) ส่วนอุณหภูมิและ VPD_{air} มีความสัมพันธ์กันต่ำมาก (r^2=0.47 และ 0.44) และไม่มีความสัมพันธ์กับความชื้น แต่หากพิจารณาในช่วงเช้า 7-12 น. ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะมีค่า r^2 สูงขึ้นและลดลงเล็กน้อย

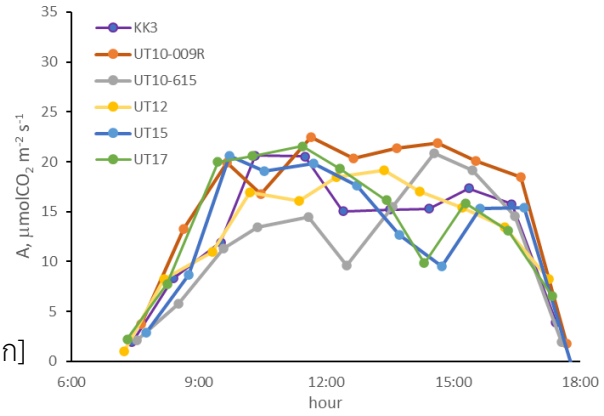
อ้อยอายุ 4 เดือนหลังไว้ตอ ระยะแตกกอ ดินมีความชื้น PPF สูงสุดประมาณ 1,700 μmol m^{-2} s^{-1} ในช่วง 10-15 น. จำนวนชั่วโมงของแสงแดดยาวนาน ทำให้อุณหภูมิสูงตลอดวัน เฉลี่ยเพิ่มจาก 35 °ซ ในช่วงเช้าเพิ่มเป็น 46°ซ ในช่วง 12 น. แล้วลดลงเล็กน้อย และความชื้นช่วงเช้าสูงประมาณ 72% แล้วค่อยๆลดลง ต่ำสุดในเวลา 17 น. ที่ 35% อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงในช่วง 9-17 น. มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดเฉลี่ยระหว่าง 15-25 μmolCO_2 m^{-2} s^{-1} ทุกพันธุ์สามารถดูดซับคาร์บอนได้ตลอดช่วงวัน โดยเฉลี่ยทุกพันธุ์มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิในช่วง 1 วันใกล้เคียงกัน 5.0-6.7 molCO_2 m^{-2} d^{-1} น้อยกว่าช่วง 6 เดือนหลังปลูกประมาณ 3 เท่า แต่น้อยกว่าระยะ 4 เดือนหลังปลูกของอ้อยปลูกเล็กน้อย เนื่องจากช่วงที่ทำการตรวจวัดมีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิต่ำกว่าระยะ 4 เดือนหลังปลูกของอ้อยปลูก แต่ด้วยช่วงเวลาที่มีแสงยาวนานกว่าทำให้การสังเคราะห์แสงสุทธิในรอบวันสูงกว่าเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม อ้อยสามารถดูดซับคาร์บอนได้ตลอดช่วงที่ทำการตรวจวัด (ภาพที่ 5ง และภาพที่ 9) การเพิ่มขึ้นและลดลงผันแปรตาม PPF และ g_s ที่มีค่าเฉลี่ย 152$\pm$59 mmolH_2O $m^{-2}s^{-1}$ ช่วงเช้าต่ำแล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นถึง 250 mmolH_2O $m^{-2}s^{-1}$ แล้วลดลงในช่วง 11 น. VPD เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 1.3 kPa ในช่วงเช้าไปจนเกิน 5.0 kPa ตั้งแต่ 11 น.เป็นต้นไป แล้วลดลงหลัง 15 น. อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิมีความสัมพันธ์ทางเดียวกันกับ g_s (r^2= 0.81) และ PPF (r^2=0.55) และการคายน้ำ (r^2=0.83) แต่มีทิศทางตรงข้ามกับ C_i (r^2=-0.65) ส่วนอุณหภูมิ ความชื้นและ VPD_{air} มีความสัมพันธ์กันต่ำมาก แต่หากพิจารณาในช่วงเช้า 7-12 น. ความสัมพันธ์เฉพาะ g_s จะมีค่า r^2 สูงขึ้น ส่วนปัจจัยอื่นๆ ลดลง

ก) 4 เดือนหลังปลูก

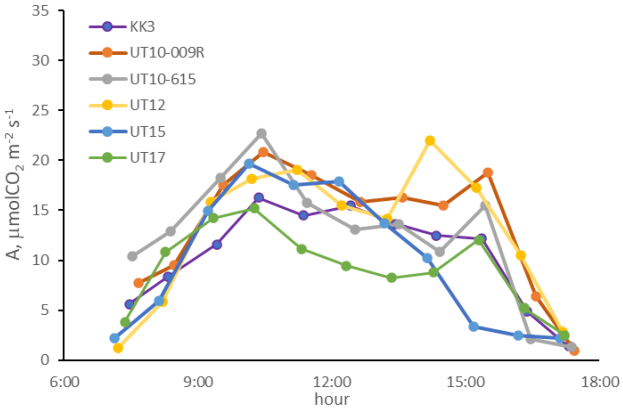


[มีฝนตก]

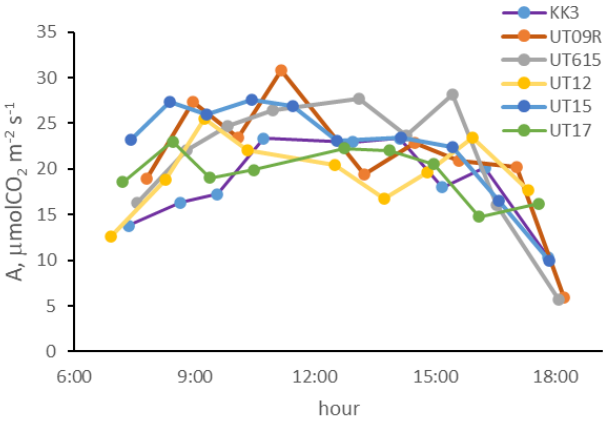
ข) 6 เดือนหลังปลูก



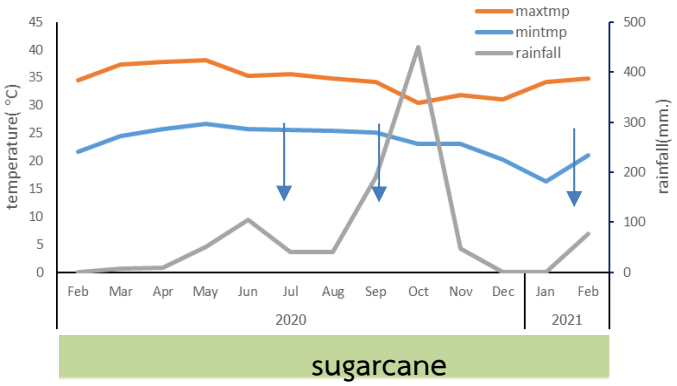
ค) 10 เดือนหลังปลูก



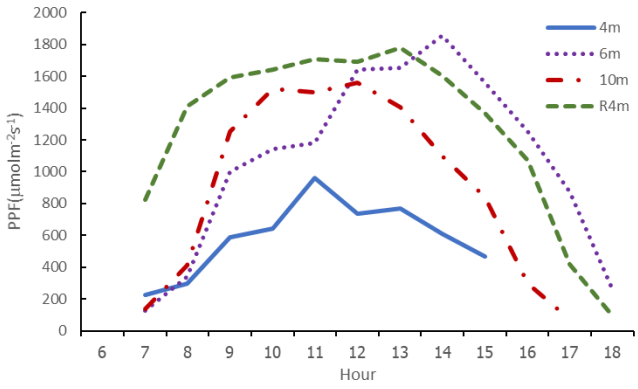
ง) อ้อยตอ 4 เดือนหลังตัด



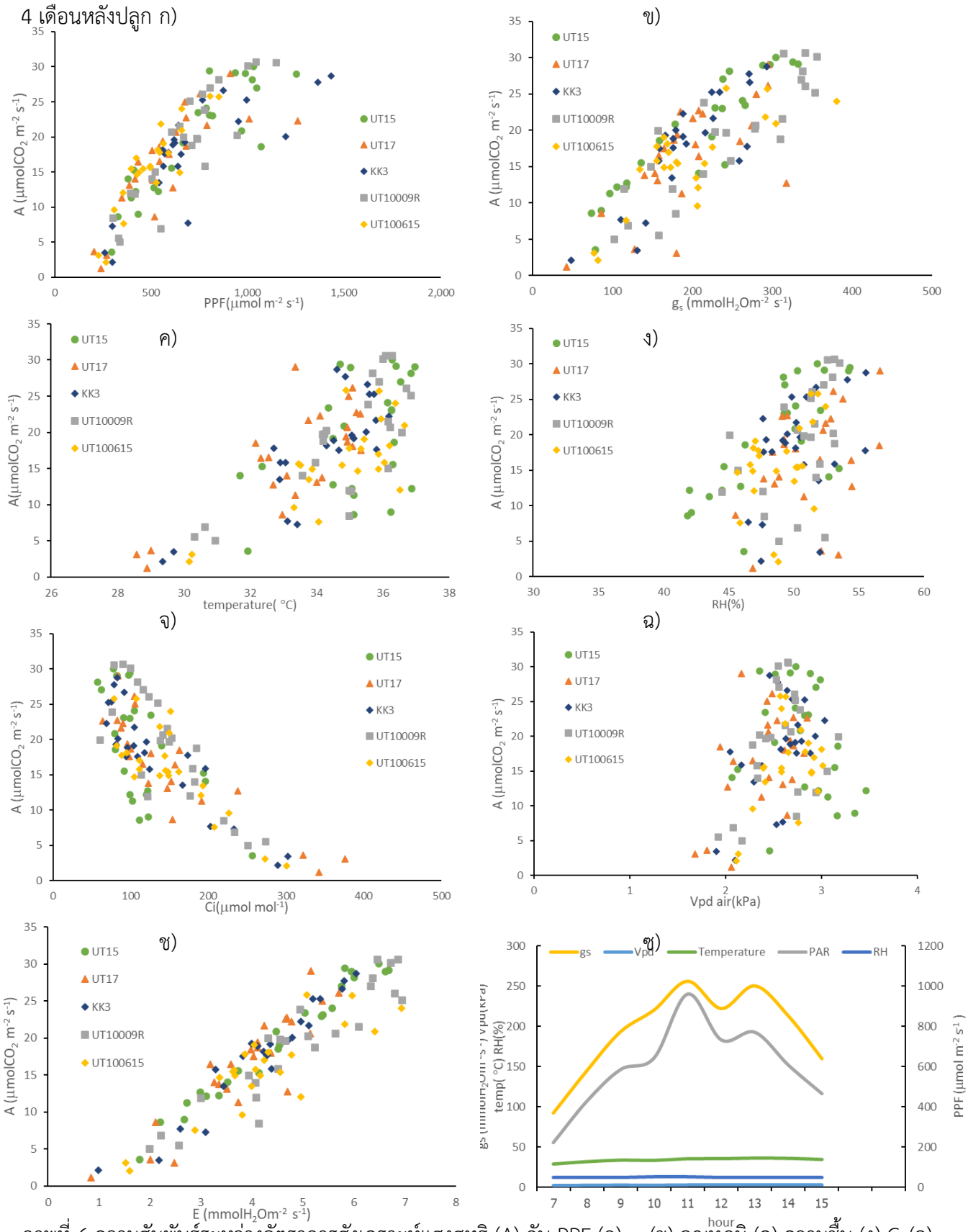
จ) สภาพแวดล้อมในช่วงปลูก



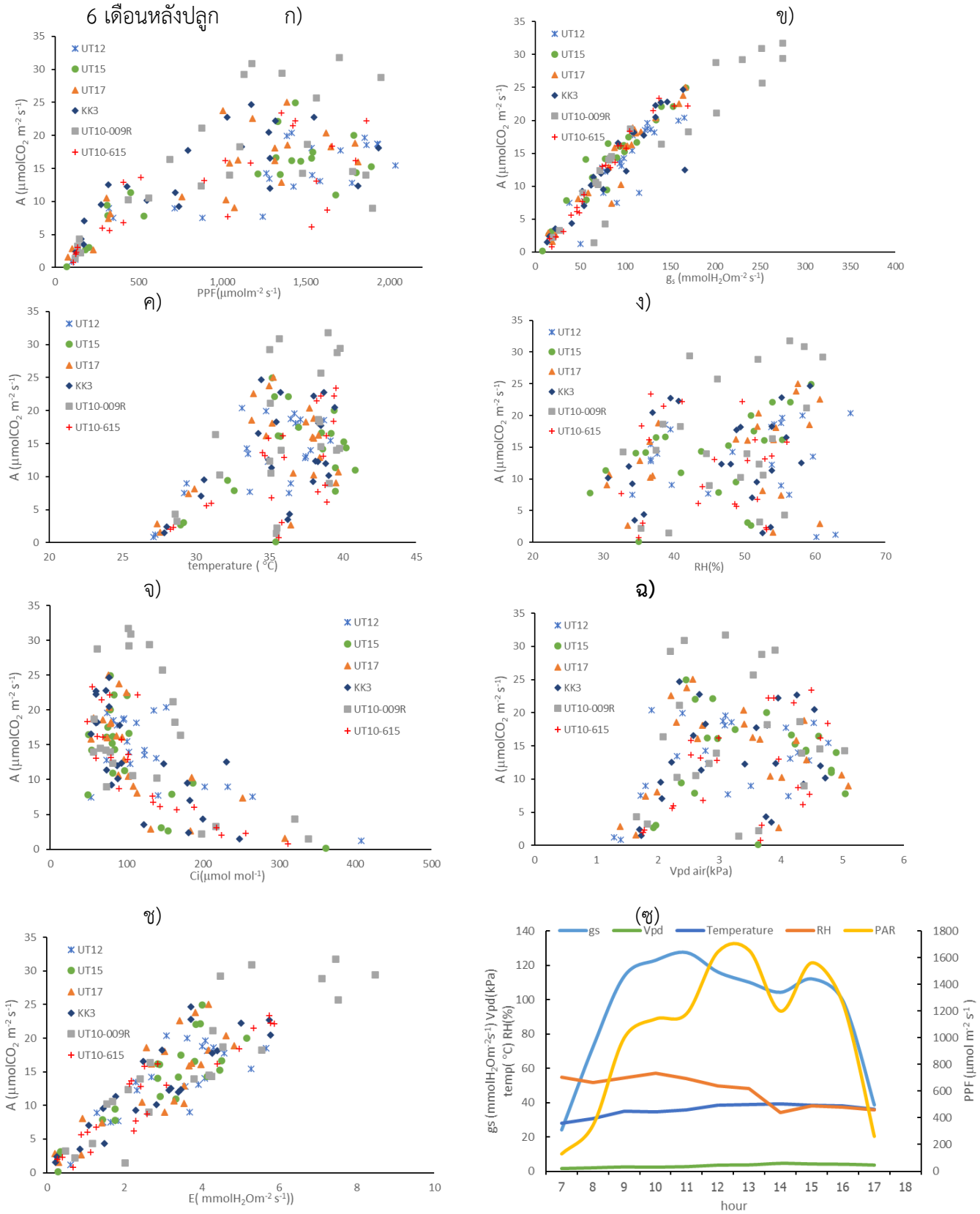
ฉ) PPF ในช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัด



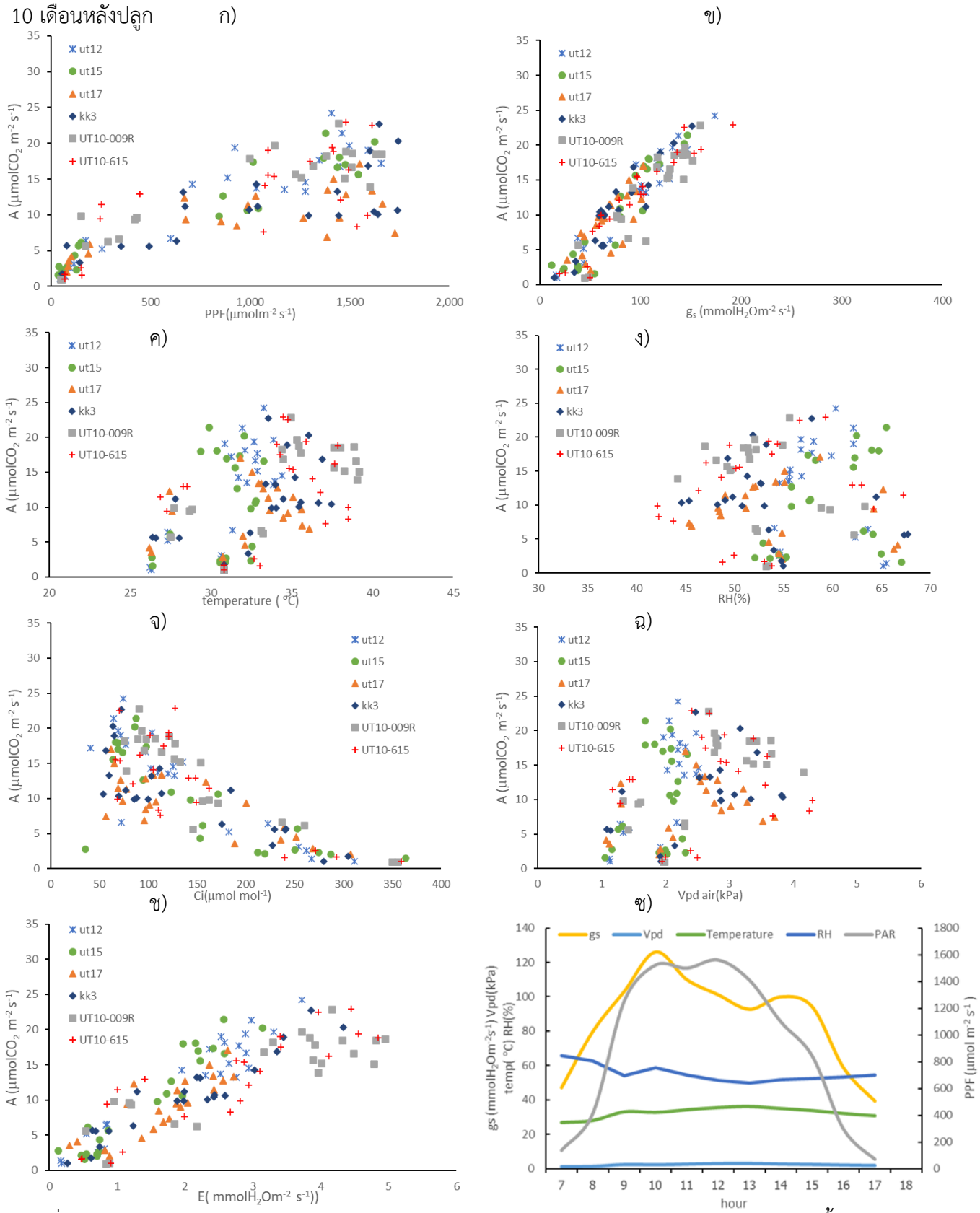
ภาพที่ 5 อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (A) ในรอบวันของอ้อยปลูก 6 พันธุ์ และอ้อยตอที่ 4 เดือนหลังตัด ที่ อ. อู่ทอง จ. สุพรรณบุรี ระหว่างในเดือนมิถุนายน - มิถุนายน 2564



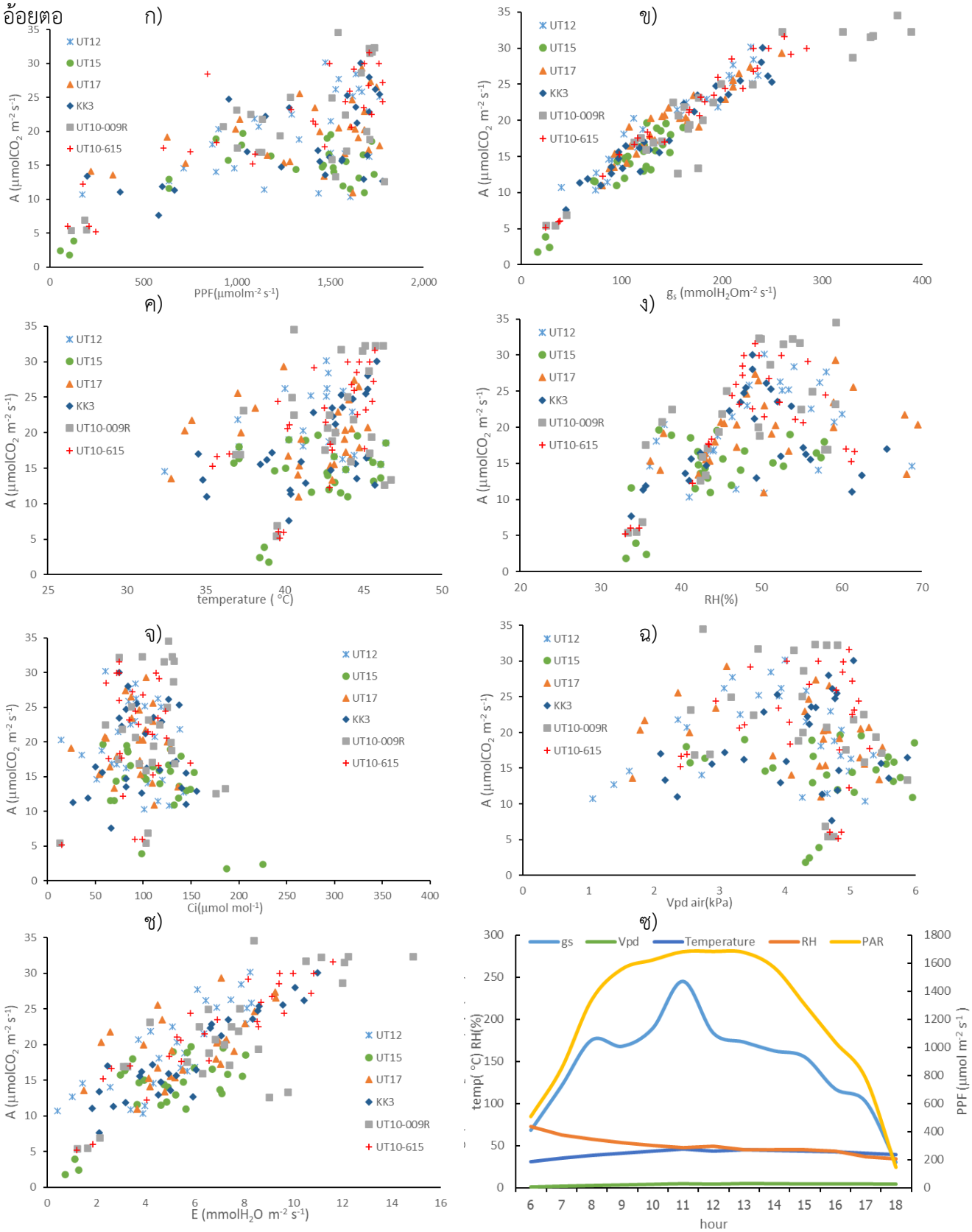
ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (A) กับ PPF (ก) g_s (ข) อุณหภูมิ (ค) ความชื้น (ง) C_i (จ) VPD_{air} (ฉ) การคายน้ำ (ช) และสภาพแวดล้อมในรอบวัน (ซ) ของอ้อยปลูก 6 พันธุ์ ที่ อ. อู่ทอง จ. สุพรรณบุรี หลังปลูก 4 เดือน



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (A) กับ PPF (ก) g_s (ข) อุณหภูมิ (ค) ความชื้น (ง) C_i (จ) VPD_{air} (ฉ) การคายน้ำ (ช) และสภาพแวดล้อมในรอบวัน (ซ) ของอ้อยปลูก 6 พันธุ์ ที่ อ. อู่ทอง จ. สุพรรณบุรี หลังปลูก 6 เดือน



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (A) กับ PPF (ก) g_s (ข) อุณหภูมิ (ค) ความชื้น (ง) C_i (จ) VPD_{air} (ฉ) การคายน้ำ (ช) และสภาพแวดล้อมในรอบวัน (ซ) ของอ้อยปลูก 6 พันธุ์ ที่ อ. อู่ทอง จ. สุพรรณบุรี หลังปลูก 10 เดือน

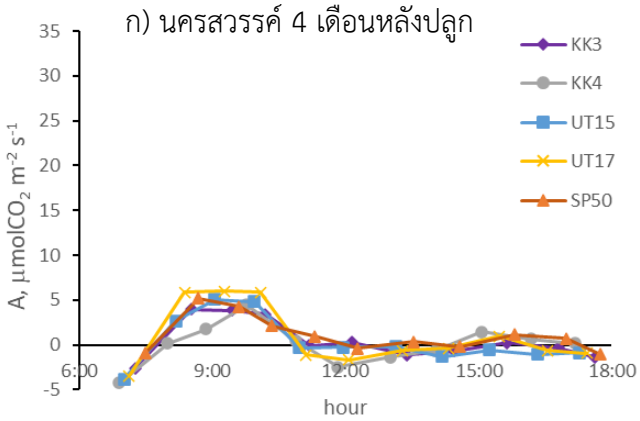


ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (A) กับ PPF (ก) g_s (ข) อุณหภูมิ (ค) ความชื้น (ง) C_i (จ) VPD_{air} (ฉ) การคายน้ำ (ช) และสภาพแวดล้อมในรอบวัน (ซ) ของอ้อยปลูก 6 พันธุ์ ที่ อ. อู่ทอง จ. สุพรรณบุรี หลังไว้ตอ 4 เดือน

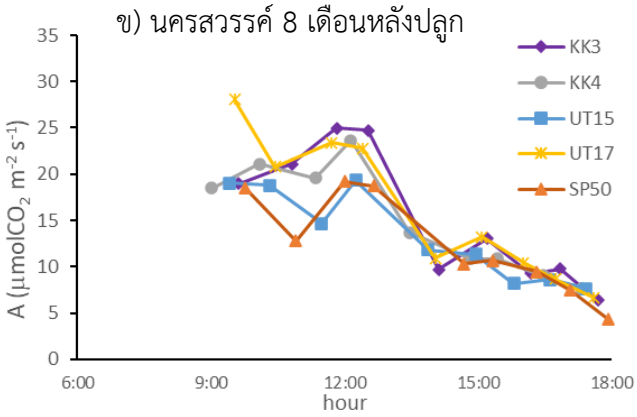
หากสภาพแวดล้อมการปลูกอ้อยไม่เหมาะสม ก็จะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิต่ำลง ส่งผลให้การสังเคราะห์แสงในรอบวันของอ้อยลดลงด้วย จากการศึกษาพันธุ์อ้อยขอนแก่น 3 อู่ทอง 12 อู่ทอง 15 อู่ทอง 17 UT10-615 และ UT10-009R ปลูกที่สุพรรณบุรี และพันธุ์ขอนแก่น 3 ขอนแก่น 4 อู่ทอง 15 อู่ทอง 17 และสุพรรณบุรี 50 ปลูกที่นครสวรรค์ พบว่า ไม่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ช่วงอายุที่วัดมีอัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวันแตกต่างกันมาก ($p<0.01$) กล่าวคือ อ้อยที่สุพรรณบุรีมีอัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวันสูงที่ 6 เดือนหลังปลูก 1.7-1.88 $molCO_2\ m^{-2}\ d^{-1}$ โดยชวงเช้าเวลา 7- 12 น. อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเพิ่มสูงขึ้น และเพิ่มสูงสุดในชวงเวลา 12 – 14 น. จากนั้นจึงลดลงเป็นศูนยในชวงเวลา 17-18 น. และเปนลบในเวลากลางคืน ส่วนที่นครสวรรค์ซึ่งสภาพแห้งแล้งกว่าและแสงแดดที่รุนแรง อัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวันสูงสุดที่ 10 เดือนหลังปลูก 0.77-0.86 $molCO_2\ m^{-2}\ d^{-1}$ (ภาพที่ 10 11 และ 12) อัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวันไม่ได้สัมพันธ์กับอายุหลังปลูก แต่เกี่ยวข้องกับระยะการเจริญเติบโตของอ้อย คือ ระยะย่างปล้องจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวันสูงสุด ซึ่งระยะการเจริญเติบโตของอ้อยมีปริมาณน้ำเป็นตัวควบคุม อ้อยปรับตัวเมื่อน้ำไม่เพียงพอด้วยการลดขนาดพื้นที่ใบ จำนวนใบ ความเขียวของใบ รวมทั้งการห่อใบในเวลาที่รับแสงมากเกินไป ทำให้ทั้ง 2 แห่ง ให้อัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวันแตกต่างกันมาก แม้ว่าระยะที่อัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวันสูงสุดอยู่ในระยะย่างปล้องเช่นเดียวกัน พันธุ์ที่มีพื้นที่ใบในการรับแสงแดดได้เต็มที่และสมบรูณ์มากกว่า (ภาพที่ 12) ก็จะมีความสามารถในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์มาก อ้อยจะปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ควบคุมการปิดปากใบ คลอโรฟิลล์รวมและประสิทธิภาพการใช้แสงลดลง ซึ่งส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและการสร้างชีวมวล

การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ทั้ง 2 สภาพแวดล้อม มีผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อยและการสะสมมวลชีวภาพ อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของอ้อยแต่ละพันธุ์แตกต่างกันในแต่ละช่วงอายุและช่วงเวลาในรอบวัน น้ำและความสมบูรณ์ของต้นพืชมีผลการเปิดปิดปากใบและอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (ภาพที่ 13) เมื่อนำข้อมูลการวัดจากทุกสภาพแวดล้อมมาวิเคราะห์ปัจจัย พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่านำไหลปากใบและอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิหรือการคายน้ำเป็นในทิศทางเดียวกัน (ภาพที่ 14ก และ ข) ขณะที่แรงดึงระเหยของอากาศหรือ VPD_{air} ที่เหมาะสมต่อการเปิดปิดปากใบอยู่ในช่วง 2-2.5 kPa แต่สภาพของอ้อยในแปลงทำให้ช่วงที่เหมาะสมนี้เปลี่ยนแปลงไป (ภาพที่ 14ค) ความเข้มแสงที่มากขึ้นกระตุ้นการเปิดปากใบทำให้ค่า g_s เพิ่มขึ้นตามแสงในสภาพที่ดินมีความชื้นพออย่างรวดเร็ว แต่เมื่อพืชขาดน้ำ ปากใบจะเปิดน้อยมากเพื่อรักษาน้ำในเซลล์ เนื่องจากหากเปิดปากใบกว้าง CO_2 จากภายนอกแพร่เข้าสู่ใบขณะเดียวกันไอน้ำที่อยู่ในช่องว่างใต้ปากใบก็จะแพร่ออกสู่ภายนอกได้ จึงทำให้โอกาสที่อ้อยจะทำการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงแต่หากสูงเกินไปก็พืชจะเปิดปากใบลดลงเพื่อลดการสูญเสียน้ำ (ภาพที่ 14ง) ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-60% (ภาพที่ 14จ) และอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 30-32 ซ (ภาพที่ 14ฉ) ส่วนความเข้มข้นของ CO_2 ทั้งในบรรยากาศและในช่วงว่างระหว่างเซลล์ หากสูงจะทำให้ค่า g_s ลดลง (ภาพที่ 14ช และซ) อ้อยสามารถใช้ CO_2 ที่ความเข้มข้นต่ำได้ดี

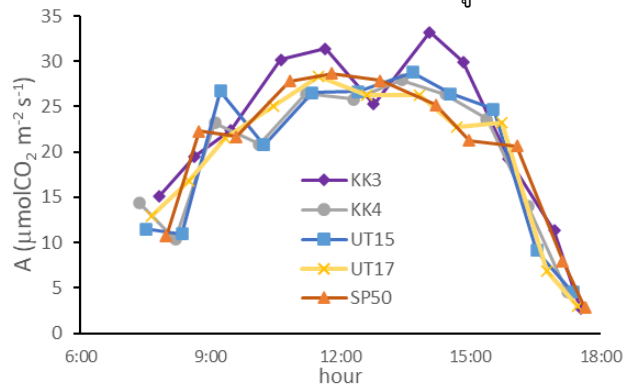
ก) นครสวรรค์ 4 เดือนหลังปลูก



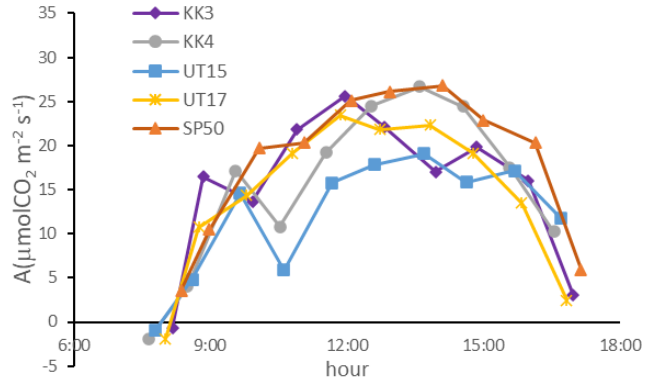
ข) นครสวรรค์ 8 เดือนหลังปลูก



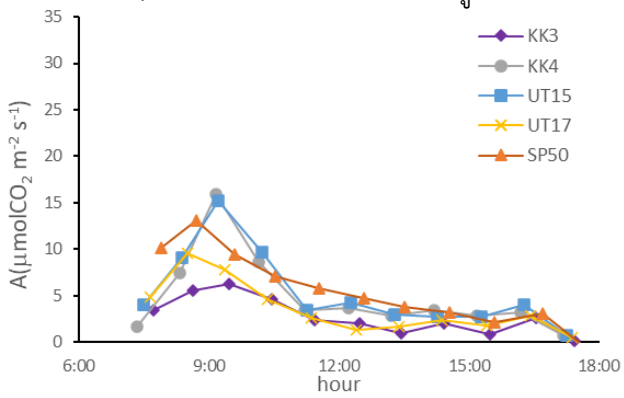
ค) นครสวรรค์ 10 เดือนหลังปลูก



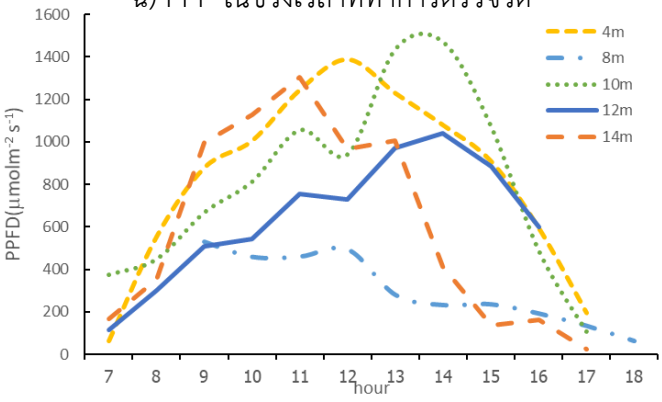
ง) นครสวรรค์ 12 เดือนหลังปลูก



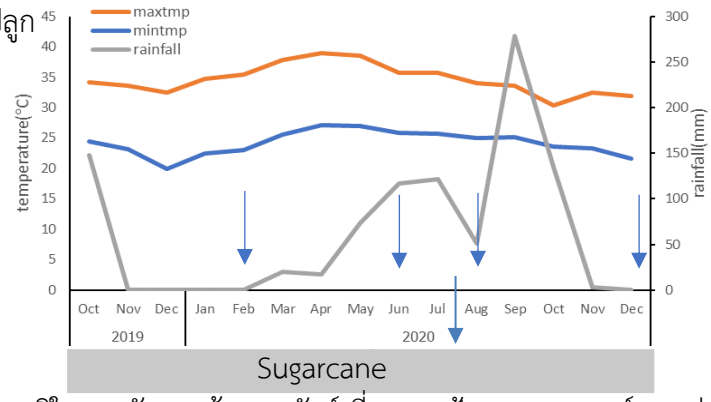
จ) นครสวรรค์ 14 เดือนหลังปลูก



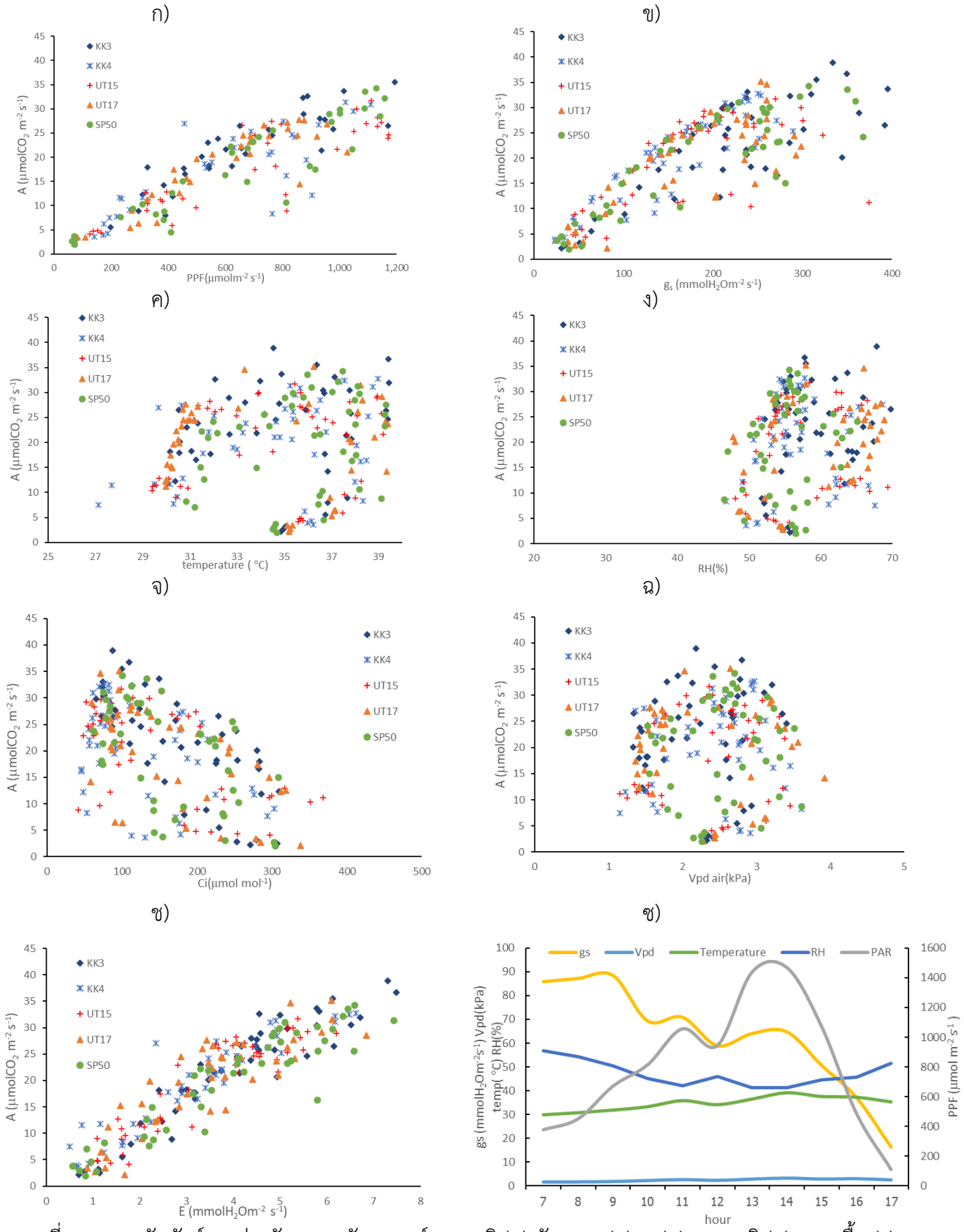
ฉ) PPF ในช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัด



ช) สภาพแวดล้อมในช่วงปลูก

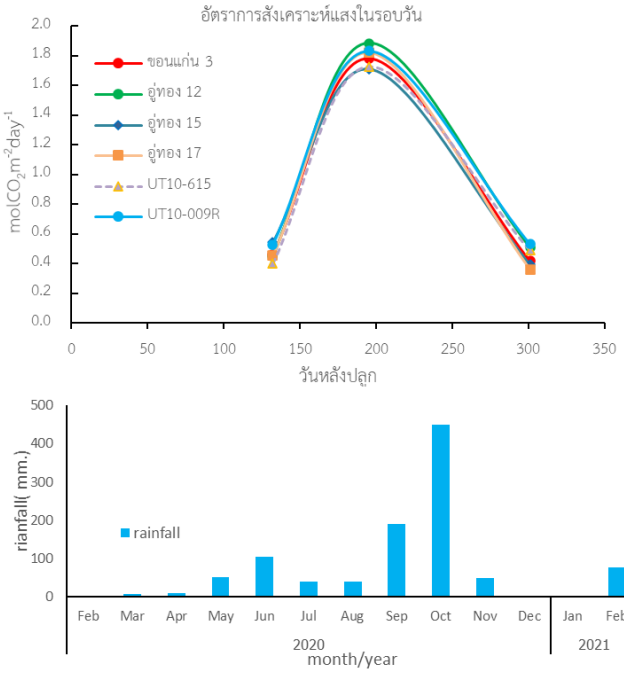


ภาพที่ 10 อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิในรอบวันของอ้อย 5 พันธุ์ ที่ อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์ ระหว่างในเดือนกุมภาพันธ์ 2563 หรือ 4 เดือนหลังปลูก ถึง ธันวาคม 2563 หรือ 14 เดือนหลังปลูก

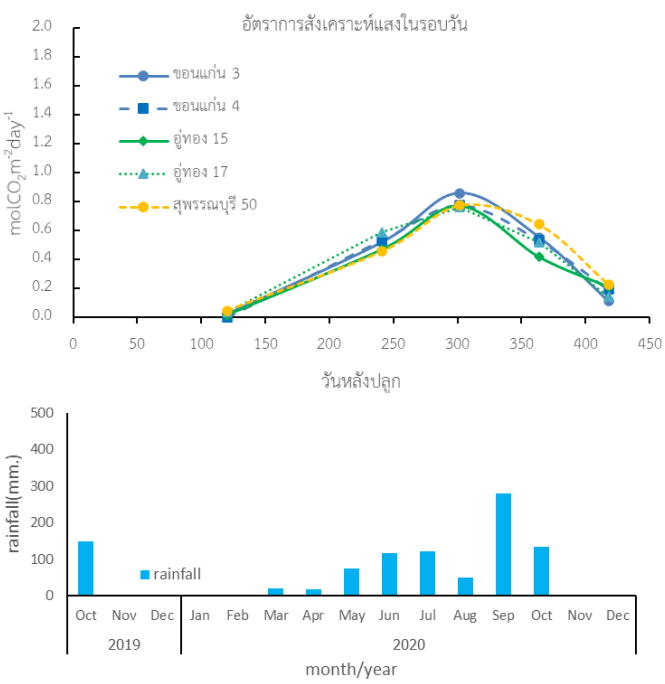


ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (A) กับ PPF (ก) g_s (ข) อุณหภูมิ (ค) ความชื้น (ง) C_i (จ) VPD_{air} (ฉ) การคายน้ำ (ช) และสภาพแวดล้อมในรอบวัน (ซ) ของอ้อยปลูก 5 พันธุ์ ที่ อ. ตากฟ้า จ. นครสวรรค์ หลังปลูก 10 เดือน

ก) สุพรรณบุรี

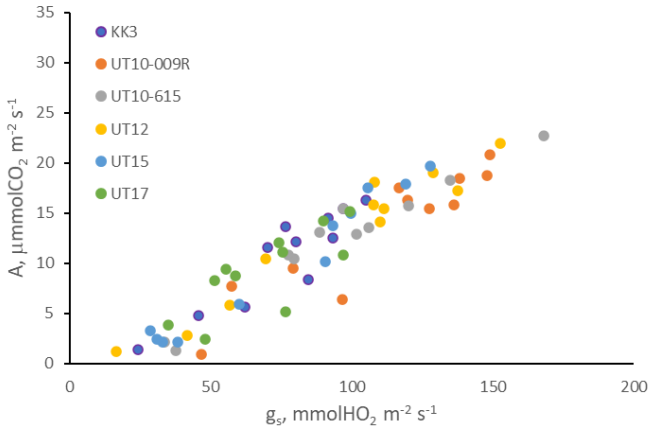


ข) นครสวรรค์

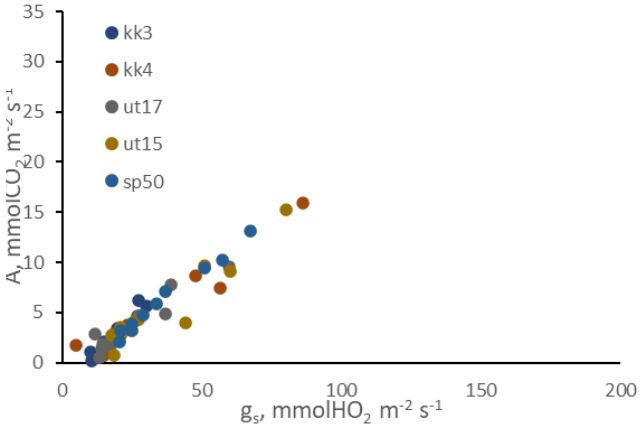


ภาพที่ 12 อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิในรอบวัน (A) กับช่วงอายุหลังปลูกอ้อยและปริมาณน้ำฝนรายเดือนที่ สุพรรณบุรี (ก) และที่ นครสวรรค์ (ข)

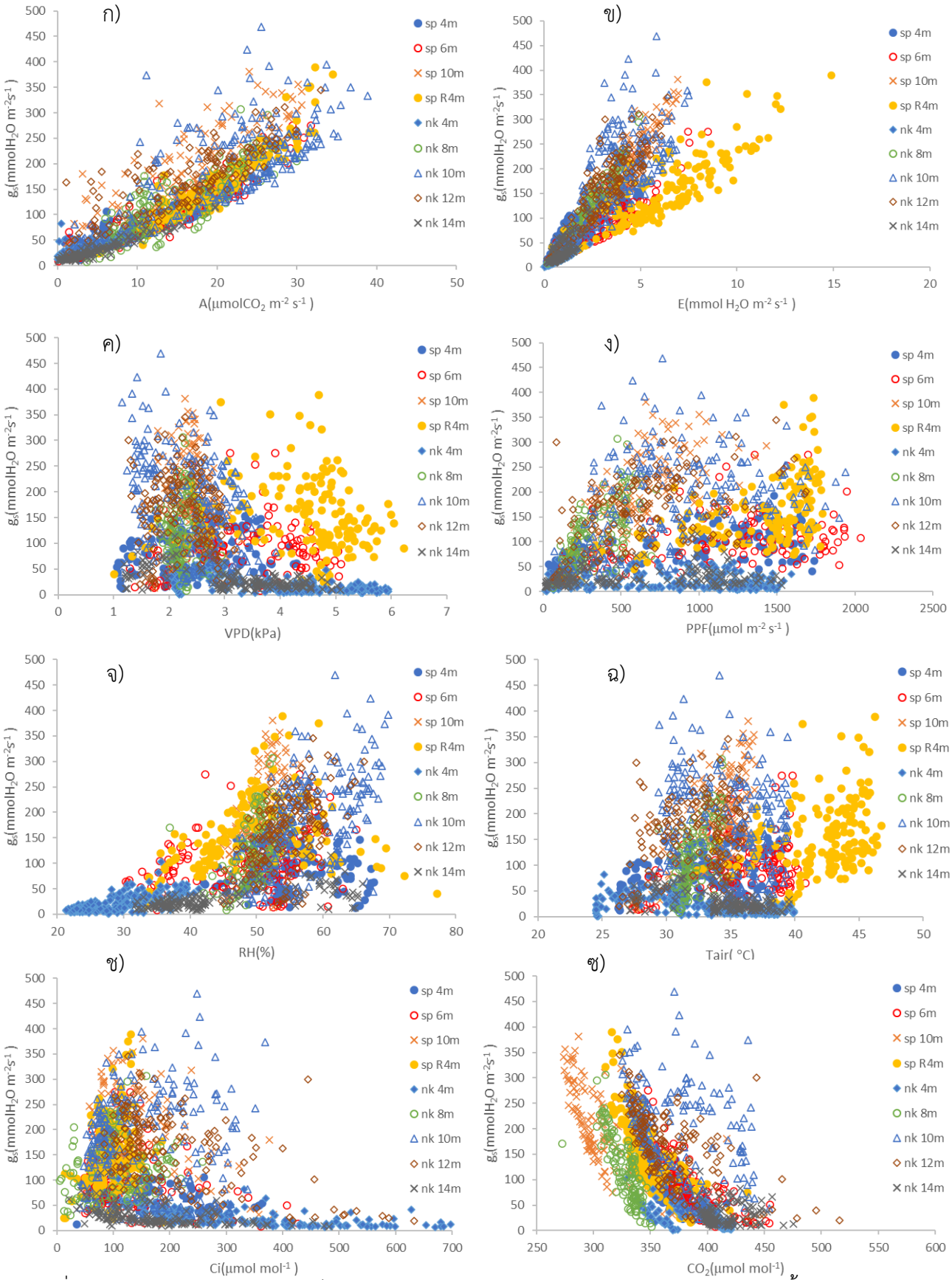
ก) สภาพน้ำในดินเพียงพอ



ข) สภาพดินขาดน้ำ



ภาพที่ 13 อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (A) และค่านำไหลปากใบ (g_s) ในรอบวันของอ้อยที่สภาพดินชื้นที่ สุพรรณบุรี (ก) และที่สภาพขาดน้ำที่นครสวรรค์ (ข) ในเดือนธันวาคม 2563



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่านำไหลปากใบและอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (ก) การคายน้ำ (ข) แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (ค) ความเข้มแสง (ง) ความชื้นสัมพัทธ์ (จ) อุณหภูมิ (ฉ) C_i (ช) และปริมาณ CO_2 (ซ)

ศักยภาพการสังเคราะห์แสงของอ้อย

ศักยภาพการสังเคราะห์แสงของใบอ้อยศึกษาโดยวัดเส้นตอบสนองต่อแสง (light response function) จากแปลงอ้อยที่สุพรรณบุรี พารามิเตอร์เส้นตอบสนองต่อแสงของใบอ้อยที่ได้จากฟังก์ชัน non–rectangular hyperbola พบว่า การสังเคราะห์แสงของใบอ้อยมีความผันแปรในแต่ละช่วงอายุหลังปลูก และพันธุ์อัน เนื่องมาจากลักษณะทางสรีรวิทยาของใบและปัจจัยทางสภาพอากาศ อธิบายเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

อัตราสังเคราะห์แสงรวมสูงสุด (P_{max}) ไม่พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ แต่แตกต่างระหว่างอายุหลังปลูก ($p<0.01$) ในช่วงอายุ 4 เดือนหลังปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 อู่ทอง 12 อู่ทอง 15 และ UT10-009R ปลูกที่สุพรรณบุรีมีค่า P_{max} สูงที่สุด 39.8 44.0 46.4 และ 45.5 $\mu molCO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ ตามลำดับ แล้วลดลงเรื่อยๆ เมื่ออายุมากขึ้น ขณะที่พันธุ์อู่ทอง 17 และ UT10-615 มีค่า P_{max} สูงที่สุดในช่วง 6 เดือนหลังปลูก 37.0 และ 40.3 $\mu molCO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ ตามลำดับ แต่อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิที่ 4 เดือนหลังปลูกของกลุ่มแรกสูงกว่าชัดเจนใน PPF เดียวกัน (ตารางที่ 5) ส่วนระยะ 10 เดือนหลังปลูก อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิต่ำกว่า 2 ระยะก่อนทุกพันธุ์ อยู่ระหว่าง 21-32 $\mu molCO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ ซึ่งเป็นระยะที่อ้อยสะสมน้ำตาล การเจริญเติบโตทางลำต้นลดลง อายุของใบ ความผันแปรในแต่ละวันและตามฤดูกาลมีผลต่อ P_{max}

เส้นตอบสนองต่อแสงมีส่วนหนึ่งที่อัตราการสังเคราะห์แสงแปรผันตรงกับความเข้มของแสง เป็นช่วงที่ไม่มีแสงถึงมีแสงน้อย มีลักษณะกราฟเป็นเส้นตรง เรียกค่าความชันนี้ว่า ประสิทธิภาพการใช้แสง (photochemical efficiency : α) อ้อยทุกพันธุ์ให้ค่าใกล้เคียงกัน 0.050-0.070 $molCO_2\ molPPF^{-1}$ ไม่แตกต่างทางสถิติทั้งพันธุ์อ้อยและอายุอ้อยหลังปลูก ซึ่งควรสูงกว่า α ของพืช C_3 ซึ่งทั่วไปมีค่าประมาณ 0.05

ค่าควบคุมความโค้งของเส้นกราฟ (convexity parameter: θ) บ่งบอกถึงสัดส่วนค่าความต้านทานทางฟิสิกสต่อความต้านทานทั้งหมดของใบ พบว่าไม่แตกต่างทางสถิติทั้งพันธุ์อ้อยและอายุอ้อยหลังปลูก อ้อยทั้ง 6 พันธุ์มีค่าเฉลี่ย 0.72-0.96

อัตราการหายใจในที่มืด (dark respiration : R_d) ไม่มีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ แต่มีความแตกต่างทางสถิติที่อายุหลังปลูก ($p<0.01$) โดยที่ 4 เดือนหลังปลูกอ้อยพันธุ์อู่ทอง 15 มีค่าสูงที่สุด 2.24 $\mu molCO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ ขณะที่พันธุ์อู่ทอง 12 มีค่าต่ำที่สุด 1.12 $\mu molCO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ แต่ที่ 6 เดือนหลังปลูกพันธุ์อู่ทอง 12 กลับตรงกันข้าม และชุดพันธุ์ UT10-615 และ UT10-009R มีค่า Rd ต่ำกว่าพันธุ์อื่นๆ มาก ค่า R_d มีทิศทางตรงกันข้ามกับ P_{max} ทุกพันธุ์ และมีค่าสูงขึ้นเมื่ออายุมากขึ้น 3.59-5.19 $\mu molCO_2\ m^{-2}s^{-1}$ อย่างไรก็ตาม อายุของใบที่ต่างกันก็จะมี Rd แตกต่างไป

จุดชดเชยแสง (light compensation point : L_c) เป็นจุดที่ความเข้มของแสงเพิ่มขึ้นจนกระทั่งอัตราการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจเท่ากับอัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากการสังเคราะห์แสง ไม่มีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ แต่มีความแตกต่างทางสถิติที่อายุหลังปลูก ($p<0.01$) โดยที่ 4 เดือนหลังปลูกมีค่าต่ำสุดเฉลี่ย 25.6 $\mu molPPF\ m^{-2}\ s^{-1}$ และเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้นที่ 10 เดือนหลังปลูกเฉลี่ย 83.1 $\mu molPPF\ m^{-2}\ s^{-1}$ ระบบเอนไซม์ของพืช C_4 ทำให้พืช C_4 สามารถตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีกว่าพืช C_3 แต่ในเรื่องการตอบสนองต่อแสงความเข้มต่ำๆ พืช C_4 ไม่ได้มีความสามารถมากไปกว่าพืช C_3

จุดอิ่มตัวด้วยแสง (light saturation point : L_s) เป็นจุดที่เมื่อเพิ่มความเข้มแสงแล้ว อัตราการสังเคราะห์แสงไม่เพิ่มขึ้น พบว่า จุดอิ่มตัวด้วยแสงไม่มีความแตกต่างทางสถิติทั้งพันธุ์อ้อยและอายุอ้อยหลังปลูก อ้อยทั้ง 6 พันธุ์มีค่าเฉลี่ย 700 - 836 μmolPPF m^{-2} s^{-1} โดยปกติในพืช C_4 จะสูงกว่าพืช C_3

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการใช้แสง (α) ค่าควบคุมความโค้งของเสนกราฟ (θ) อัตราสังเคราะห์แสงรวมสูงสุด (P_{max}) อัตราการหายใจในที่มืด (R_d) จุดชดเชยแสง (L_c) และจุดอิ่มตัวด้วยแสง (L_s) ของอ้อย 6 พันธุ์

พันธุ์อ้อย	วันหลังปลูก	α	θ	P_{max}	R_d	L_c	L_s
KK3	132	0.065	0.920	39.8	1.87	29.1	695
	195	0.060	0.872	36.0	2.18	39.5	780
	301	0.050	0.730	27.5	3.91	81.3	913
UT12	132	0.055	0.925	44.0	1.12	20.4	873
	195	0.059	0.652	21.8	2.88	59.0	590
	301	0.055	0.963	19.3	4.84	89.5	392
UT15	132	0.070	0.832	46.4	2.24	32.5	883
	195	0.062	0.817	35.6	2.85	48.2	827
	301	0.058	0.834	31.9	4.25	74.7	792
UT17	132	0.059	0.821	35.9	1.48	25.1	814
	195	0.068	0.723	37.0	2.35	34.4	869
	301	0.051	0.583	20.9	3.59	76.2	870
UT10-615	132	0.056	0.885	37.2	1.46	26.5	808
	195	0.061	0.777	40.3	1.86	32.5	888
	301	0.060	0.807	24.7	5.19	92.1	703
UT10-009R	132	0.069	0.720	45.5	1.30	19.8	944
	195	0.060	0.751	38.8	1.47	27.0	930
	301	0.056	0.946	25.7	4.64	84.5	535

การจัดกลุ่มพันธุ์อ้อย ศักยภาพการสังเคราะห์แสงของอ้อยความผันแปรในแต่ละช่วงอายุหลังปลูก แม้พันธุ์จะไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่ก็แสดงคุณลักษณะในการตอบสนองต่อแสงและการดูดซับคาร์บอนแตกต่างกัน เช่น พันธุ์อู่ทอง 12 มีค่า P_{max} ลดลงมากเมื่ออ้อยอายุมากขึ้นเช่นเดียวกับจุดอิ่มตัวด้วยแสงที่ลดลง ต่างจากพันธุ์อื่นๆ ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการให้ผลผลิต เป็นต้น เมื่อนำไปวิเคราะห์การจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น (hierarchical cluster analysis) ตามวิธีของ Ward's method วัดความห่างเชิงยูคลิดยกกำลังสอง และปรับค่าตัวแปรที่ได้จากการวัดเส้นตอบสนองต่อแสงทุกตัวอยู่ในมาตรฐานเดียวกัน (standardized) แบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยพันธุ์

UT10-615 และ UT10-009R กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยพันธุ์ ขอนแก่น 3 อู่ทอง 15 และอู่ทอง 17 กลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยพันธุ์ อู่ทอง 12 ซึ่งศักยภาพนี้สอดคล้องกับการให้ผลผลิตและปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่กล่าวมาข้างต้น และจากรายงานอื่นๆ ผลผลิตอ้อยพันธุ์อู่ทอง 12 ที่ปลูกในเขตชลประทานเฉลี่ย 16.4 ตัน/ไร่ จำนวน 4.57 ลำ/กอ ผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ย 2.01 ตัน ซีซีเอส/ไร่ ขอนแก่น 3 ผลผลิตเฉลี่ย 18.1 ตัน/ไร่ อู่ทอง 15 ผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 16.9 ตัน/ไร่ ผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ย 2.47 ตันซีซีเอส/ไร่ อู่ทอง 17 ผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 16.6 ตัน/ไร่ และผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ย 2.20 ตัน/ไร่ ส่วน UT10-615 และ UT10-009R เป็นสายพันธุ์ก้าวหน้า ผลผลิตอ้อยปลูกสูงกว่าอ้อยตอ

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณชีวมวล การปลูกอ้อยให้ได้อินทรีย์คาร์บอนจำนวนมากจึงใช้หลักการเดียวกับการเพิ่มผลผลิต ซึ่งมีลักษณะทางการเกษตรที่เกี่ยวข้อง คือ มีความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างกัน ได้แก่ จำนวนลำกับความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำ และน้ำหนักลำ มี เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอนทั้ง 6 พันธุ์ที่ศึกษาไม่แตกต่างตามพันธุ์และระยะการเจริญเติบโต แต่แตกต่างตามส่วนต่างๆของอ้อย สัดส่วนของส่วนต่างๆ ของแต่ละพันธุ์จึงมีความสำคัญ อย่างไรก็ตาม พันธุ์อ้อยที่ได้รับการแนะนำและเกษตรกรนิยมปลูกได้รับการคัดเลือกว่าผลผลิตสูงเหมาะสมกับพื้นที่นั้น ๆ พันธุ์อ้อยมีอายุสั้นและได้รับการพัฒนาให้มีผลผลิตสูงขึ้นรองรับกับการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมและการทำลายของโรคแมลง ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจึงสูงที่สุดที่ระยะสุกแก่ทางสรีระ หรือระยะเก็บเกี่ยว ดังนั้น การปลูกอ้อยในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมช่วยให้การเจริญเติบโตและผลผลิตสูงกว่า การเลือกช่วงปลูกที่เหมาะสมช่วยให้ระยะที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดอยู่ในช่วงของระยะย่างปล้อง การให้น้ำเสริมช่วยให้การเจริญเติบโตและผลผลิตสูงขึ้น

คาร์บอนที่สะสมในอ้อยทั้งหมดมี 3 แหล่ง 1) ในมวลชีวภาพเหนือดิน 2) ในมวลชีวภาพใต้ดิน 3) ในดิน หากนำมาข้อมูลผลการศึกษาข้างต้นมาใช้ในการประเมินการดูดซับก๊าซ CO_2 ของอ้อย พบว่า การปลูกอ้อย 1 ไร่ ให้ผลผลิตลำอ้อยเฉลี่ย 18.1 ตัน สามารถดูดซับคาร์บอนในรูปของส่วนเหนือดินอ้อยเฉลี่ย 3,698 กก.C หรือช่วยลด CO_2 ในบรรยากาศได้ 13,559 กก. CO_2 หรือผลผลิตอ้อย 1 ตัน สามารถดูดซับก๊าซ CO_2 ได้ 581 กก.CO_2 ดังนั้น การปลูกอ้อยของไทยปีการผลิตอ้อย 2563/2564 ซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกรวมทั้งสิ้น 10,862,610 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 7.21 ตันต่อไร่ สามารถช่วยดูดซับ CO_2 ในบรรยากาศมาอยู่ในรูปของลำอ้อยทั้งหมดได้ 215.1 ล้านตัน โดยแยกเป็นผลผลิตอ้อยส่งโรงงาน 116.9 ล้านตัน และเศษซากใส่กลับปกคลุมดิน 48.2 ล้านตันแล้วย่อยสลายปลดปล่อย CO_2 หมุนเวียนในบรรยากาศสำหรับการผลิตในฤดูต่อไป ส่วนหนึ่งกักเก็บในรูปของคาร์บอนในดินที่คงทนต่อการย่อยสลาย อ้อยปลูกสามารถไว้ตอได้หลายครั้งขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของตอ ซึ่งจะเป็นแหล่งการกักเก็บส่วนที่สำคัญ

บรรณานุกรม

เกษม สุขสถาน. 2561. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 5 เรื่องที่ 3 อ้อย. แหล่งข้อมูล : http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=5&chap=3&page=t5-3-infodetail07.html.

เฉลิมพล แซมเพชร. 2542. สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่. ภาควิชาพืชไร่ ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 285 หน้า.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2539. สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 216 หน้า.

แตงไทย ภิญโญ วัฒนชัย ล้นทม และ ศุจิรัตน์ สงวนรังศิริกุล. 2561. ผลของการขาดน้ำต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบอ้อย. แก่นเกษตร. 46(พิเศษ 2): 99-104.

นงภัทร ไชยชนะ ทิวา พาโคกทม เจษฎา ภัทรเลอพงศ์ และ เชฎฐ์ สาทรกิจ. 2555. การประเมินการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอ้อยตอหนึ่งโดยวิธี Eddy Covariance Technique. หน้า 1174-1181. *ใน* การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม.

นฤนาท ชัยรังษี. 2546. การศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงของเรือนพุ่มอ้อย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์บัณฑิตวิทยาลัย.

ประสิทธิ์ ขุนสนิท และสุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. 2554. มวลชีวภาพของอ้อยพันธุ์ K95-84. ว.วิทยาศาสตร์เกษตร: 42(3) : 485-493.

ปรีชา พราหมณีย์ ผาสุก ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง อรรถชัย จินตะเวช กาญจนา พิบูลย์ ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา สุวิทย์ เลาหศิริวงศ์ บุญมี ศิริ และอิสรี เก่งนอก. มปป. ความก้าวหน้างานทดลอง พลวัฒไนโตรเจนในอ้อยปลูกและในดิน. หน้า 75-84. *ใน* รายงานความก้าวหน้างวดที่ 3 ระยะที่ 2.

พฤทธ์วรรณ เรืองเดช นรุณ วรามิตร ประเสริฐ ฉัตรวชิระวงษ์ และจิราพร เชื้อกูล. 2559. การสะสมผลผลิตชีวมวลและผลผลิตเอทานอลตามทฤษฎีอ้อยพลังงานต่อการตอบสนองของระยะเก็บเกี่ยว. หน้า. 47-55. *ใน*. เรื่องเต็มการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 13: ตามรอยพระยุคลบาท เกษตรศาสตร์กำแพงแสน.

พิชัย สารพงษ์ พัชรินทร์ ตัญญะ และประเสริฐ ฉัตรวชิระวงษ์. 2559. การศึกษาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตน้ำตาลและองค์ประกอบผลผลิตในพันธุ์อ้อยน้ำตาลและอ้อยพลังงานภายใต้สภาพน้าฝน. หน้า 40-46. *ใน* เรื่องเต็มการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 13: ตามรอยพระยุคลบาท เกษตรศาสตร์กำแพงแสน

วีระพล พลรักดี ทักษิณา ศันสยะวิชัย เพียงเพ็ญ ศรวัต เทวา เมาลานนท์ ปรีชา กาเพ็ชร อุดม เลียบวัน. 2554.ขอนแก่น 3 พันธุ์อ้อยสำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ว.วิชาการเกษตร. 29 (3): 283-301

ศรีสุดา ทิพยรักษ์ ชยันต์ ภักดีไทย กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ ปรีชา กาเพ็ชร และศุภกาญจน์ ล้วนมณี. 2560. การสร้างธนาคารคาร์บอนในพื้นที่ปลูกอ้อย. หน้า 53- 77. *ใน* รายงานโครงการวิจัยการสร้างธนาคารคาร์บอนในพื้นที่ปลูกพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน. กรมวิชาการเกษตร.

ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี. 2558. อ้อยพันธุ์อู่ทอง 15. สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร. แหล่งข้อมูล : https://www.doa.go.th/fc/suphanburi/?page_id=362.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2537. พฤกษศาสตร์. กรุงเทพฯ : รั้วเขียว. พิมพ์ครั้งที่ 3. 277 หน้า.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2564 รายงานสถานการณ์การปลูกอ้อยปีการผลิต 2563/64. 78 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2563. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 214 หน้า.

สุทธิลักษณ์ ศรีไกร. 2559. การเปรียบเทียบผลผลิตของอ้อยปลูกและวิธีทางเขตกรรมที่เหมาะสมหลังเก็บเกี่ยวต่อการงอกและการเจริญเติบโตของอ้อยตอ 1 พันธุ์ขอนแก่น 3 และพันธุ์ เค 95-84. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

สุนทรี ยิ่งชัชวาล คัทลียา ฉัตรเที่ยง ธาดา ชัยสีหา จิตรฤทัย ชูมาก สุทิน หิรัญอ่อน และภูริพงศ์ ดำรงวุฒิ. 2544. อัตราสังเคราะห์แสงสุทธิ และคายน้ำในรอบวันของใบส้มเขียวหวาน หน้า 62-81. *ใน* รายงานโครงการพัฒนาวิชาการข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยาของส้มเขียวหวาน.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. คัทลียา ฉัตร์เที่ยง จิตรฤทัย ชูมาก ธาดา ชัยสีหา สุทิน หิรัญอ่อน จินตนา บางจั่น สุภาพร เรืองวิทยาโชติและภูริพงศ์ ดำรงวุฒิ. มปป. เส้นตอบสนองต่อแสง จุดชดเชยคาร์บอนไดออกไซด์ ค่านำไหลของผิวใบสองด้านและปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบส้มเขียวหวาน. แหล่งข้อมูล: https://www.cab.kps.ku.ac.th/plantbiophysics/pdf/ct/ct_part5.pdf เข้าถึงเมื่อ: 1 มิถุนายน 2564.

อุดมศักดิ์ ดวนมีสุข อดิศักดิ์ คำนวณศิลป์ วัลลิภา สุชาโต อรรถสิทธิ์ บุญธรรม วาสนา วันดี สุนี ศรีสิงห์ และอุดม เลียบวัน. 2560. อ้อยลูกผสมพันธุ์ใหม่ : อู่ทอง 12. ว.วิชาการเกษตร. 35(1): 49-59.

อุดมศักดิ์ ดวนมีสุข อุดม เลียบวัน วัลลิภา สุชาโต อรรถสิทธิ์ บญุธรรม วาสนา วันดี สมบูรณ์ วันดี อัจฉราภรณ์ วงศ์สุขศรี สุมาลีโพธิ์ทอง สุวัฒน์ พูลพาน ปิยธิดา อินทร์สุข ชัยวัฒน์ กะการดี และรัฐพล ชูยอด. 2561. อ้อยพันธุ์อู่ทอง 17. แก่นเกษตร. 46 (พิเศษ 2): 13-18**.**

Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. In FAO Forestry Report. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Johnson, I. R., A. J. Parsons and M. M. Ludlow. 1989. Modeling photosynthesis in monocultures and mixtures. Aust. J. Plant Physiol. 16:501-516.

Khoramdel S., A. Koocheki, M. Nassiri-Mahallati and R. Ghorbani. 2013. Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. Soil and Tillage Research. 133:25–31.

Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1983. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic matter. *In Method of soil analysis: Part 2 Chemical and Microbiology Properties 9.* Pp.539-579.

Wachirawan W., S. Pattanakiat and C. Navanugraha. 2009. The Estimation of Carbon Storages in Various Growth Stages of Sugarcane in Si Sat Chanalai District, Sukhothai Province, Thailand. Environment and Natural Resources Journal. 7(2):72-81.

จัดทำโดย

วลัยพร ศะศิประภา	ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
ปรีชา กาเพ็ชร	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครสวรรค์
สายน้ำ อุดพ้วย	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
นุชนาฏ ตันวรรณ	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
อุดมศักดิ์ ดวนมีสุข	ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี
อานนท์ มลิพันธ์	ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลก
ปฐมพงษ์ วงศ์สุวรรณ์	ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

กรมวิชาการเกษตร