ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษ์เศรษฐกิจ)

ปริญญา

พฤกษ์เศรษฐกิจ | สายวิชาวิทยาศาสตร์

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง มวลชีวภาพและปริมาณมหธาตุอาหารของอ้อยพันธุ์ K95-84

Biomass and Macronutrient Contents of Sugarcane cv. K95-84

นามผู้วิจัย นายประสิทธิ์ ขุนสนิท

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, Ph.D.)

หัวหน้าสายวิชา

(อาจารย์ลักษณา กันทะมา, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

มวลชีวภาพและปริมาณมหธาตุอาหารของอ้อยพันธุ์ K95-84

Biomass and Macronutrient Contents of Sugarcane cv. K95-84

โดย

นายประสิทธิ์ ขุนสนิท

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษ์เศรษฐกิจ)
พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประสิทธิ์ ขุนสนิท 2554: มวลชีวภาพและปริมาณมหธาตุอาหารของอ้อยพันธุ์ K95-84 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษ์เศรษฐกิจ) สาขาพฤกษ์เศรษฐกิจ สายวิชาวิทยาศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศาสตราจารย์สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, Ph.D. 85 หน้า

การประเมินปริมาณมหธาตุอาหารในอ้อยพันธุ์ K95-84 ใช้แนวทางประเมินมวลแห้งของชิ้นส่วนต่างๆของอ้อยและวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในมวลแห้ง ปริมาณธาตุอาหารคือผลคูณของมวลแห้งกับค่าความเข้มข้นของธาตุอาหาร เก็บตัวอย่างต้นอ้อยทุกเดือนจนครบหนึ่งปี พบว่ามวลของส่วนลำอ้อยมีสัดส่วนมากที่สุดของมวลแห้งทั้งหมด ค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.8 m^2m^{-2} ขณะอ้อยอายุ 7 เดือน และอ้อยมีความหนาแน่นของรากมากที่สุดที่ระดับความลึกของดิน 10-20 cm ค่าเฉลี่ยร้อยละมวลแห้งต่อมวลสดของลำอ้อยมีค่า 19.4 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลแห้ง (Md) กับอายุหลังปลูก (t) เป็นรูปฟังก์ชันลอจิสติกได้ว่า $Md=Md_oMd_m/[Md_o+(Md_m-Md_o)exp(-\alpha t)]$ เมื่อ Md_m คือค่ามวลแห้งสูงสุด Md_o คือค่ามวลแห้งต่ำสุด และ α คือค่าคงที่แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงมวล ข้อมูลพิจารณาแยกได้สองส่วนคือมวลแห้งของอ้อยทั้งหมด (Md_W) และมวลแห้งเฉพาะของผลผลิตลำอ้อย (Md_{CY}) สำหรับมวลแห้งอ้อยทั้งหมดได้ค่า Md_m=18.88 ton rai^{-1}, Md_o= 0.68 ton rai^{-1} และ α=0.013 day^{-1} ส่วนมวลแห้งผลผลิตลำอ้อยได้ค่า Md_m=5.99 ton rai^{-1}, Md_o=0.12 ton rai^{-1} และ α= 0.014 day^{-1} อัตราการเพิ่มมวลแห้งของอ้อยต่อหนึ่งหน่วยอายุสามารถประเมินได้ด้วยอนุพันธ์ของฟังก์ชันข้างต้น พบว่าอ้อยทั้งหมดมีอัตราการเพิ่มของมวลแห้งสูงสุดเท่ากับ 61.4 kg rai^{-1} day^{-1} ที่อายุ 252 วันหลังปลูก (8.4 เดือน) ส่วนผลผลิตลำอ้อยมีอัตราเพิ่มมวลแห้งสูงสุด 21.3 kg rai^{-1} day^{-1} ที่อายุ 272 วันหลังปลูก (9 เดือน) ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีค่าสูงสุดในส่วนของใบ ขณะที่โพแทสเซียมมีค่าสูงสุดใน กาบใบ ความเข้มข้นของมหธาตุอาหารเฉลี่ยของอ้อยทั้งต้น (ร้อยละเชิงมวลแห้ง) คือค่าความชันของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างมวลแห้งทั้งหมดกับปริมาณธาตุอาหารทั้งหมด สำหรับอ้อยทั้งต้นได้ค่า N=0.667%, P= 0.113%, Ca=0.148%, Mg= 0.118% และ K=1.5% เมื่อ $Md_W \leq 8$ ton rai^{-1} โดยที่ K=120 kg rai^{-1} เมื่อ Md_W สูงกว่านี้ สำหรับส่วนของผลผลิตลำอ้อยมี N=0.636%, P=0.106%, Ca=0.081%, Mg=0.115% และ K=1.322% เมื่อ $Md_{CY} \leq 2.6$ ton rai^{-1} โดยที่ K=35 kg rai^{-1} เมื่อ Md_{CY} สูงกว่านี้ ดังนั้น ปริมาณธาตุอาหารจึงเพิ่มขึ้นตามมวลแห้งของอ้อย ยกเว้นโพแทสเซียมที่มีการเพิ่มขึ้นตามมวลแห้งในช่วงแรกจนถึงปริมาณคงที่ที่ระดับเพดานหนึ่ง ซึ่งเป็นการยืนยันว่าโพแทสเซียมไม่ได้ถูกใช้เป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่ออ้อย ปริมาณของโพแทสเซียมมีอยู่ถึง 51% ของปริมาณมหธาตุอาหารรวมทุกชนิด ปริมาณมหธาตุอาหารในลำอ้อยที่เก็บเกี่ยวเป็นประมาณ 24% ยกเว้นธาตุ Ca ที่มี 13% ของที่ปรากฏในมวลแห้งของอ้อยทั้งหมด เศษอ้อยที่เหลือในแปลงจึงเป็นแหล่งธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับอ้อยฤดูถัดไป สำหรับผลผลิตลำอ้อยสด 20 ton rai^{-1} มหธาตุอาหารที่ปรากฏในมวลแห้งของลำอ้อยที่เก็บเกี่ยวออกไปเท่ากับ N=24.7, P=4.1, K=35.0, Ca=3.2 และ Mg=4.4 kg rai^{-1} สูตรปุ๋ยเคมีที่ตรงกับปริมาณมหธาตุอาหารในมวลอ้อยทั้งหมดคือ N:P:K เท่ากับ 6:1:10 ช่วงที่อ้อยต้องการธาตุอาหารมากที่สุดเกิดขณะที่อ้อยมีการสร้างมวลแห้งสูงสุดที่อายุ 8 เดือน การใส่มหธาตุอาหารทุกชนิดกลับคืนสู่แปลงอย่างน้อยให้ได้เท่ากับปริมาณที่นำออกไป และตรงกับช่วงอายุที่อ้อยมีการเติบโตสูงสุด เป็นแนวทางหนึ่งในการรักษาระดับผลผลิตของอ้อยให้ได้สูงและยั่งยืน

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Prasit Khunsanit 2011: Biomass and Macronutrient Contents of Sugarcane cv. K95-84. Master of Science (Economic Botany), Major Field: Economic Botany, Division of Science. Thesis Advisor: Professor Suntaree Yingjajaval, Ph.D. 85 pages.

The total content of macronutrients in sugarcane cv. K95-84 was determined as the sum of the products of the dry mass and the nutrient concentration of each part of the plant. The plant was sampled on monthly interval until maturation at the end of one year. The cane or stalk contributed the highest proportion of the whole plant dry mass. The highest leaf area index at 7 months was 4.8 m^2 m^{-2}, and the highest root density occurred in the 10-20 cm soil layer. The whole plant average of dry to fresh mass was 19.4%. The relationship between the dry mass (Md) and the plant age (t) was a logistic function: $Md = Md_o Md_m / [Md_o+(Md_m-Md_o)\exp(-\alpha t)]$, where Md_m is the highest, Md_o the minimal mass and α the absolute growth rate. The parameters were evaluated in two parts: the whole plant (Md_W) and the cane yield (Md_{CY}). For the whole plant: Md_m=18.88, Md_o=0.68 ton rai^{-1} and α=0.013 day^{-1}. For the cane yield: Md_m=5.99, Md_o=0.12 ton rai^{-1} and α=0.014 day^{-1}. The rate of dry mass increase was determined as the derivative of the logistic function. The whole plant had the highest increase in dry mass at the age of 252 days after planting (8.4 months), whereas the highest increase in cane yield was at 272 days (9 months). The highest concentrations of nitrogen and phosphorus were found in the leaf, while the leaf sheath had the highest concentration of potassium. The whole plant nutrient concentration average was derived as the slope of the linear relationship between the total dry mass and the total nutrient content. For the whole plant, the concentrations (dry mass basis) were N=0.667%, P=0.113%, Ca=0.148%, Mg=0.118% and K=1.5% when $Md_W \leq$ 8 ton rai^{-1}, beyond which the K content was capped at 120 kg rai^{-1}. As for the cane yield dry mass: N=0.636%, P=0.106%, Ca=0.081%, Mg=0.115% and K=1.322% for $Md_{CY} \leq$ 2.6 ton rai^{-1}, before the K content being capped at 35 kg rai^{-1}. Potassium was the exception in that its content increased initially with the plant dry mass before it reached a plateau. The result substantiated the fact that K is not used as part of tissue construct. Potassium accounted for 51% of the total amount of all macronutrients. The macronutrient contents in the cane were about 24%, with Ca content only 13% of those present in the whole cane. So the cane residues after harvest contribute significant amount of nutrient for next crop. The study estimated that a fresh cane yield of 20 ton rai^{-1} would deprive the soil of N=24.7, P=4.1, K=35.0, Ca=3.2 and Mg=4.4 kg rai^{-1}. The N:P:K ratio for sugarcane was 6:1:10. The period when the largest amount of nutrient was required was at the highest rate of dry mass increase at 8 months after planting. The replenishing of macronutrients in accordance to the amount removed, and at the right timing would sustain the soil productivity for sugarcane production.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ในการจะสร้างงานขึ้นมาสักชิ้นหนึ่งเป็นเรื่องที่ยากและต้องอาศัยความร่วมมือจากหลายๆ บุคคล กราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์ ที่ได้ให้โอกาสในการทำงานที่ยากลำบาก และใช้ความอดทนในการฝึกสอนข้าพเจ้า ทำให้มีความสงสัยในกระบวนการทำงานของพืช และมีความสนุกกับข้อมูลที่ได้มา เกิดความอัศจรรย์ใจในธรรมชาติของพืชและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่มีกลไกการดำรงชีวิตอยู่อย่างซับซ้อน จนสุดท้ายได้เป็นวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขึ้นมา

กราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ฐิติวรา พูลสวัสดิ์ ประธานการสอบ และรองศาสตราจารย์ ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ในการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย ที่ให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งอาจารย์ ดร.ลักษณา กันทะมา อาจารย์ประธานสาขา ที่ให้ความช่วยเหลือเรื่องต่างๆ โดยตลอด

ขอบพระคุณโครงการพัฒนาพันธุ์อ้อย บริษัทน้ำตาลครบุรี จำกัด ที่ให้ทุนวิจัย คุณบุญชอบ แสงจันทร์ หัวหน้าโครงการ คุณสามารถ จันสน คุณนเรศ นาคคันธร ที่ช่วยเก็บข้อมูลน้ำในดินตลอดระยะเวลา 1 ปี คุณเอ๋ ตาสี ช่วยติดต่อประสานงานอำนวยความสะดวกต่างๆ อีกทั้งคนงานทุกคนที่ช่วยใส่ปุ๋ย ให้น้ำ และขุดเก็บมวลของอ้อยอย่างอดทน

ขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สิริกุล วะสี ที่ช่วยดูแลเรื่องค่าใช้จ่ายต่างๆ มาโดยตลอด ขอบคุณสมาชิกห้องปฏิบัติการชีวฟิสิกส์ของพืช ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร ที่คอยช่วยเหลือในหลายเรื่อง รวมทั้งการใช้เครื่องมือต่างๆ

ขอบพระคุณแม่ของข้าพเจ้าที่อนุญาตให้ได้เรียนต่อและให้ทำในสิ่งที่อยากทำตลอดมา

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าข้อมูลในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจหรือทำให้เกิดแนวคิดใหม่ๆ ในการทำงานวิจัยทางด้านสรีรวิทยาของพืชต่อไป

ประสิทธิ์ ขุนสนิท

ธันวาคม 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	15
ผลและวิจารณ์	28
สรุป	68
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	70
ภาคผนวก	72
ประวัติการศึกษาและทำงาน	85

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การกระจายตัวของความเข้มข้นของธาตุอาหารในแต่ละชิ้นส่วนของอ้อย	10
2	ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในใบอ้อยที่อายุต่างๆ ของการเติบโต	11
3	ความเข้มข้นของธาตุอาหารในอ้อยที่อายุ 11-12 เดือน ที่ได้รับธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีและน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร	11
4	ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตลำอ้อย	13
5	ปริมาณธาตุอาหารที่ถูกเคลื่อนย้ายตามผลผลิตของอ้อย	16
6	ค่าพารามิเตอร์การเติบโตของมวลอ้อยทั้งหมดพันธุ์ K95-84	29
7	มวลแห้งของแต่ละชิ้นส่วนของอ้อย (toa rai^{-1}) ที่อายุต่างๆ	31
8	การแจกแจงแบ่งส่วนมวลแห้ง ($Md_i x100/Md_W$) ของแต่ละชิ้นส่วนเปรียบเทียบกับมวลแห้งรวมทั้งหมดของอ้อยที่อายุต่างๆ	31
9	ค่าร้อยละมวลแห้งต่อมวลสด ($Md_i x100/Mf_i$) แยกตามชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อย	32
10	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุ (t, day) กับความสูง (H, cm) และมวลชีวภาพของอ้อย (ton rai^{-1}) และระหว่างมวลแห้งกับความสูงของต้นอ้อย	33
11	ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบ (cm^2) กับมวลสดใบ (g) ความยาวใบและความกว้างใบ (cm) ของใบอ้อยพันธุ์ K95-84 ที่สมบูรณ์ จำนวน 198 ใบ	34
12	ค่าสถิติพื้นฐานของใบอ้อยพันธุ์ K95-84 ที่สมบูรณ์ จำนวน 254 ใบ S.D. คือ Standard deviation	35
13	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของใบอ้อยพันธุ์ K95-84	35
14	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของรากอ้อยพันธุ์ K95-84	37
15	มวลแห้งของรากที่ระดับความลึกต่างๆ ของชั้นดิน	38
16	สัดส่วนมวลแห้งของรากในแต่ละระดับชั้นดินเทียบกับมวลรากทั้งหมด (%)	38
17	ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความเข้มข้นของธาตุอาหารของแต่ละชิ้นส่วนของอ้อยรวมทุกตัวอย่างทุกช่วงอายุของการเติบโต ตัวเลขในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)	42
18	ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นของธาตุอาหาร	42

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	ค่าเฉลี่ยเชิงมวลของความเข้มข้นของธาตุอาหารในมวลอ้อยรวมทั้งหมด	49
20	ปริมาณธาตุอาหารรวมทุกชิ้นส่วนของอ้อย	51
21	ปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดที่ปรากฏในชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อยแต่ละช่วงอายุ	53
22	ปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในผลผลิตลำอ้อยแต่ละช่วงอายุ	54
23	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากสมการลอจิสติก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุของอ้อย (day) กับมวลแห้ง (ton rai^{-1})	58
24	ความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละชนิด (%dry mass) ของมวลแห้งอ้อยทั้งหมด	61
25	ความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละชนิด (%dry mass) ของมวลแห้งผลผลิตลำอ้อย	61
26	ปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นตามมวลของอ้อยทั้งหมด	64
27	ปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นตามมวลผลผลิตลำอ้อย	65
28	ปริมาณธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลองเปรียบเทียบกับผลที่ประเมินได้จากการทดลองที่ระดับผลผลิตลำอ้อยสด 20 ton rai^{-1}	66
29	อัตราการสร้างมวลแห้งของอ้อยในแต่ละเดือนเทียบกับมวลแห้งเมื่อเก็บเกี่ยว	67

ตารางผนวกที่

1	ข้อมูลสภาพอากาศเฉลี่ยทุก 15 วัน ของแปลงปลูกอ้อย บริษัท น้ำตาลครบุรี จำกัด อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา (ช่องว่างคือช่วงที่อุปกรณ์ชำรุด)	78
2	ค่าเฉลี่ยทุก 15 วัน ของพลังงานกำกับก้อนดิน (Soil matric potential, kPa) ของแปลงปลูกอ้อย บริษัทน้ำตาลครบุรี จำกัด อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา	81
3	องค์ประกอบผลผลิตของอ้อยพันธุ์ K95-84 ที่อายุเก็บเกี่ยว 12 เดือน	83

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กราฟที่ได้จากการใช้ฟังก์ชันลอจิสติก (เส้นทึบ) และอนุพันธ์ (เส้นประ) เทียบกับข้อมูลที่เก็บได้จริง (วงกลม) ของต้นยางพาราพันธ์ RRIM 600 ในภาคตะวันออก (จินตณาและสุนทรี, 2544)	14
2	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับมวลแห้งส่วนต่างๆ ของอ้อย A) ข้อมูลทุกส่วน B) ข้อมูลทุกส่วนยกเว้นลำ และ C-D) เปรียบเทียบมวลแห้งระหว่างใบ-กาบใบสดและที่แห้งตาย	30
3	การแบ่งส่วนมวลแห้งของส่วนต่างๆ ของอ้อยเทียบกับมวลทั้งหมด	32
4	การเปลี่ยนแปลงตามอายุของอ้อยของค่า A) ค่าพื้นที่ใบ ค่าดัชนีพื้นที่ใบ และจำนวนใบสด B) ค่า LAI_{2000} และค่า Sky fraction (ได้จากเครื่องวัดค่าดัชนีพื้นที่ใบ)	36
5	มวลสดและมวลแห้งของรากในแต่ละชั้นความลึกของดิน (A-B) ความหนาแน่นของมวลสดและมวลแห้งของราก (C-D) การกระจายตัวของมวลรากในแต่ละช่วงอายุที่ระดับความ ลึกต่างๆ ของดิน (E-F)	39
6	การกระจายตัวของรากของมวลสด (A) และมวลแห้ง (B) ในแต่ละช่วงอายุที่ระดับความลึกต่างๆ ของดิน	40
7	ความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละชนิด (%dry mass) ในแต่ละชิ้นส่วนของอ้อยตามช่วงอายุ แต่ละจุดเป็นค่าของแต่ละตัวอย่าง	43
8	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ N กับความเข้มข้นของ A) P, B) K, C) Ca และ D) Mg ของชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อยพันธุ์ K95-84 ค่าที่แสดงเป็นค่าวิเคราะห์ทางเคมีของแต่ละตัวอย่าง (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์เชิงมวลแห้ง)	45
9	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ P กับความเข้มข้นของ A) K, B) Ca และ C) Mg ของชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อย ค่าที่แสดงเป็นค่าวิเคราะห์ทางเคมีของแต่ละตัวอย่าง (หน่วย เป็นเปอร์เซ็นต์เชิงมวลแห้ง	46
10	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ K กับความเข้มข้นของ A) Ca และ B) Mg และความสัมพันธ์ของ C) Ca กับ Mg ของชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อย ค่าที่แสดงเป็นค่าวิเคราะห์ทางเคมี ของแต่ละตัวอย่าง (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์เชิงมวลแห้ง)	47

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
11	ความเข้มข้นของธาตุอาหารของส่วนชิ้นต่างๆ ของอ้อยเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ใบสด (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์เชิงมวลแห้ง)	48
12	ค่าเฉลี่ยเชิงมวลของความเข้มข้นของมหธาตุอาหารของตัวอย่างอ้อยรวมทั้งหมดในแต่ละช่วงอายุ A) ธาตุอาหารทั้ง 5 ชนิด B) เฉพาะธาตุอาหาร 3 ชนิด ที่มีความเข้มข้นต่ำ (P, Ca และ Mg)	50
13	ปริมาณธาตุแต่ละชนิดอาหารรวมทุกชิ้นส่วนของอ้อย A) ปริมาณธาตุอาหารทั้ง 5 ชนิด B) ปริมาณธาตุอาหารชนิดที่มีค่าน้อย C) ค่าร้อยละของปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดเทียบกับปริมาณธาตุอาหารรวมทุกชนิด	52
14	ปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในส่วนชิ้นต่างๆ ของอ้อยในแต่ละช่วงอายุ	55
15	การกระจายตัวของปริมาณธาตุไนโตรเจน(A) ฟอสฟอรัส(B) โพแทสเซียม(C) แคลเซียม(D) และแมกนีเซียม (E) ในแต่ละชิ้นส่วนของอ้อยตลอดอายุของการเติบโต	56
16	ความสัมพันธ์ในรูปฟังก์ชันลอจิสติกระหว่างอายุกับ A) มวลแห้งทั้งหมดของอ้อย และ B) กับมวลผลผลิตลำอ้อย เส้นทึบคือมวลแห้งที่คำนวณโดยใช้พารามิเตอร์ในตารางที่ 23 สัญลักษณ์คือมวลแห้งที่วัดได้จริง เส้นประคืออัตราการเพิ่มมวลแห้งต่อหนึ่งหน่วยอายุ (อนุพันธ์ของฟังก์ชัน)	59
17	ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏ (kg rai^{-1}) กับมวลของอ้อย (ton rai^{-1}) A) มวลอ้อยทั้งหมด B) มวลผลผลิตลำอ้อย	60

ภาพผนวกที่

1	วิธีการเก็บตัวอย่างมวลชีวภาพของอ้อย A) สุ่มเลือกอ้อยที่สมบูรณ์ B-C) ตัดอ้อยส่วนเหนือดินทั้งหมดในพื้นที่ 0.5 x 1.3 m^2 D) ขุดเก็บมวลส่วนใต้ดิน คือ เหง้าและราก ที่ระดับชั้นความลึกของดินทุก 10 cm ในระดับความลึก 0-50 cm	73

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
2	ชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อย A) ใบยอดและลำอ้อยทั้งหมด B)ใบสด C) กาบใบสด D) ใบและกาบใบแห้งตาย E) เหง้า F) ผลผลิตลำอ้อย และ G) รากอ้อยในแต่ละระดับชั้นความลึกของดิน	74
3	อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมที่อ้อยเติบโต เครื่องมือวัดค่าพลังงานกำกับก้อนดินคือ Tensiometer (A) และ Soil water-mark (B) สถานีอากาศเก็บข้อมูลความเข้มแสงแดด อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และปริมาณน้ำฝน (C) และระบบน้ำหยดในแปลงอ้อย (D)	75
4	สภาพอากาศเฉลี่ยในตอนกลางวันของแต่ละวันและเฉลี่ยทุก 15 วัน ในบริเวณแปลงปลูกอ้อย A) ความเข้มแสงแดด B-C) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ D) แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (VPD_{air}) E) ปริมาณน้ำฝนและจำนวนวันที่ฝนตก (ข้อมูลที่ขาดหายเป็นช่วงที่อุปกรณ์ชำรุด)	80
5	ค่าดัชนีความเขียวใบ (SPAD INDEX) ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม, เอ และบีของใบอ้อยลำดับ TVD (A) และลำดับที่ 3 TVD (B)	82
6	ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ คือ A) ค่าบริกซ์ (Brix) ค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (Cs) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) และ B) ค่า pH ของสารละลายน้ำคั้นจากลำอ้อย	83

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มวลชีวภาพและปริมาณมหธาตุอาหารของอ้อยพันธุ์ K95-84

Biomass and Macronutrient Contents of Sugarcane cv. K95-84

คำนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น ทำให้มีลักษณะทางภูมิอากาศที่เอื้ออำนวยให้พันธุ์พืชสามารถเจริญเติบโตได้ตลอดทั้งปี อ้อยเป็นพืชที่มีศักยภาพในการเติบโตได้ในหลากหลายสภาพพื้นที่และอากาศ เพราะเป็นพืชประเภท C4 และอยู่ในตระกูลหญ้า หากสามารถจัดหาปัจจัยการผลิตที่จำเป็นในการเติบโตของอ้อยได้อย่างเหมาะสม จะสามารถเพิ่มผลผลิตของอ้อยได้มาก

แนวทางในการเพิ่มผลผลิตให้กับอ้อยมีหลายวิธีการ วิธีหนึ่งที่เสนอในที่นี้ คือการให้ปริมาณธาตุอาหารให้เพียงพอกับความต้องการสร้างมวลชีวภาพของอ้อยในแต่ละช่วงอายุของการเติบโต ซึ่งจะเป็นการรักษาประสิทธิภาพการให้ปุ๋ยให้คุ้มทุนได้

วิธีการประเมินความต้องการปริมาณธาตุอาหารพืชของอ้อยที่ใช้ในที่นี้ ได้จากการประเมินมวลแห้งชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อยและวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารของชิ้นส่วนนั้น ผลคูณของค่าทั้งสองคือปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในแต่ละชิ้นส่วนของอ้อย ปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในมวลอ้อยทั้งหมดคือผลรวมของปริมาณธาตุอาหารจากทุกชิ้นส่วน ถ้าทำการประเมินปริมาณธาตุอาหารในทุกช่วงอายุของการเติบโต จะสามารถประเมินอัตราการเพิ่มขึ้นของมวลและอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุอาหารในอ้อยได้ วิธีการนี้ทำให้สามารถกำหนดปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิด ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้ในการเติบโตและสร้างผลผลิตของอ้อยตามระยะของการเติบโตได้ และหากสามารถใส่ปุ๋ยกลับคืนสู่แปลงอ้อยให้ได้เท่ากับปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตที่นำออกไปแล้ว จะเป็นการผลิตพืชตามแนวการอนุรักษ์ธาตุอาหารในดินที่จะนำไปสู่การผลิตพืชได้อย่างยั่งยืน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

ประเมินความต้องการปริมาณมหธาตุอาหารพืชของอ้อยพันธุ์ K95-84 โดยประเมินมวลชีวภาพและความเข้มข้นของมหธาตุอาหารพืชได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม จากนั้นประเมินปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดที่ปรากฏในอ้อยในแต่ละอายุ รวมทั้งประเมินอัตราการเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพและปริมาณมหธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นตามผลผลิต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

การเจริญเติบโตของอ้อย

อ้อย (*Saccharum officinarum L.*) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจัดอยู่ในตระกูลหญ้า (Gramineae หรือ Poaceae) มีแหล่งกำเนิดที่หมู่เกาะนิวกินี ในมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งได้เป็นที่รู้จักกันมานานหลายพันปีแล้ว มีการเคลื่อนย้ายโดยมนุษย์มาสู่เอเชีย อินเดียและภูมิภาคต่างๆ แล้วนำมาผสมกับพันธุ์พื้นเมืองของแต่ละภูมิภาค ปรับปรุงพันธุ์และคัดเลือกจนกลายมาเป็นพันธุ์การค้าของแต่ละท้องที่ในปัจจุบัน

อ้อยพันธุ์ 95-84 เกิดจากการผสมและคัดเลือกพันธุ์ขึ้นมาของสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย เป็นลูกผสมระหว่าง พันธุ์ K90-74 และ K94-200 ให้ผลผลิตประมาณ 15-21 ton rai^{-1} ความหวาน 13-15 C.C.S ลักษณะเด่น คือ โตเร็ว แตกกอดี ให้ผลผลิตและความหวานสูง ไว้ตอได้ดี เหมาะสมที่จะปลูกในดินร่วนและร่วนปนทราย ฤดูปลูกที่เหมาะสม คือปลายฝนหรือเรียกว่าอ้อยน้ำราด ควรเก็บเกี่ยวที่ช่วงกลางถึงปลายหีบ (ม.ค.-เม.ย.) มีการหักล้มปานกลางในเขตชลประทาน และอ่อนแอต่อโรคใบขาว (พีรญา, มปป)

การเจริญเติบโตของพืช กล่าวได้ว่ามีสองส่วนคือ 1) การเพิ่มพูนหรือการสร้างเซลล์ใหม่ ๆ ขึ้นมา (growth) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณ เช่น มวล หรือความสูงที่เพิ่มขึ้น และ 2) การพัฒนา (development) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพ รูปร่างและลักษณะ เช่น การสะสมน้ำตาลในแต่ละช่วงอายุของอ้อย ทั้งสองกระบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องกัน รูปแบบของการเติบโตของพืชสามารถอธิบายด้วยฟังก์ชันในรูปแบบ Sigmoid คือมีลักษณะเป็นรูปตัว S ประกอบด้วยสามช่วงของการเติบโต คือ 1) ระยะเริ่มต้นของการเติบโต (Formative period) จะเป็นช่วงสั้น ๆ ขณะที่พืชยังมีอายุน้อยและมีขนาดเล็ก 2) ระยะที่มีการเพิ่มพูนขนาดอย่างรวดเร็ว (Grand period of growth) เป็นช่วงที่มีอัตราเติบโตอย่างรวดเร็ว และ 3) ระยะที่พืชโตเต็มที่ (Period of maturity) เป็นระยะที่มีอัตราการเติบโตช้าลงแต่เป็นช่วงที่ยาวนานและผันแปรที่สุด เป็นระยะที่พืชมีอายุมากแล้ว สำหรับอ้อยสามารถแบ่งระยะการเติบโตได้เป็น 4 ระยะ คือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. ระยะเริ่มงอก (Germination phase)

การปลูกอ้อยโดยใช้ท่อนพันธุ์ หน่ออ้อยจะงอกออกมาจากส่วนของตาที่อยู่บนข้อของท่อนพันธุ์ ซึ่งใช้เวลาในการงอก 2-3 สัปดาห์ ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของท่อนพันธุ์ ความชื้นและอุณหภูมิของดิน และปัจจัยอื่น ๆ

2. ระยะอ้อยแตกกอ (Tillering phase)

หน่อแรกที่งอกออกมาจากท่อนพันธุ์โดยตรงเรียกว่า หน่อหลัก (Primary stalk) จากนั้นจะมีหน่อชุดที่ 2 (secondary stalk) งอกออกมาจากหน่อหลักได้อีกหลายหน่อ และสามารถมีหน่อชุดที่ 3 (tertiary stalk) งอกออกมาจากหน่อชุดที่ 2 ได้อีกเช่นกัน ระยะที่จะมีการแตกกอมากที่สุดคือช่วงอายุ 2 ถึง 4 เดือน เรียกหน่อของอ้อยที่อยู่ใต้ดินว่าลำต้นใต้ดิน (Underground shoot) หรือเหง้าอ้อย

3. ระยะย่างปล้อง (Stalk elongation phase)

เป็นระยะที่มีการเพิ่มขนาดและความยาวของลำต้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงเดือนที่ 7-8 ที่ใบปกคลุมเต็มพื้นที่ แสงแดดส่องไม่ถึงพื้นดิน ทำให้หน่อที่เกิดขึ้นในช่วงหลังจะอ่อนแอและค่อย ๆ ตายไป ระยะนี้อ้อยจะมีอัตราการเพิ่มมวลชีวภาพรวดเร็วที่สุด (Grand period of growth หรือ boom stage)

4. ระยะสุกแก่ (Maturity and ripening phase)

เป็นระยะที่การยืดตัวของปล้องเริ่มช้าลง และเปลี่ยนไปสะสมน้ำตาลซูโครสในลำต้นมากขึ้น ขณะที่สารอาหารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงถูกนำไปใช้เพื่อการเพิ่มมวลชีวภาพลดลง การสะสมน้ำตาลในลำต้นเกิดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ-ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หรือปริมาณน้ำในดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มวลชีวภาพ

การศึกษามวลชีวภาพคือวิธีการหนึ่งในการศึกษาการเจริญเติบโตของพืช หากติดตามเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องในแต่ละช่วงอายุของการเติบโต จะทำให้ได้ข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโตประจำตัวของพืชนั้นๆ ซึ่งกิตติพงษ์ (2539) กล่าวว่า ผลผลิตมวลชีวภาพในทางชีววิทยาหมายถึงผลผลิตที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการสังเคราะห์แสงและการดูดธาตุอาหารไปใช้เพื่อสร้างส่วนต่างๆ ของพืชสีเขียว โดยผลผลิตส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ บางส่วนหลุดร่วงตายไปและกลายเป็นซากเหลือ บางส่วนถูกทำลายโดยการกัดกินและแทะเล็มของสัตว์ ถูกทำลายโดยแมลงและโรคพืช ส่วนที่เหลืออยู่จะถูกสะสมในรูปของพอลิเมอร์ เช่น เซลลูโลส เมื่อมีการวัดปริมาณผลผลิตออกมาตามเวลา จะเป็นการผลิตมวลชีวภาพต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งเรียกว่า Biomass production หรือ Dry matter production

มวลชีวภาพ (Biomass) หรือ Standing crop หมายถึง มวลของพืชที่วัดออกมาเป็นมวลแห้งหรือมวลที่ปราศจากขี้เถ้า อาจจะเป็นมวลต่อหน่วยของพืช เช่น ต่อต้น หรือต่อหน่วยพื้นที่ดิน ซึ่งเป็นมวลชีวภาพของทั้งกลุ่มหรือสังคมพืช ส่วนมวลชีวภาพในงานวิจัยนี้จะหมายถึงทั้งมวลสดและมวลแห้งของพืชต่อพื้นที่ปลูก การประเมินมวลชีวภาพทำได้สองวิธี (Kira and Shidei, 1967) คือ

1. การวัดมวลบางส่วนของพืชเพื่อหาความสัมพันธ์กับมิติของส่วนใดส่วนหนึ่งของพืช เรียกว่าวิธีการทางแอลโลเมตริก (Algometric method) มีความสัมพันธ์ได้หลายรูปแบบ คือ

Double log model $Y=aX^b$ หรือ $Y=\log a+b\log X$ (1)

Semi-log method $Y=10^{a+bX}$ หรือ $\log y=a+bX$ (2)

โดยที่ Y จะเป็นมวลรวมจากส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ใบ ลำต้น ราก ส่วน X สะท้อนปริมาตรของพืช โดยเป็นค่าผลลัพธ์ของเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นที่ระดับสูงเพียงอกยกกำลังสองคูณความสูงทั้งหมดของต้น (D^bH) ขณะที่ a และ b เป็นค่าคงที่ของสมการ ส่วนใหญ่จะใช้ในการประเมินมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น โดยเขียนให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรงได้ ดังนี้

$$\log(Y) = \log a + \log (D^2H) \quad (3)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การตัดฟันพืช (harvest method) ในช่วงเวลาต่างๆ กัน แล้ววัดปริมาตรหรือชั่งมวลของส่วนต่างๆ ของพืชออกมาเป็นมวลแห้ง (dry mass) คำนวณหามวลแห้งของพืชต่อหน่วยพื้นที่ โดยแยกมวลของลำต้น กิ่ง ก้าน และใบ เพื่อประโยชน์ในการศึกษาการกระจายของมวลชีวภาพ ในส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง และใบ ตามระดับความสูงของต้นไม้

มวลชีวภาพบนผิวดินแบ่งได้เป็น 4 ส่วนคือ

1. Green herbage เป็นส่วนที่ยังเขียวและยังมีชีวิตอยู่ รวมทั้งต้นที่ยอดแห้งแต่ยังมีชีวิตอยู่
2. Cure herbage เป็นพืชที่แห้งตายและรากหยุดการเจริญเติบโต
3. Fresh mulch หรือ Fresh organic material คือซากเหลือของพืชที่อยู่ที่ชั้นบนสุด
4. Humic mulch หรือ decompose litter เป็นส่วนของซากเหลือของพืชที่ผุสลายอยู่กับพื้นดิน

ธาตุอาหารพืช

พืชต้องการปัจจัยการผลิตที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตหลายปัจจัย จึงจะสามารถส่งเสริมให้พันธุกรรมของตัวพืชเองแสดงออกมาได้อย่างเต็มที่ เช่น แสงแดด ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศ ความชื้นของดิน ธาตุอาหารพืชและปัจจัยอื่นๆ ซึ่งมีทั้งปัจจัยที่เกษตรกรสามารถจัดหาให้กับพืชได้ง่ายและได้ด้วยต้นทุนที่สูง

ธาตุอาหารพืช (Plant nutrient) แต่ละชนิดเป็นปัจจัยหนึ่งที่เกษตรกรสามารถจัดหาให้กับพืชได้ง่ายและมีผลต่อการเติบโตของพืชอย่างเห็นได้ชัด เพราะธาตุอาหารพืชจำเป็นต่อการเติบโตให้ครบวงจรชีวิตของพืช ไม่สามารถทดแทนได้ด้วยธาตุอาหารต่างชนิดกันหรือด้วยปัจจัยอื่น ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชทุกชนิดพบว่ามีไม่น้อยกว่า 16 ชนิด ทั้งที่ได้จากอากาศ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน และที่ได้จากดิน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ 1) มหธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และ กำมะถัน 2) ธาตุอาหารพืชรอง ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดินัม คลอไรด์ ในงานทดลองนี้จะกล่าวถึงมหธาตุอาหารพืชเพียง 5 ชนิด ดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หน้าที่ของมหธาตุอาหารพืช

มหธาตุอาหารพืชคือธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นจำนวนมากและมีผลกระทบต่อการเติบโตของพืชโดยตรง ซึ่งธาตุอาหารแต่ละชนิดจะมีบทบาทและหน้าที่ต่อพืชต่างกันดังนี้

ไนโตรเจน

พืชสามารถดูดใช้ไนโตรเจนได้ ทั้งจากทางอากาศในรูปของแก๊ส เช่น NH_3 , NO หรือ NO_2 และจากทางดินโดยผ่านเซลล์ราก ในรูปแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ไนเตรทไอออน (NO_3^-) และกรดอะมิโนจากแบคทีเรียที่อยู่ตามปมรากพืช การดูดซึมธาตุอาหารเป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงาน การดูดซึมไนเตรท 1 mol ต้องใช้ ATP 15 mol และการดูดซึม NH_4^+ 1 mol ต้องใช้ ATP 5 mol เมื่อพืชดูดซึม NH_3 เข้าสู่เซลล์จะถูกรีดิวซ์ให้เป็น NH_4^+ ก่อนแล้วจึงถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอะมิโน พืชดูดใช้ไนโตรเจนเพื่อ 1) เป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโนและโปรตีน 2) เป็นส่วนประกอบของ กรดนิวคลีอิค (DNA และ RNA) และ 3) เป็นส่วนประกอบของฮอร์โมนพืชและสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ พืชที่ขาดธาตุไนโตรเจนจะทำให้อัตราการเติบโตลดลง ส่งผลต่อการเจริญของราก ทำให้มีระยะการเติบโตเร็วขึ้น และใบแก่ซีดเหลืองง่าย (Chlorosis) ถวิล (2522) กล่าวว่าอ้อยต้องการไนโตรเจนในช่วงอายุ 2.5 - 5 เดือน เพื่อการเติบโตและแตกหน่อ แต่หลังจากเดือนที่ 8 ไปแล้วอ้อยจะหยุดการเติบโตและเริ่มสะสมน้ำตาล หากยังได้รับไนโตรเจนต่อไปจะทำให้มีการเติบโตต่อไปได้อีก มีการดึงน้ำเข้าเซลล์ทำให้ลำอวบ ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลซูโครสและคุณภาพลดลง

ฟอสฟอรัส

พืชดูดซึมฟอสฟอรัสได้ในรูปของฟอสเฟสซึ่งมีประจุเป็นลบง่ายที่สุด ได้แก่ HPO_4^{2-} และ H_2PO^{4-} สัดส่วนของ HPO_4^{2-} และ H_2PO^{4-} ในดินขึ้นอยู่กับค่า pH ที่ระดับ pH 5 จะพบ H_2PO^{4-} น้อยมาก แต่ที่ pH 7 จะพบไอออนทั้งสองชนิดเท่าๆ กัน พืชดูดใช้ฟอสเฟสเพื่อ 1) เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างของกรดนิวคลีอิค เยื่อหุ้มเซลล์ (Membrane) ATP และ Coenzyme ต่างๆ 2) มีบทบาทในการเคลื่อนย้ายพลังงานในกระบวนการเมตาบอลิซึมต่างๆ เช่น การสังเคราะห์แป้ง และกระบวนการไกลโคไลซีส 3) มีบทบาทต่ออนินทรีย์ฟอสเฟต (P_i) ซึ่ง P_i ควบคุมการทำงานของเอนไซม์ (Key

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

enzyme) ของบางปฏิกิริยา การขาดฟอสเฟตในอ้อยจะทำให้ความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของลำลดลง ลำเล็ก การแตกหน่อไม่ดี

โพแทสเซียม

พืชดูดซึมโพแทสเซียมในรูป K^+ ซึ่งดูดซึมได้เร็วโดยผ่านสองช่องทางคือ ช่องทางเฉพาะใน Plasmalemma และ Tonoplast การเคลื่อนที่ของ K^+ ขึ้นอยู่กับแรงขับเคลื่อนของพลังงานศักย์ไฟฟ้า K^+ สามารถเคลื่อนที่ในระยะไกลได้ทั้งใน Xylem และ Phloem โพแทสเซียมไอออนมีบทบาทในพืชคือ 1) มีผลต่อการเติบโตของเนื้อเยื่อเจริญ ช่วยในการขยายขนาดของเซลล์ การดึงน้ำเข้าสู่เซลล์ 2) เกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์แสงและการเคลื่อนย้ายสารที่สังเคราะห์ได้ คือ ควบคุมการเปิดและปิดของปากใบ ช่วยในการสังเคราะห์ ATP และคงสภาพโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ ช่วยในกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน และ 3) กระตุ้นกิจกรรมของเอ็นไซม์หลายชนิด การขาดโพแทสเซียมในพืชจะทำให้ใบมีสีเขียวเข้มหรือเขียวม่วง ใบตายเป็นจุดเล็ก ๆ (Necrosis)

แคลเซียม

พืชดูดใช้แคลเซียมในรูปของ Ca^{2+} การดูดซึม Ca^{2+} ของรากจะลดลงถ้ามี K^+ และ NH_2^+ อยู่สูง Ca^{2+} มีบทบาทในการขยายตัวและการแบ่งเซลล์ เป็นองค์ประกอบของเพคตินในผนังเซลล์ ช่วยสร้างสมดุลระหว่างประจุบวกกับประจุลบ การขาดแคลเซียมในพืชจะทำให้ใบเป็นจุดซีด (Chlorotic spot) การเติบโตลดลง พืชไม่แข็งแรง ข้อ-ปล้องหักง่าย

แมกนีเซียม

พืชดูดใช้แมกนีเซียมในรูป Mg^{2+} ถ้ามี K^+ ในปริมาณสูง จะทำให้การดูดซึม Mg^{2+} ลดลง พืชดูดใช้ Mg^{2+} เพื่อ 1) เป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ 2) เป็นตัวเชื่อมการจับตัวระหว่าง ATP และเอนไซม์ต่าง ๆ ช่วยในการเกิดฟอสโฟรีเรชัน (Phosphorelation) ซึ่งเป็นกลไกพื้นฐานในการถ่ายทอดพลังงานและกระบวนการทำงานของเอ็นไซม์ การขาดแมกนีเซียมในพืชจะทำให้ใบอ่อนมีสีซีด ใบแก่จะเหลือง มีจุดใบตายเป็นจุดเล็ก ๆ ใบไม่เติบโต ลำมีสีน้ำตาล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความเข้มข้นและการกระจายตัวของธาตุอาหาร

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในแต่ละส่วนของพืชจะไม่เท่ากัน แตกต่างกันตามชนิด อายุ และชิ้นส่วนต่างๆ ของพืช รวมทั้งปริมาณธาตุอาหารที่พืชได้รับและปัจจัยอื่นด้วย เมื่อรวมข้อมูลจากงานทดลองของปราณี (2548) ศุภฤกษ์ (2547) และอุดมลักษณ์ (2547) ซึ่งได้ศึกษาความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในส่วนใบยอด ใบ กาบใบและลำของอ้อยในหลายช่วงอายุที่ได้รับอัตราปุ๋ยไนโตรเจนแตกต่างกันแต่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในอัตราเดียวกัน ปลูกในดินที่แตกต่างกันและต่างฤดูกาล ดังตารางที่ 1 พบว่า เมื่ออ้อยอายุมากขึ้น ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนและโพแทสเซียมในใบและกาบใบมีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบและกาบใบมีค่าเพิ่มขึ้นแล้วลดลงในช่วงท้าย อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่มีผลทำให้ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบและลำมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ยกเว้นใบยอดที่มีค่าคงที่ แต่ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในแต่ละชิ้นส่วนมีค่าไม่ต่างกัน เพราะได้รับปุ๋ยในอัตราเดียวกัน

จากรายงานของจันทร์สว่าง (ตารางที่ 2) ที่วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในใบอ้อยทุกๆ ช่วงอายุของการเติบโตจำนวน 5 สายพันธุ์ พบว่าค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 1.2-2.16 เปอร์เซ็นต์เชิงมวลแห้ง และมีแนวโน้มว่าค่าความเข้มข้นจะลดลงในช่วงกลางของอายุ แล้วกลับเพิ่มขึ้นในช่วงท้ายแต่ไม่สูงเท่าช่วงแรก

งานวิจัยของสุจิณีย์ (2547) ดังตารางที่ 3 ที่ให้ปุ๋ยเคมีเปรียบเทียบกับการให้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรแก่อ้อย เมื่อเก็บตัวอย่างอ้อยที่อายุ 11-12 เดือน พบว่าความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม ในใบจะมีมากกว่าในลำ ส่วนโพแทสเซียมในลำมีมากกว่าในใบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 การกระจายตัวของความเข้มข้นของธาตุอาหารในแต่ละชิ้นส่วนของอ้อย

อัตราปุ๋ยไนโตรเจน, kg rai^{-1}	อายุอ้อย, เดือน	ความเข้มข้นของธาตุอาหาร, % เชิงมวลแห้ง										
		N			P				K			
		ยอด	ใบ	ลำ	ยอด	ใบ	กาบใบ	ลำ	ยอด	ใบ	กาบใบ	ลำ
8	3-4		1.690			0.223	0.108			1.528	0.964	
	6		1.677			0.197	0.108			1.662	2.781	
	7-8		1.561			0.184	0.036			1.818	2.663	
	10-12	0.475	0.280	0.313	0.105	0.053		0.066	1.245	0.470		0.575
20	3-4		1.755			0.242	0.103			1.582	1.089	
	6		1.755			0.211	0.099			1.668	2.602	
	7-8		1.667			0.174	0.041			1.761	2.371	
	10-12	0.470	0.270	0.344	0.105	0.048		0.063	1.300	0.475		0.605
50	3-4		1.804			0.234	0.101			1.505	1.012	
	6		1.901			0.220	0.111			1.713	2.433	
	7-8		1.746			0.180	0.045			1.755	2.369	
	10-12	0.460	0.305	0.404	0.096	0.046		0.052	1.155	0.410		0.520

หมายเหตุ ช่องว่างคือไม่มีข้อมูล

ที่มา: ดัดแปลงจาก ปราณี (2548) ศุภฤกษ์ (2547) และอุดมลักษณ์ (2547)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในใบอ้อยที่อายุต่างๆ ของการเติบโต

	ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบ, % เชิงมวลแห้ง													
อายุ, เดือน	3	4	5	6	7	8	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5
K88-92	1.97	2.05	1.80	1.46	1.31	1.20	1.53	1.41	1.32	1.31	1.47	2.01	1.94	1.87
K84-200	1.98	2.16	1.78	1.48	1.29	1.23	1.50	1.57	1.40	1.36	1.54	1.69	1.46	1.59
K88-65	2.03	2.03	1.70	1.49	1.30	1.21	1.58	1.43	1.45	1.33	1.53	1.89	1.72	1.84
K89-26	2.01	1.78	1.71	1.53	1.29	1.25	1.63	1.43	1.37	1.38	1.57	1.91	1.63	1.67
Kps89-20	2.01	1.97	1.66	1.40	1.27	1.21	1.58	1.37	1.30	1.31	1.66	2.04	1.81	1.90
ค่าเฉลี่ย	2.00	2.00	1.73	1.47	1.29	1.22	1.56	1.44	1.37	1.34	1.56	1.91	1.72	1.78

ที่มา: ดัดแปลงจาก จันทร์สว่าง (2547)

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในอ้อยที่อายุ 11-12 เดือน ที่ได้รับธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีและน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร

	ความเข้มข้นของธาตุอาหาร, % เชิงมวลแห้ง									
ตำหรับ	N		P		K		Ca		Mg	
	ใบ	ลำ	ใบ	ลำ	ใบ	ลำ	ใบ	ลำ	ใบ	ลำ
ควบคุม	1.288	0.478	0.223	0.130	1.433	1.603	0.123	0.158	0.128	0.083
15 kgN	1.358	0.543	0.235	0.148	0.141	1.543	0.156	0.093	0.129	0.084
ปุ๋ย (15-15-15)	1.370	0.553	0.220	0.123	0.129	1.483	0.197	0.088	0.139	0.077
น้ำเสีย	1.283	0.588	0.230	0.133	0.131	1.725	0.168	0.093	0.146	0.085
น้ำเสียเข้มข้น	1.355	0.540	0.220	0.083	1.403	1.455	0.175	0.088	0.124	0.074
น้ำเสีย+ปุ๋ย	1.320	0.588	0.223	0.108	1.380	1.610	0.174	0.071	0.132	0.074
ค่าเฉลี่ย	1.329	0.548	0.225	0.121	0.770	1.570	0.166	0.099	0.133	0.080
ค่าสูงสุด	1.370	0.588	0.235	0.148	1.433	1.725	0.197	0.158	0.146	0.085
ค่าต่ำสุด	1.283	0.478	0.220	0.083	0.129	1.455	0.123	0.071	0.124	0.074

ที่มา: ดัดแปลงจาก สุจิณีย์ (2547)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณธาตุอาหารในชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อย

หากประเมินความเข้มข้นของธาตุอาหารในอ้อยเพียงอย่างเดียว จะพบว่ามีค่าค่อนข้างแปรปรวน แล้วไม่ได้ประเมินมวลแห้งติดตามไปด้วย จะทำให้ขาดข้อมูลปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในส่วนนั้นๆ ของอ้อย เมื่อมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตออกจากแปลง ปริมาณธาตุอาหารที่ติดอยู่กับผลผลิตลำอ้อยจะถูกนำออกไปด้วย งานทดลองของปราณี (2548) ศุภฤกษ์ (2547) และสุรเดช และคณะ (2542) ดังตารางที่ 4 พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับลำอ้อย คือ 14.17 kgN, 3.0 kgP, 30.41 kgK, 4.15 kgCa และ 2.8 kgMg โดยมีมวลแห้งของลำอ้อยเฉลี่ยเท่ากับ 4.45 ton rai^{-1} ฉะนั้นหากสามารถใส่ปุ๋ยกลับคืนสู่แปลงอ้อยให้ได้เท่ากับปริมาณที่ติดไปกับลำอ้อยก็จะไม่ทำให้ดินและอ้อยที่ปลูกในฤดูถัดไปขาดธาตุอาหาร แต่ก็มีคำถามอยู่ว่าต้องใส่ปุ๋ยเท่าไหร่ที่ช่วงเวลาไหนของการเติบโตของอ้อย ดังนั้นการติดตามเก็บข้อมูลมวลชีวภาพที่ช่วงอายุต่างๆ และวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารควบคู่ไปด้วย จะทำให้สามารถประเมินมวลชีวภาพและปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในแต่ละช่วงอายุของการเติบโต ซึ่งนำไปสู่การประเมินอัตราการเพิ่มมวลแห้งและปริมาณธาตุอาหาร ที่จะบอกถึงอายุที่มีการเติบโตสูงสุดของอ้อยและปริมาณของธาตุอาหารแต่ละชนิดที่อ้อยต้องการใช้เพื่อสร้างผลผลิตแต่ละระดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 ปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับผลผลิตลำอ้อย

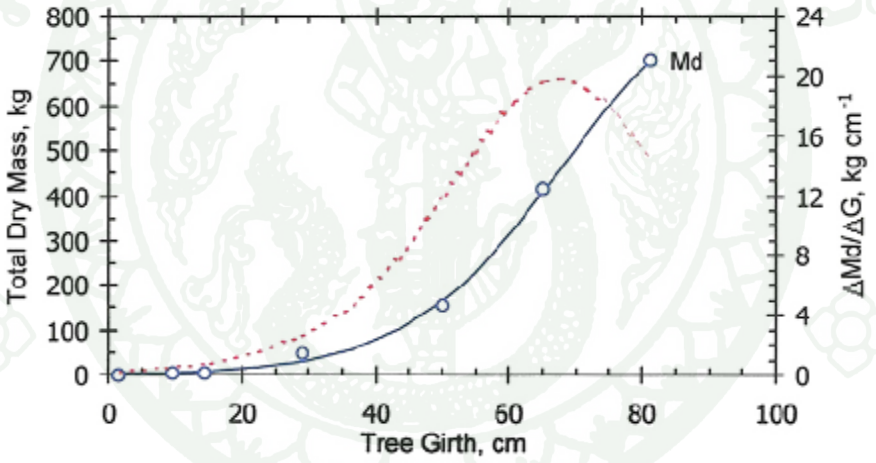
	อัตราปุ๋ยไนโตรเจน, kg rai^{-1}	ผลผลิตอ้อยสด, ton rai^{-1}	ร้อยละมวลแห้ง/มวลสด,%	มวลลำแห้ง, ton rai^{-1}	ปริมาณธาตุอาหารในผลผลิตลำอ้อย, kg rai^{-1}				
					N	P	K	Ca	Mg
• สุรเดช	อ้อยปลูก	-	-	-	8.50	3.70	43.80	2.8	2.3
	อ้อยตอ	-	-	-	6.60	3.80	57.90	5.5	3.3
• ศุภฤกษ์	8	16.88	31.69	5.35	17.59	4.03	20.17	-	-
อ้อยข้ามแล้ง	20	18.64	31.29	5.83	19.61	3.80	21.63	-	-
	50	18.70	30.77	5.75	23.38	3.76	20.51	-	-
	8	13.32	29.70	3.96	16.72	2.77	16.11	-	-
อ้อยต้นฝน	20	15.19	28.65	4.35	20.44	3.10	17.31	-	-
	50	16.48	28.14	4.64	23.42	2.97	18.34	-	-
• ปราณี	8	12.94	23.69	3.07	4.06	1.79	36.50	-	-
เนื้อดิน	20	13.82	24.38	3.37	5.72	1.70	40.47	-	-
ปานกลาง	50	15.72	23.94	3.76	9.87	1.61	41.81	-	-
	ค่าเฉลี่ย	15.74	28.03	4.45	14.17	3.00	30.41	4.15	2.8
	ค่าสูงสุด	18.70	31.69	5.83	23.42	4.03	57.90	5.50	3.3
	ค่าต่ำสุด	12.94	23.69	3.07	4.06	1.61	16.11	2.80	2.3

ที่มา: ดัดแปลงจาก ปราณี (2548) ศุภฤกษ์ (2547) และ สุรเดชและคณะ (2542)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัตราการเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพและปริมาณมหธาตุอาหารพืช

จากงานทดลองของจินตณาและสุนทรี (2544) ที่ศึกษามวลชีวภาพและปริมาณธาตุอาหารหลักของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM 600 โดยการใช้สมการลอจิสติกสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นรอบวงของลำต้นกับมวลแห้ง และใช้อนุพันธ์ของฟังก์ชันประเมินอัตราการเพิ่มพูนมวลแห้ง ดังภาพที่ 1 หลังจากนั้นหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างมวลแห้งกับปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในมวลแห้งของพืชแต่ละช่วงอายุ ซึ่งทำให้สามารถประเมินอัตราการเพิ่มของปริมาณธาตุอาหารตามมวลแห้งได้ โดยจะถือว่าปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นคือปริมาณธาตุอาหารพื้นฐานที่พืชต้องการใช้ วิธีการนี้จะทำให้ประเมินได้ว่าที่อายุต่างๆ พืชมีมวลแห้งเท่าไรและต้องการปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดจำนวนเท่าไรบ้าง



ภาพที่ 1 กราฟที่ได้จากฟังก์ชันลอจิสติก (เส้นทึบ) และอนุพันธ์ (เส้นประ) เทียบกับข้อมูลที่เก็บได้จริง (วงกลม) ของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ในภาคตะวันออก (จินตณาและสุนทรี, 2544)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองประกอบด้วย การประเมินมวลชีวภาพของอ้อยที่อายุต่างๆ จากนั้นจึงส่งตัวอย่างของอ้อยเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช ค่าที่ได้ใช้ประเมินปริมาณธาตุอาหารในอ้อย และวิเคราะห์อัตราการเพิ่มมวลชีวภาพและปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นตามผลผลิตของอ้อย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การศึกษามวลชีวภาพของอ้อย

แผนการทดลอง

ศึกษาการเจริญเติบโตของอ้อย โดยปลูกอ้อยพันธุ์ K95-84 ที่แปลงทดลองของโครงการพัฒนาพันธุ์อ้อย บริษัทน้ำตาลครบุรี จำกัด อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา (14° 29′ 38.008″ N 102° 10′ 14.29″) ปลูกเมื่อปลายเดือนธันวาคม 2551 และเก็บเกี่ยวปลายธันวาคม 2552 โดยอ้อยมีอายุประมาณ 12 เดือน ใช้แม่ปุ๋ยเป็นตัวให้มหธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจนใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 ฟอสฟอรัสใช้สูตร 18-46-0 โพแทสเซียมใช้สูตร 0-0-50 หรือ 0-0-60 ส่วนแมกนีเซียมและแคลเซียมใช้ปูน Dolomite (Ca 30.41%, Mg 21.8%) โดยกำหนดอัตราปุ๋ยจากปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในผลผลิตของอ้อยโดย Hunsiki (1993) เป็นค่าพื้นฐาน (ตารางที่ 5) จากนั้นเพิ่มจำนวนเท่าขึ้น คือ N=3.0 P=3.0 K=3.6 Ca=4.2 Mg=5.0 เท่าจากค่าในตารางที่ 5 เพราะมีการสูญเสียจากการใส่ปุ๋ยได้ จึงต้องใส่ปุ๋ยให้มากกว่าปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในชิ้นส่วนพืช ในการทดลองนี้เลือกระดับผลผลิตที่ 20 ton rai^{-1} ทำให้ได้อัตราปุ๋ยที่ใช้ในงานทดลองดังนี้ 60 kgN, 36 kgP, 144 kgK, 33.6 kgCa และ 25 kgMg ต่อไร่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 ปริมาณธาตุอาหารที่ถูกเคลื่อนย้ายตามผลผลิตของอ้อย

ระดับผลผลิตลำอ้อย, ton rai^{-1}	ปริมาณธาตุอาหารที่ถูกเคลื่อนย้ายตามผลผลิต, kg rai^{-1}				
	N	P	K	Ca	Mg
1	1.0	0.6	2.0	0.4	0.3
6	6.0	3.6	12.0	2.4	1.5
15	15.0	9.0	30.0	6.0	3.8
20	20.0	12.0	40.0	8.0	5.0

ที่มา: ดัดแปลงจาก Hunsiki, 1993

ไถแปรและชักร่องระยะ 1.3 m ปลูกโดยวางท่อนพันธุ์อ้อยเป็นคู่ตามร่อง ตัดท่อนพันธุ์ให้เหลือตา (Bud) 2-3 ตาต่อท่อน ให้น้ำและกลบดิน แบ่งใส่แม่ปุ๋ยแต่ละชนิด 3 ครั้ง อัตรา 10: 30: 60 เปอร์เซ็นต์เชิงมวลของปริมาณปุ๋ยทั้งหมด ดังนี้

ครั้งที่ 1 (10%) ปุ๋ยรองพื้น โรยตลอดแถวแล้วจึงปลูกอ้อย

ครั้งที่ 2 (30%) ปุ๋ยแต่งหน้า ใส่เมื่ออ้อยเข้าสู่ระยะแตกกอ โดยให้น้ำตามร่อง ใส่ปุ๋ยแล้วกลบปุ๋ย เมื่ออ้อยอายุหลังปลูกประมาณ 63 วัน (~2 เดือน)

ครั้งที่ 3 (60%) ปุ๋ยแต่งหน้า ใส่เมื่ออ้อยเข้าสู่ระยะย่างปล้อง โดยให้น้ำตามร่อง ใส่ปุ๋ยแล้วกลบปุ๋ย เมื่ออ้อยอายุหลังปลูกประมาณ 152 วัน (~5 เดือน)

ช่วงเวลาการให้ปุ๋ยใช้ตามวิธีที่แนะนำกันโดยทั่วไปและสอดคล้องกับที่ชาวไร่อ้อยปฏิบัติอยู่

มีการให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด ตามค่าพลังงานกำกับก้อนดิน ที่อ่านได้จากเครื่องวัดค่าแรงดึงน้ำของดิน (Tensiometer) โดยให้น้ำเมื่อค่าพลังงานกำกับก้อนดินที่ระดับความลึก 10 cm อ่านค่าได้ -30 ถึง –40 kPa

การประเมินมวลชีวภาพของอ้อย

มวลชีวภาพของอ้อยได้จากผลรวมของมวลแต่ละชิ้นส่วนของอ้อย ซึ่งได้แบ่งมวลออกเป็นสองส่วนใหญ่ คือ 1) มวลส่วนต้นคือผลรวมของมวลใบยอด (Top leaf), ใบสด (Leaf), ใบแห้งตาย (Dead leaf), กาบใบสด (Leaf sheath), กาบใบแห้งตาย (Dead leaf sheath), ผลผลิตลำอ้อย (Cane

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

yield) และลำส่วนที่เหลือในแปลง (Cane residues) (ซึ่งรวมเป็นลำทั้งหมด, Total cane) และลำต้นใต้ดินหรือเหง้า (Underground shoot) และ 2) มวลส่วนราก (Root) เมื่อรวมมวลทั้ง 2 ส่วนเข้าด้วยกันจะเรียกว่ามวลอ้อยทั้งหมด (Whole plant)

แยกแต่ละชิ้นส่วนของอ้อย ชั่งมวลสดของแต่ละส่วน สุ่มตัวอย่างมวลสดของแต่ละส่วนไปอบให้แห้ง แล้วคำนวณค่าร้อยละมวลแห้งต่อมวลสด คูณค่าที่ได้กับมวลสดทั้งหมดของแต่ละส่วนจะเป็นค่ามวลแห้งทั้งหมดของส่วนนั้น มวลรวมของอ้อยทั้งหมดเป็นผลรวมของมวลแต่ละส่วน ใช้วิธีเดียวกันทั้งมวลสดและมวลแห้ง ดังสมการที่ 4 ทำเช่นนี้ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่างในแต่ละช่วงอายุการเติบโตของอ้อยทุก 30 วัน

$$M_W = M_T + M_L + M_{DL} + M_{LS} + M_{DLS} + M_{CY} + M_S + M_{US} + M_R \qquad (4)$$

เมื่อ M_W = Whole plant mass, M_T = Top leaf mass, M_L = Leaf mass, M_{DL} =Dead leaf mass, M_{LS} =Leaf sheath mass, M_{LS} = Dead leaf sheath mass, M_{CY} = Cane yield mass, M_S = Cane residues mass, M_{US} = Underground mass, M_R = Root mass

รายละเอียดของการเก็บตัวอย่างชิ้นส่วนต่างๆ มีดังนี้

ข้อมูลมวลชีวภาพได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่างอ้อยทั้งหมดในพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาด 0.65 m^2 (ระยะระหว่างต้น 0.5 x ระยะระหว่างแถว 1.3 m^2) แบ่งเป็นส่วนเหนือดิน โดยตัดลำอ้อยที่ระดับผิวดินและขุดเก็บส่วนใต้ดิน คือลำต้นใต้ดิน (เหง้า) และรากอ้อย ของทั้งพื้นที่แต่ละชั้นความลึกทุก 10 cm จนถึง 50 cm โดยมีรายละเอียดในการเก็บตัวอย่างดังนี้

ใบและกาบใบ

ตัดกาบใบที่มีใบที่คลี่เต็มที่แล้วออกจากต้น แยกใบและกาบใบลำดับที่สามจากใบที่เห็นหูใบชัดเจน (3TVD, third Top Visible Dewlap) ของทุกลำให้เป็นตัวอย่างสุ่ม ชั่งมวลสด อบให้แห้งแล้วชั่งมวลแห้ง เพื่อประเมินค่าร้อยละมวลแห้งต่อมวลสด จากนั้นตัดแยกใบและกาบใบของส่วนที่เหลือออกจากกันให้หมด เลือกใบที่สมบูรณ์ไม่ขาดแหว่งประมาณ 20 ใบ ชั่งมวลแต่ละใบ วัดพื้นที่แต่ละใบนั้น เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างมวลของใบกับพื้นที่ ความกว้าง และความยาวของใบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใบยอด

เมื่อแยกใบและกาบใบออกไปหมดแล้วจะเหลือส่วนใบยอดและลำ กำหนดให้ส่วนปลายสุดของลำที่ไม่เห็นข้อ-ปล้องชัดเจนแล้วเป็นส่วนใบยอด ชั่งมวลสด นำไปอบให้แห้งและหาค่าร้อยละมวลแห้งต่อมวลสด

ลำ

คือส่วนที่เหลืออยู่เมื่อแยกใบ กาบใบ และใบยอดออกไปหมดแล้ว วัดความยาวลำ เส้นผ่านศูนย์กลาง และเส้นรอบวงของแต่ละลำ ชั่งมวลสดแต่ละลำ เลือกลำหลักที่มีขนาดใหญ่ที่สุด แบ่งลำด้วยสายตาเป็นส่วนโคน กลาง และปลายของลำ แยกส่วนข้อและปล้องโดยตัดลำอ้อยส่วนนั้น ๆ ยาวประมาณ 5 cm ตัวอย่างสุ่ม 1 ตัวอย่างจะประกอบด้วยข้อและปล้องจาก 3 ส่วนของ 1 ลำ ชั่งมวลสด นำไปอบให้แห้ง ประเมินค่าร้อยละมวลแห้งต่อมวลสด

เนื่องจากว่าลำที่ประเมินได้ในแต่ละช่วงอายุคือลำทั้งหมดซึ่งไม่ใช่ลำที่ถูกเก็บเกี่ยวไปเป็นผลผลิต เพราะฉะนั้นเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตลำอ้อยที่อายุ 12 เดือน จึงได้คำนวณค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว (Harvesting index) ที่เป็นสัดส่วนของผลผลิตมวลสดของลำอ้อยต่อมวลสดส่วนเหนือดินทั้งหมด เพื่อใช้ประเมินผลผลิตลำอ้อยในแต่ละช่วงอายุ

$$\text{ดัชนีเก็บเกี่ยว} = \frac{\text{ผลผลิตลำสดอ้อย, ton rai}^{-1}}{\text{มวลสดส่วนเหนือดิน, ton rai}^{-1}} \quad (5)$$

ผลผลิตลำอ้อยในแต่ละช่วงอายุ = (มวลสดส่วนเหนือดิน x ดัชนีการเก็บเกี่ยว) (6)

รากและลำต้นใต้ดิน(เหง้า)

แยกรากและเหง้าของอ้อยแต่ละระดับความลึกล้างให้สะอาด เหง้าจะอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 20 cm แยกรากที่ติดอยู่กับเหง้ารวมเป็นรากชั้น 20 cm ผึ่งให้หมาดแล้วชั่งมวลสดแต่ละส่วน สุ่มตัวอย่างเหง้าที่สมบูรณ์และราก ชั่งมวลสด อบให้แห้ง ประเมินสัดส่วนร้อยละของมวลแห้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต่อมวลสด เมื่อหารมวลของรากด้วยปริมาตรของดินในแต่ละชั้น จะได้ความหนาแน่นของราก ($g\ m^{-3}$)

ใช้ทุกตัวอย่างสุ่มของแต่ละชิ้นส่วนที่ใช้ประเมินค่าร้อยละมวลแห้งต่อมวลสด ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของมหธาตุอาหารทั้ง 5 ชนิด

ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในอ้อย

เก็บตัวอย่างจากส่วนใบ กาบใบ ลำ เหง้า และรากของอ้อย ซึ่งเป็นตัวอย่างเดียวกันกับที่ประเมินค่าร้อยละมวลแห้งต่อมวลสดที่เก็บตัวอย่างทุกเดือนของการเติบโต เริ่มจากอายุ 90 วันถึง 360 วัน รวม 10 ครั้ง วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช โดยสาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การคำนวณค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของตัวอย่างมีอยู่ 2 วิธี ขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวอย่าง ดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต [$\bar{c} = \frac{\sum c_i}{n}$] เป็นการให้น้ำหนักของแต่ละค่าเท่ากัน ตัวหารจึงเป็นจำนวนของตัวอย่าง (n) ใช้คำนวณค่าเฉลี่ยในกรณีที่ตัวอย่างมีลักษณะเดียวกัน เช่น ใบจากหลายๆ ลำในพื้นที่สุ่มเดียวกัน หรือลำของอ้อยจากหลายหน่อในพื้นที่สุ่มเดียวกัน

2) ค่าเฉลี่ยเชิงมวล [$\bar{c}_m = \frac{\sum c_i Md_j}{\sum Md_j}$] เป็นการถ่วงน้ำหนักตามสัดส่วนของมวล ใช้ในกรณีที่ตัวอย่างมาจากหลายชิ้นส่วนของพืชในต้นเดียวกัน เช่น ใบ กาบใบ ลำต้น ราก เพื่อประเมินเป็นค่าเฉลี่ยความเข้มข้นรวมของมวลอ้อยทั้งหมด โดยที่ c_j เป็นความเข้มข้นของตัวแทนชิ้นส่วนพืชที่มีมวลแห้ง Md_j

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประเมินปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในอ้อย

ปริมาณธาตุอาหารชนิดหนึ่งที่ปรากฏในอ้อย (N_i) คือผลคูณระหว่างมวลแห้งของแต่ละชิ้นส่วนพืช (Md_j) กับความเข้มข้นเชิงมวลแห้งของธาตุอาหารชนิดต่างๆ ของชิ้นส่วนพืชนั้น ดังสมการ

$$N_i = Md_j \times C_i \tag{7.1}$$

$$N_i\left(\frac{kg}{rai}\right) = Md_j\left(\frac{ton}{rai}\right) \times \frac{1000kg}{ton} \times c_i(\%) \times \frac{g}{100g} \tag{7.2}$$

ดัชนีล่าง i คือธาตุอาหารแต่ละชนิด ได้แก่ N, P, K, Ca และ Mg

ปริมาณธาตุอาหารรวมทั้งหมดแต่ละชนิดนั้นเป็นผลรวมของปริมาณธาตุอาหารชนิดนั้นที่ปรากฏในแต่ละชิ้นส่วนของอ้อย ดังสมการ

$$N_{Wi} = N_{Li} + M_{DLi} + N_{LSi} + N_{DLSi} + N_{CYi} + N_{CRi} + N_{USi} + N_{Ri} \tag{8}$$

เมื่อ N_{Wi} = ปริมาณธาตุอาหารชนิด i รวมทั้งหมด, kg rai^{-1}

N_{Li} = ปริมาณธาตุอาหารชนิด i ของส่วนใบสด, kg rai^{-1}

N_{DLi} = ปริมาณธาตุอาหารชนิด i ของส่วนใบแห้งตาย, kg rai^{-1}

N_{LSi} = ปริมาณธาตุอาหารชนิด i ของส่วนกาบใบสด, kg rai^{-1}

N_{DLSi} = ปริมาณธาตุอาหารชนิด i ของส่วนกาบใบแห้งตาย, kg rai^{-1}

N_{CYi} = ปริมาณธาตุอาหารชนิด i ของส่วนผลผลิตลำอ้อย, kg rai^{-1}

N_{CRi} = ปริมาณธาตุอาหารชนิด i ของส่วนลำอ้อยที่เหลือ, kg rai^{-1}

N_{USi} = ปริมาณธาตุอาหารชนิด i ของส่วนเหง้า, kg rai^{-1}

N_{Ri} = ปริมาณธาตุอาหารชนิด i ของส่วนราก, kg rai^{-1}

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัตราการเพิ่มของมวลชีวภาพ

การเพิ่มขึ้นของมวลเกี่ยวข้องกับมวลเริ่มต้น ซึ่งมีการเพิ่มเป็นแบบอัตราก้าวหน้าตามอายุหรือตามมวลแห้ง ลักษณะการเติบโตของสิ่งมีชีวิตเช่นนี้ มีลักษณะเป็นฟังก์ชันลอจิสติก (Logistic function) คือเส้นกราฟของการเติบโตมีลักษณะเป็น รูปตัว S หรือ sigmoid curve การใช้ฟังก์ชันลอจิสติกอธิบายการเติบโตของพืชจะได้กราฟที่มีความต่อเนื่องของข้อมูลดีกว่าใช้สมการเชิงเส้นตรง

มวลของอ้อยทั้งหมดที่อายุหนึ่งๆ สามารถอธิบายด้วยสมการลอจิสติกสำหรับความสัมพันธ์ ระหว่างมวลแห้งของอ้อยกับอายุได้ดังสมการ

$$Md = \frac{Md_o\, Md_m}{Md_o + (Md_m - Md_o)e^{-\alpha t}} \tag{9}$$

เมื่อ Md = มวลแห้งของอ้อย, ton rai^{-1}

Md_o = มวลแห้งเริ่มต้นเมื่ออ้อยอายุยังน้อย, ton rai^{-1}

Md_m = มวลแห้งสูงสุดเมื่ออ้อยอายุมาก, ton rai^{-1}

α = ค่าคงที่ที่สะท้อนการเปลี่ยนแปลงมวล (Absolute growth rate), day^{-1}

t = อายุ, day

Md = มีความหมายเป็นได้ทั้งมวลอ้อยทั้งหมดหรือมวลผลผลิตลำอ้อยซึ่งจะเขียนระบุแต่ละกรณี

อนุพันธ์ของสมการคืออัตราการเพิ่มของมวลชีวภาพต่ออายุที่เพิ่มขึ้น ดังสมการ

$$\frac{d}{dt}(Md) = \frac{mn\alpha e^{\alpha t}}{(Md_o + ne^{-\alpha t})^2} \tag{10}$$

เมื่อ $m = Md_o \times Md_m$

$n = Md_m - Md_o$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่า Md_o, Md_m และ α ของสมการลอจิสติก สามารถคำนวณได้โดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel เมนู Solver

การเติบโตของอ้อยและสภาพแวดล้อมที่ปลูกอ้อย

วัดข้อมูลพื้นฐานการเติบโตของอ้อย ในสองส่วนคือส่วนที่เป็นการเจริญเติบโตของอ้อย และสภาพแวดล้อมที่อ้อยเติบโต

การเติบโตของอ้อยพันธุ์ K95-84

ติดตามเก็บข้อมูลตั้งแต่อ้อยมีอายุ 90 วัน จนกระทั่งเก็บเกี่ยวที่อายุประมาณ 360 วันโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ความสูงของต้น

เป็นความสูงจากระดับผิวดินจนถึงจุดที่เห็น TVD (Top Visible Dewlap) ชัดเจน

ค่าดัชนีความเขียวใบ (SPAD index) และปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบ

เลือกลำหลักที่สมบูรณ์ที่สุดจากตัวอย่างที่ใช้วัดมวลชีวภาพ วัดค่าดัชนีความเขียวของทุกใบที่ยังเขียวอยู่ ด้วยเครื่อง Chlorophyll meter (รุ่น SPAD 502 บริษัท Minolta Camera, Japan) จากนั้นเจาะแผ่นใบเป็นวงกลมขนาด 0.25 mm^{-2} แช่ในสารละลาย DMF (N, N-Dimethyl formamide) เก็บในที่มืดและอุณหภูมิเย็นจนใบซีดไม่มีสีเขียวเหลืออยู่ นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 647 และ 664 nm ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น DU 530 บริษัท Beckman Coulter Inc., U.S.A.) คำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (chl a) คลอโรฟิลล์บี (chl b) และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (chl total) ดังสมการ

$$Chla = \left[(-2.99 \times A647) + (12.64 \times A664)\right] \times Vol / (X \times Area \times 100) \quad (11)$$

$$Chlb = \left[(23.26 \times A647) - (5.6 \times A664)\right] \times Vol / (X \times Area \times 100) \quad (12)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$Chl\,total = Chl\,a + Chl\,b \quad (13)$$

เมื่อ *Chl a, Chl b และ Chl total* คือปริมาณคลอโรฟิลล์ชนิดต่างๆ, g m^{-2}

A647 คือ ค่าการดูดกลืนช่วงแสงที่ความยาวคลื่น 647 nm, ค่าสัดส่วน

A664 คือ ค่าการดูดกลืนช่วงแสงที่ความยาวคลื่น 664 nm, ค่าสัดส่วน

Val คือ ปริมาตรของสารละลาย DMF ที่ใช้สกัด, ml Vol

X คือ สัดส่วนการเจือจางสารละลาย (เท่ากับปริมาตรสารละลายเริ่มต้นหารด้วยปริมาตรสารละลายหลังจากมีการเจือจางแล้ว ใช้เมื่อสารสกัดครั้งแรกมีความเข้มข้นสูงเกินไปจนอ่านค่าดูดกลืนแสงได้เกิน 0.8) ในที่นี้ใช้ค่าเท่ากับ 1

Area คือพื้นที่ของใบที่ใช้สกัด, cm^2

ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าดัชนีความเขียวใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ต่างๆ ที่ได้จะใช้ประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ จากการวัดค่าดัชนีความเขียวใบ ทำให้สามารถประเมินได้รวดเร็วโดยไม่ต้องเจาะใบไปสกัดคลอโรฟิลล์ใหม่ทุกครั้ง

พื้นที่ใบ

สุ่มตัวอย่างใบที่มีความสมบูรณ์จำนวนหนึ่ง ชั่งมวลสดแต่ละใบ จากนั้นวัดพื้นที่แต่ละใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ (รุ่น LI 3100 บริษัท Licor Inc., U.S.A.) ที่ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (รุ่น LI 3000A) ซึ่งสามารถบันทึกค่าความกว้างเฉลี่ยของทั้งใบ (W_{Lavg}) ความกว้างสูงสุดของใบ (W_{Lmax}) และความยาวใบ (L_L) ได้ วิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างมวลสดของใบกับพื้นที่ของแต่ละใบโดยใช้รูปสมการเชิงเส้นตรง $Y=a+bX$ เมื่อ Y คือพื้นที่ใบของแต่ละใบมีหน่วยเป็น cm^2 ส่วน X คือ มวลสดของใบแต่ละใบมีหน่วยเป็น g ความสัมพันธ์ที่ได้จะใช้คำนวณหาพื้นที่ใบทั้งต้นจากมวลสดของใบทั้งต้น ดังสมการ

$$A_L = a + bMf_L \quad (14)$$

เมื่อ A_L = พื้นที่ของใบ, cm^2

Mf_L = มวลสดของใบ, g

a = ค่าคงที่ของสมการ, cm^2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

b = ค่าคงที่ของสมการ, $cm^2\ g^{-1}$

วิเคราะห์การเติบโตของอ้อยด้วยพารามิเตอร์ของพื้นที่ใบและมวลได้ดังนี้

Leaf area ratio (LAR) คือสัดส่วนระหว่างพื้นที่ใบทั้งหมดกับมวลแห้งทั้งหมดของอ้อย ($m^2\ kg^{-1}$) ดังสมการ

$$LAR = \frac{A_{WL}}{Md_W} \tag{15}$$

เมื่อ A_{WL} = พื้นที่ใบทั้งหมด, m^2

Md_W = มวลแห้งของอ้อยทั้งหมด, kg

Leaf area index (LAI) คือสัดส่วนระหว่างพื้นที่ใบทั้งหมดกับระยะปลูกอ้อย (m^2m^{-2}) ดังสมการ

$$LAI = \frac{A_{WL}}{P} \tag{16}$$

เมื่อ P = ระยะระหว่างต้น x ระยะระหว่างแถว, m^2

ในการศึกษานี้วัดดัชนีพื้นที่ใบสองวิธีคือ ค่าผลหารของพื้นที่ใบทั้งหมดกับพื้นที่ปลูก ดังสมการที่ 16 และวัดโดยใช้เครื่องวัดดัชนีพื้นที่ใบ (รุ่น LAI 2000 บริษัท Licor Inc., U.S.A.) ซึ่งจะให้ค่าดัชนีพื้นที่ใบมาโดยตรง โดยใช้หัววัดแสงของเครื่องวัดเปรียบเทียบระหว่างแสงที่ถูกปกคลุมด้วยใบอ้อยในแปลงเปรียบเทียบกับแสงข้างนอกที่ไม่มีอะไรปกคลุมอยู่วัด วัดแสงข้างนอก 1 จุด แล้ววัดแสงในร่องปลูกระหว่างอ้อยแต่ละแถว 4 จุดต่อหนึ่งแถว ทำเช่นนี้จำนวน 4 แถว โดยวางหัววัดแสงที่ระดับผิวดินและเลือกแถวตรงกลางของแปลงปลูก วัดต่อเนื่องทุกช่วงการเติบโตของอ้อย

Specific leaf area (SLA) คือสัดส่วนระหว่างพื้นที่ใบทั้งหมดกับมวลแห้งของใบทั้งหมด ($m^2\ g^{-1}$) ใช้แสดงการสะสมมวลของใบ ดังสมการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$SLA = \frac{A_{WL}}{Md_{WL}} \quad (17)$$

เมื่อ Md_{WL} = มวลแห้งของใบทั้งหมด, g

Specific leaf mass (SLM) คือสัดส่วนระหว่างมวลแห้งของใบทั้งหมดกับพื้นที่ใบ (g m^{-2}) เป็นส่วนกลับของ SLA ดังสมการ

$$SLM = \frac{Md_{WL}}{A_{WL}} \quad (18)$$

Leaf mass ratio (LMR) คือสัดส่วนระหว่างมวลแห้งใบทั้งหมดกับมวลแห้งทั้งหมดของอ้อย (kg kg^{-1}) ดังสมการ

$$LMR = \frac{Md_{WL}}{Md_W} \quad (19)$$

สารละลายน้ำคั้นจากลำอ้อย

เลือกลำหลักที่สมบูรณ์ที่สุด สุ่มเลือกลำอ้อยส่วนโคน กลาง และปลาย ตัดเป็นชิ้นยาวประมาณ 5 cm ปลอกเปลือกอ้อยออก ผ่าเป็นชิ้นตามยาวนำส่วนกลางของชิ้นส่วน บรรจุในหลอดยางปิดด้วยจุกยางให้สนิท แช่ในไนโตรเจนเหลวประมาณ 2 นาที คั้นด้วยเครื่องบดตัวอย่าง วัดค่าพารามิเตอร์ดังนี้ (รายงานผลไว้ที่ภาคผนวก)

ค่าบริกซ์ (Brix, g/100g)

วัดด้วยเครื่อง Digital pocket refractometer (บริษัท Spectrum Technologies Inc., U.S.A.)

ค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลายทั้งหมด (Cs, Total solute concentration, mmol kg^{-1})

วัดด้วยเครื่อง Osmometer (รุ่น Vapro 5520 บริษัท Wescor Inc., U.S.A.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย (pH)

วัดด้วยเครื่อง Cardy Twin pH meter (บริษัท Spectrum Technologies Inc., U.S.A.)

ค่าการนำไฟฟ้า (EC, mS cm^{-1})

วัดด้วยเครื่อง Cardy Twin EC meter (ยี่ห้อ HORIBA, บริษัท Spectrum Technologies Inc., U.S.A.)

องค์ประกอบของผลผลิต

สุ่มอ้อยเป็นพื้นที่ 6.5 m^2 เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่ออ้อยอายุ 12 เดือน ชั่งมวลลำและนับจำนวนลำ คำนวณผลผลิตต่อไร่ (ton rai^{-1}) จำนวนลำต่อไร่(cane rai^{-1}) และมวลของลำดังนี้

$$\text{ผลผลิต (ton rai}^{-1}) = \frac{\text{ผลผลิตแปลงย่อย (ton)}}{\text{พื้นที่แปลงย่อย (rai)}} \quad (20)$$

$$\text{จำนวนลำต่อไร่ (cane rai}^{-1}) = \frac{\text{จำนวนลำในแปลงย่อย (cane)}}{\text{พื้นที่แปลงย่อย (rai)}} \times 1600 \quad (21)$$

$$\text{มวลลำ (kg cane}^{-1}) = \frac{\text{ผลผลิตแปลงย่อย (ton)}}{\text{จำนวนลำต่อแปลงย่อย (Number of cane)}} \quad (22)$$

ค่า C.C.S (Commercial Cane Sugar)

วิเคราะห์โดยแผนกเครื่องมือวัดของ บริษัท น้ำตาลครบุรี จำกัด โดยใช้สมการ

$$C.C.S = 0.9433\ \mathrm{P}\ \frac{(100-\mathrm{F})}{100} - 0.5\left[\left(0.966\,B\,\frac{(100-\mathrm{F})}{100}\right) - \left(0.943\mathrm{P}\ \frac{(100-\mathrm{F})}{100}\right)\right] \quad (23)$$

มีวิธีการวัดดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

B คือ ค่าบริกซ์ (Brix) เป็นค่าร้อยละเชิงมวลของของแข็งที่ละลายน้ำ (น้ำตาลและสิ่งเจือปน) ที่มีอยู่ในน้ำอ้อย วัดด้วยเครื่อง Refractometer รุ่น ATR-S (บริษัท SCHMIDT+HAENSCH GmbH & Co., Germany)

P คือ ค่าโพลาริตี้ (Polarity) เป็นค่าร้อยละเชิงมวลโดยประมาณซึ่งสัมพันธ์กับค่าของน้ำตาลซูโครสที่วัดด้วยเครื่องโพลาริมิเตอร์ (Polarimeter รุ่น Saccharomat ที่ความยาวคลื่น 587 nm) (บริษัท SCHMIDT+HAENSCH GmbH & Co., Germany)

F คือ ค่าเส้นใย (Fiber) เป็นค่าร้อยละเชิงมวลของกากอ้อย วัดโดยเก็บตัวอย่างกากอ้อยที่ได้หลังจากหีบเอาน้ำอ้อยออกแล้ว นำใส่ถุงผ้าอบแห้งที่ชั่งมวลแล้ว ชั่งมวลสดของตัวอย่างกากอ้อย จากนั้นล้างโดยให้น้ำไหลผ่านเป็นเวลา 1 h แล้วต้มที่อุณหภูมิ 70C เป็นเวลา 1 h เพื่อชะล้างของแข็งที่ละลายอยู่ในกากอ้อย (น้ำตาลเป็นส่วนใหญ่) ออกจนหมด อบที่อุณหภูมิ 105C ชั่งมวลแห้งของตัวอย่างอีกครั้งหนึ่ง ค่าเส้นใยคำนวณได้ดังสมการ

$$\text{ค่าเส้นใย (\%เชิงมวลแห้ง)} = \frac{\text{มวลแห้งของกากอ้อย} \times 100}{\text{มวลสดของกากอ้อย}} \quad (24)$$

ข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ปลูกอ้อย

ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หัววัดความเข้มแสงในช่วงที่พืชใช้สังเคราะห์แสง (PPF) และถังวัดปริมาณน้ำฝน โดยต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Datalogger model 450 บริษัท Spectrum Technologies Inc., U.S.A.) ให้บันทึกข้อมูลทุก 15 นาที และติดตั้งเครื่องวัดแรงดึงน้ำของดิน 2 ชนิด คือ 1) Watermark ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Datalogger model 400) ตั้งให้อ่านค่าทุก 15 นาที และ 2) Tensiometer (บริษัท SoilMoisture Equipment Corp., U.S.A.) โดยจดบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงทุกวันที่เวลาประมาณ 8.30 น. ติดตั้งที่ระดับความลึก 10, 30 และ 60 cm ในแปลงทดลองเป็นบริเวณ 2 จุด (รายงานผลไว้ที่ภาคผนวก)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผลการศึกษาจะอธิบายเป็น 4 ส่วนคือ 1) มวลชีวภาพ 2) ความเข้มข้นของธาตุอาหาร 3) ปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในอ้อย และ 4) อัตราการเพิ่มของมวลแห้งและปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดในแต่ละช่วงอายุของอ้อย

มวลชีวภาพ

ติดตามเก็บข้อมูลมวลชีวภาพซึ่งหมายถึงทั้งมวลสดและมวลแห้งของแต่ละส่วนของอ้อย ค่ามวลรวมของอ้อยทั้งหมด คือผลรวมของมวลทุกส่วนเข้าด้วยกัน และเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับใบอ้อยเป็นข้อมูลต่อเนื่องตามการเติบโตของอ้อยทุกอายุ 1 เดือน จนถึงเก็บเกี่ยวอายุ 12 เดือน

มวลสดและมวลแห้งของอ้อยทั้งหมด

ข้อมูลมวลชีวภาพของอ้อยในแต่ละช่วงอายุ (ตารางที่ 6 และภาพที่ 2A) พบว่าการสร้างมวลแห้งของอ้อยจะเพิ่มขึ้นตามอายุ อ้อยมีมวลแห้งรวมทั้งหมดสูงสุดที่ 16.2 ton rai^{-1} และมีความสูงของต้น 357.5 cm อ้อยมีมวลแห้ง 18-31 เปอร์เซ็นต์ของมวลสดหรือมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในอ้อย 69-82 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่างๆของอ้อย พบว่ามวลลำคือมวลที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด (ตารางที่ 7 และภาพที่ 2A-B) ขณะที่มวลส่วนใบและกาบใบสดมีค่าลดลง เพราะเปลี่ยนไปเป็นมวลแห้งของใบและกาบใบที่แห้งตายแต่ยังติดอยู่กับต้น (ภาพที่ 2C-D) ค่าสัดส่วนมวลแห้งของต้นต่อราก (Shoot to Root ratio) มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุ ซึ่งหมายความว่าอ้อยได้สร้างมวลแห้งส่วนต้นเพิ่มขึ้นมากกว่าส่วนราก ค่าสัดส่วนนี้มีระดับสูงถึง 45 เท่าที่อ้อยอายุ 8 เดือน

การแจกแจงแบ่งส่วนมวลแห้ง (Dry mass partition) ของอ้อยเปรียบเทียบระหว่างมวลแห้งแต่ละส่วนกับมวลแห้งรวมทั้งหมดของอ้อย ดังตารางที่ 8 และภาพที่ 3 พบว่าอ้อยจะจัดแบ่งส่วนมวลแห้งไว้ที่ลำสูงสุดถึง 77 เปอร์เซ็นต์ของมวลแห้งรวมทั้งหมด ขณะอ้อยมีอายุเก็บเกี่ยวที่อายุ 12

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

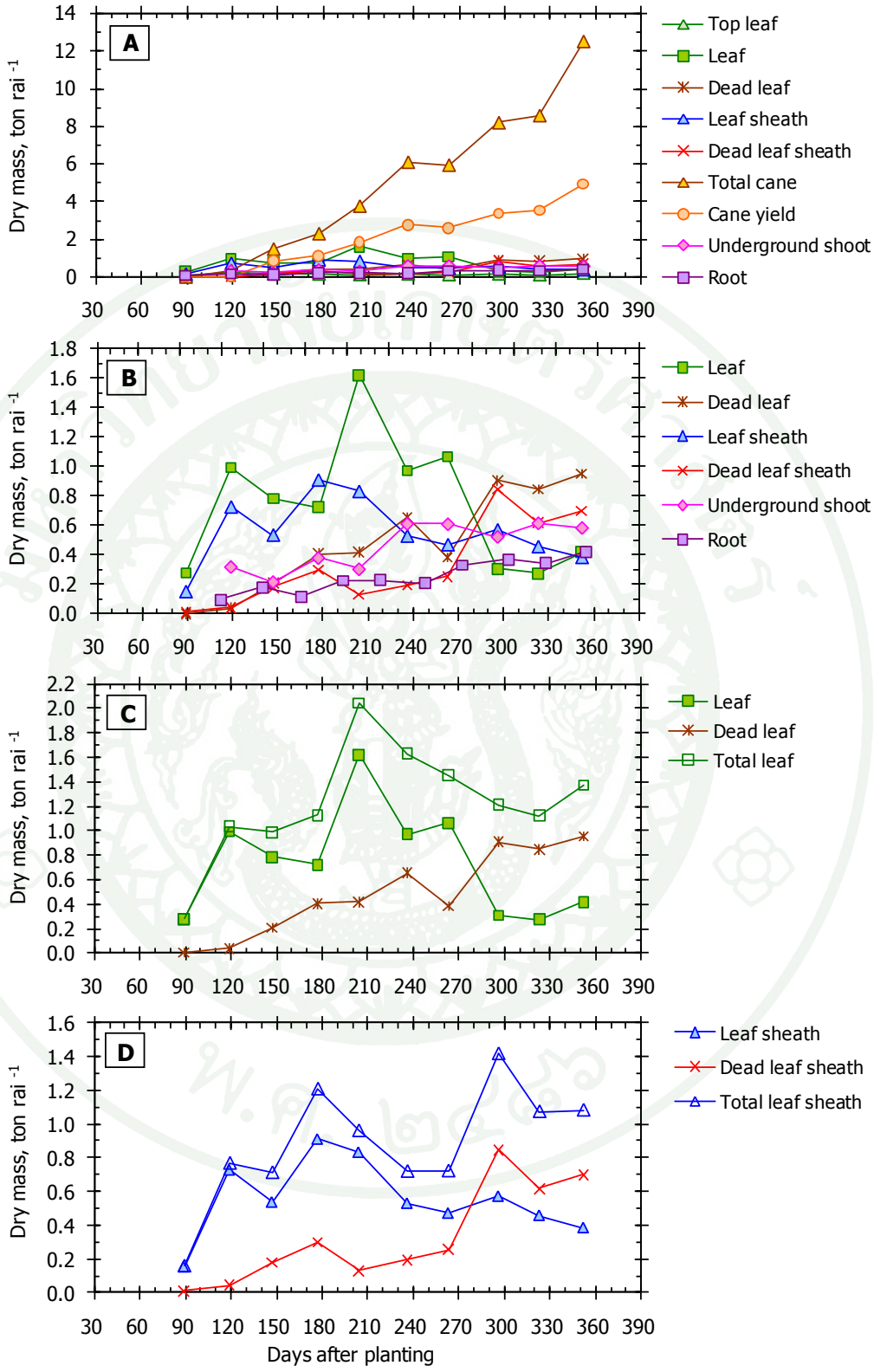
เดือน มวลแห้งในส่วนอื่น คือ ใบยอด ใบสด กาบใบสด เหง้า และรากจะถูกแบ่งส่วนลดลงเมื่ออ้อยมีอายุมากขึ้น ยกเว้นส่วนใบและกาบใบแห้งตายจะมีการแบ่งสัดส่วนเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 9 แสดงข้อมูลสัดส่วนร้อยละของมวลแห้งต่อมวลสดของแต่ละส่วน พบว่าอ้อยมีค่าร้อยละมวลแห้งต่อมวลสดเฉลี่ยดังนี้ รากร้อยละ 39, ใบสด 31, เหง้า 28 และกาบใบสด 25 ส่วนที่มีค่าน้อยคือ ใบยอดมีค่าร้อยละ 20 และลำ 19 หรือกล่าวได้ว่าแต่ละส่วนของอ้อยมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 61-81

ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์การเติบโตของมวลอ้อยทั้งหมดพันธุ์ K95-84

Parameters	Days after planting										
	89	119	147	177	204	236	263	296	323	352	Avg
Height (H), m		6.0	1.3	1.7	2.1	2.5	2.8	2.9	3.3	3.6	-
Whole fresh mass (Mf_W), ton rai^{-1}	2.2	14.7	20.0	26.1	33.4	39.3	37.3	42.7	38.2	51.8	-
Whole dry mass (Md_W), ton rai^{-1}	0.6	2.9	3.7	5.4	7.4	9.4	9.2	11.9	11.9	16.2	-
Cane yield fresh mass (Md_{CY}), ton rai^{-1}	0.7	4.4	6.7	8.5	11.1	12.7	11.9	13.9	12.3	17.1	-
Md_W / Mf_W, %	28.0	19.9	18.4	20.7	22.2	24.0	24.6	27.9	31.0	31.2	24.8
Mf_{CY} / Mf_W, %	30.4	30.1	33.2	32.6	33.1	32.4	31.9	32.6	32.2	33.0	32.1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับมวลแห้งชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อย A) ข้อมูลทุกส่วน B) ข้อมูลทุกส่วนยกเว้นลำ และ C-D) เปรียบเทียบมวลแห้งระหว่างใบ-กาบใบสดและที่แห้งตาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

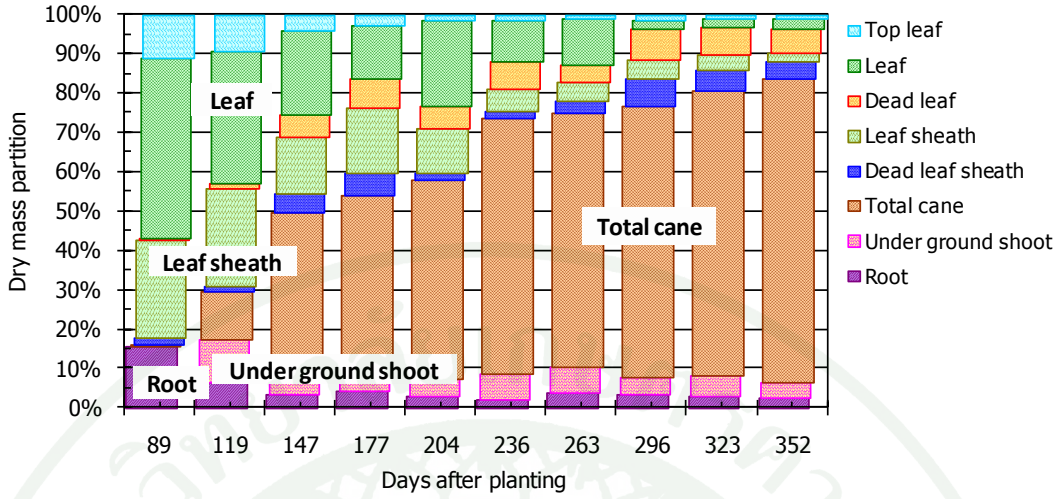
ตารางที่ 7 มวลแห้งของแต่ละชิ้นส่วนของอ้อย (ton rai^{-1}) ที่อายุต่างๆ

	Days after planting									
	89	119	147	177	204	236	263	296	323	352
Plant parts	Dry mass, ton rai^{-1}									
Top	0.1	0.30	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2
Leaf	0.3	1.0	0.8	0.7	1.6	1.0	1.1	0.3	0.3	0.4
Leaf sheath	0.2	0.7	0.5	0.9	0.8	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4
Dead leaf	0.002	0.04	0.2	0.4	0.4	0.7	0.4	0.9	0.8	1.0
Dead leaf sheath	0.01	0.04	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3	0.8	0.6	0.7
Total cane	0.002	0.4	1.5	2.3	3.8	6.1	6.0	8.2	8.6	12.5
Underground shoot		0.3	0.2	0.4	0.3	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6
Sum shoot	0.5	2.8	3.6	5.2	7.2	9.2	8.9	11.5	11.5	15.8
Root	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4
Cane yield			0.8	1.1	1.9	2.8	2.6	3.4	3.5	4.9
Shoot to Root ratio, ton ton^{-1}	5.3	14.8	27.2	20.0	29.0	40.5	24.8	26.4	29.2	33.4

ตารางที่ 8 การแจกแจงแบ่งส่วนมวลแห้ง ($Md_i x100/Md_w$) ของแต่ละชิ้นส่วนเปรียบเทียบกับมวลแห้งรวมทั้งหมดของอ้อยที่อายุต่างๆ

	Days after planting									
	89	119	147	177	204	236	263	296	323	352
Plant parts	Dry mass partition, %									
Top	10.9	9.3	4.3	2.8	1.7	1.7	1.3	1.3	0.9	1.3
Leaf	46.0	33.9	21.2	13.4	21.8	10.3	11.6	2.6	2.3	2.6
Leaf sheath	24.9	24.8	14.5	16.9	11.2	5.6	5.1	4.8	3.8	2.4
Dead leaf	0.3	1.3	5.6	7.5	5.6	6.9	4.2	7.6	7.1	5.9
Dead leaf sheath	1.9	1.4	4.8	5.5	1.7	2.0	2.8	7.1	5.2	4.3
Cane yield	15.5	16.8	23.0	20.8	24.9	29.3	28.4	28.4	29.9	30.5
Total cane	0.4	12.2	40.4	42.7	50.7	64.8	64.8	69.0	72.4	77.4
Underground shoot	0.00	10.94	5.93	7.07	4.11	6.49	6.64	4.41	5.20	3.61
Root	15.6	6.2	3.2	4.1	3.1	2.2	3.6	3.1	2.9	2.6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 การแบ่งส่วนมวลแห้งของชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อยเทียบกับมวลทั้งหมด

ตารางที่ 9 ค่าร้อยละมวลแห้งต่อมวลสด ($Md_i x100/Mf_i$) แยกตามชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อย

	Days after planting										Avg
	89	119	147	177	204	236	263	296	323	352	
Plant parts	Dry mass to fresh mass, %										
Top	23.8	16.3	15.4	19.1	17.9	20.0	19.1	22.4	19.6	26.3	20.0
Leaf	29.8	25.6	27.9	26.5	40.6	30.9	31.3	32.4	30.8	35.8	31.2
Leaf sheath	24.3	19.5	18.8	40.8	23.8	20.2	22.4	26.0	24.7	32.0	25.3
Dead leaf	28.6	58.9	68.5	68.1	82.4	85.7	88.7	86.2	82.2	82.4	73.2
Dead leaf sheath	59.4	34.7	52.0	61.2	30.9	20.5	82.5	79.1	61.2	61.9	54.3
Total Cane	14.3	11.1	12.8	13.2	16.8	21.7	21.9	24.3	28.8	28.8	19.4
Underground shoot		27.8	26.8	24.9	27.1	27.8	27.7	28.0	31.7	32.6	28.3
Root	33.1	20.1	59.7	86.5	32.6	28.6	30.9	33.8	29.7	35.7	39.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความสูงและมวลชีวภาพมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับอายุของอ้อย (ตารางที่ 10) ค่าความชันที่ได้แสดงว่าอ้อยมีมวลสดทั้งหมดเพิ่มขึ้น 141.1 kg rai^{-1}day^{-1} (ฟังก์ชันที่2) ในขณะที่มวลแห้งทั้งหมดเพิ่มขึ้น 37.9 kg rai^{-1}day^{-1} (ฟังก์ชันที่ 3) ส่วนมวลของลำสดเพิ่มขึ้น 45.9 kg rai^{-1}day^{-1} (ฟังก์ชันที่ 4)

ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุ (t, day) กับความสูง (H, cm) และมวลชีวภาพของอ้อย (ton rai^{-1}) และระหว่างมวลแห้งกับความสูงของต้นอ้อย

Function no.	Linear functions					R^2
1.	H	=	0.9983	x	t	0.937
2.	Mf_W	=	0.1411	x	t	0.881
3.	Md_W	=	0.0379	x	t	0.878
4.	Mf_{CY}	=	0.0459	x	t	0.875
5.	Md_{CY}	=	0.0107	x	t	0.811
6.	Md_W	=	0.0383	x	H	0.908

หมายเหตุ ดัชนีล่าง W=Whole plant และ CY=Cane yield

มวลสดและพื้นที่ของใบ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของใบ (ตารางที่ 11) แสดงว่าพื้นที่ใบมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างผลคูณของความยาวใบ (L_L) กับความกว้างเฉลี่ยของทั้งใบ (W_{Lavg}) และมีความสัมพันธ์กับผลคูณของความยาวใบคูณกับความกว้างใบสูงสุด (W_{Lmax}) เพราะฉะนั้นในการประเมินพื้นที่ใบอย่างรวดเร็วของอ้อย สามารถใช้ผลคูณของความยาวใบกับค่าความกว้างของส่วนกว้างที่สุดของใบ (W_{Lmax}) โดยประเมินตามฟังก์ชันที่ 6 ของตารางที่ 11

ค่าสถิติพื้นฐานของใบ (ตารางที่ 12) แสดงว่าใบอ้อยมีความยาวได้สูงสุดถึง 1.24 m และใบกว้างได้ถึง 7 cm ค่าเฉลี่ยพื้นที่ของแต่ละใบมีค่า 346 cm^2 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นมวลแห้งของใบสดเท่ากับ 140 g m^{-2}

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของใบอ้อยแต่ละช่วงอายุ (ตารางที่13) พบว่าในช่วงที่อ้อยมีอายุยังน้อยมีจำนวนใบสูงถึง 660 ใบต่อ m^2 แต่พื้นที่ของใบไม่ได้สูงตามเพราะใบมีขนาดเล็ก ค่าดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ที่คำนวณพื้นที่ใบจากความสัมพันธ์ของมวลใบสดกับพื้นที่ใบของมวลนั้น (ฟังก์ชันที่ 1 ของตารางที่ 11) แล้วหารด้วยพื้นที่ปลูก (0.5 x 1.3 ม.) พบว่าค่า LAI ลดลงตามพื้นที่ใบที่ลดลงเมื่ออ้อยมีอายุเพิ่มขึ้น เพราะจำนวนใบสดลดลง (ดังภาพที่ 4A) LAI มีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.8 เมื่ออ้อยอายุประมาณ 7 เดือน ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดดัชนีพื้นที่ใบโดยตรง (LAI_{2000}) แต่ค่า LAI_{2000} มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของอ้อย โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.83 เมื่ออ้อยอายุ 8 เดือน สาเหตุของค่าที่แตกต่างกันเพราะเครื่องวัดดัชนีพื้นที่ใบโดยตรง (LAI2000) จะวัดค่าโดยเปรียบเทียบแสงที่ช่วงคลื่นน้อยกว่า 490 nm ที่หัววัดแสงรับได้ ระหว่างพื้นที่ที่ได้รับแสงเต็มที่เทียบกับพื้นที่ที่มีใบที่อ้อยปกคลุมอยู่ การวัดในสภาพแปลงเมื่ออ้อยมีอายุมากขึ้นจะมีทั้งลำอ้อย ใบสดและใบแห้งปกคลุมอยู่จึงอาจทำให้ค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจากค่าสัดส่วนของแสง (Fraction of sky visible) ที่วัดได้จากเครื่อง LAI2000 ก็แสดงว่าปริมาณแสงในระหว่างแถวปลูกอ้อยลดลงเมื่ออ้อยมีอายุเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4B)

ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบ (cm^2) กับมวลสดใบ (g) ความยาวใบและความกว้างใบ (cm) ของใบอ้อยพันธุ์ K95-84 ที่สมบูรณ์ จำนวน 198 ใบ

	Functions	R^2	d.f.
1.	$A_L = 23.013 \times Mf_L$	0.735	196
2.	$A_L = 4.285 \times L_L$	0.888	196
3.	$A_L = 83.812 \times W_{Lavg}$	0.476	196
4.	$A_L = 62.505 \times W_{Lmax}$	0.524	196
5.	$A_L = 1.003 \times L_L \times W_{Lavg}$	1.000	196
6.	$A_L = 0.738 \times L_L \times W_{Lmax}$	0.988	196

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 ค่าสถิติพื้นฐานของใบอ้อยพันธุ์ K95-84 ที่สมบูรณ์ จำนวน 254 ใบ S.D. คือ Standard deviation

Statistics	Area	Avg width	Max width	Length	Fresh mass	Dry mass	Mf_L / A_L	Md_L / A_L
	(A_L)	(W_{Lavg})	(W_{Lmax})	(L_L)	(Mf_L)	(Md_L)		
	cm^2	cm	cm	cm	g	g	$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$
Average	346.46	4.19	5.64	80.95	15.28	4.78	448.96	139.90
S.D.	120.27	0.64	0.85	23.69	5.09	1.59	100.99	31.47
Maximum	587.19	5.50	7.00	124.43	23.48	7.34	744.85	232.10
Minimum	23.39	1.50	2.30	15.73	1.06	0.33	243.96	76.02

ตารางที่ 13 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของใบอ้อยพันธุ์ K95-84

Parameters	Days after planting									
	89	119	147	177	204	236	263	296	323	352
Planting spaces, m^2	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Leaf area, m^2	0.37	1.87	2.20	2.13	3.12	2.46	2.73	0.74	0.73	0.92
Leaf fresh mass, kg	0.19	0.97	1.14	1.11	1.62	1.28	1.42	0.38	0.38	0.47
Leaf dry mass, kg	0.06	0.25	0.32	0.35	0.66	0.40	0.44	0.12	0.12	0.17
No. of green leaf, per m^2	370	660	262	251	272	283	158	197	131	110
LAI, $m^2\ m^{-2}$	0.58	2.87	3.38	3.28	4.80	3.78	4.20	1.14	1.12	1.41
LAI_{2000}, $m^2\ m^{-2}$	0.47	2.23	2.49	3.23	3.87	4.83	4.21	4.68	4.78	4.59
LAR, $m^2\ kg^{-1}_{\text{whole plant}}$	2.05	2.11	1.98	1.05	1.13	0.70	0.78	0.18	0.17	0.16
LMR, $kg_{\text{plant}}\ kg^{-1}_{\text{plant}}$	0.31	0.28	0.29	0.17	0.24	0.11	0.13	0.03	0.03	0.03
SLA, $m^2\ g^{-1}_{\text{leaf}}$	0.007	0.008	0.007	0.006	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005
SLM, $g\ m^{-2}_{\text{leaf}}$	152.91	133.11	144.84	163.82	211.16	160.86	162.87	167.76	159.26	185.51

เมื่อ LAI, leaf area index = leaf area per planting spaces

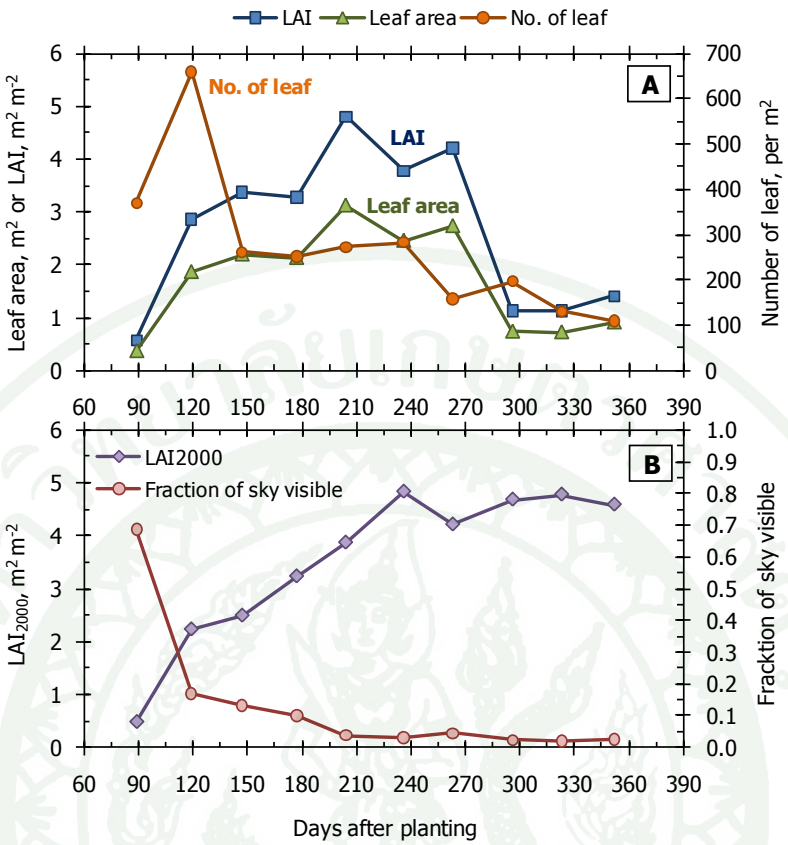
LAR, leaf area ratio = leaf area per whole plant dry mass in planting spaces

LMR, leaf mass ratio = leaf dry mass per whole dry mass in planting spaces

SLA, specific leaf area = leaf area per leaf dry mass

SLM; specific leaf mass = leaf dry mass per area = 1/SLA

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงตามอายุของอ้อยของค่า A) พื้นที่ใบ ค่าดัชนีพื้นที่ใบ และจำนวนใบสด และ B) ค่า LAI_{2000} และค่า Fraction of sky visible (ได้จากเครื่องวัดค่าดัชนีพื้นที่ใบ)

มวลสด มวลแห้ง และการกระจายตัวของราก

มวลรวมของรากทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุ (ตารางที่ 14) ค่ามวลแห้งรวมของรากที่อายุเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.11 kg และเมื่อหารด้วยปริมาตรของชั้นดินทั้งหมดจะได้ค่าความหนาแน่นของมวลแห้งเท่ากับ 3.31 kg m^{-3}

การกระจายตัวของมวลรากในแต่ละชั้นดินจากระดับ 10 cm จนถึง 50 cm แสดงว่าดินชั้น 10-20 cm มีมวลของรากอยู่มากที่สุด ชั้น 0-10 cm มวลรากลดต่ำลงอย่างรวดเร็วและเหลือน้อยมากในชั้นดิน 40-50 cm (ตารางที่ 15 ภาพที่ 5A-B)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อให้เห็นภาพการกระจายของรากในดิน ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของมวลรากกับความลึกของชั้นดิน แสดงดังภาพที่ 6 จะเห็นชัดเจนว่าเมื่ออ้อยอายุยังน้อยจะมีความหนาแน่นรากต่อพื้นที่น้อย แต่เมื่ออายุมากขึ้นความหนาแน่นของรากจะเพิ่มขึ้น โดยพบว่ารากอ้อยมีความหนาแน่นเพิ่มมากในชั้นดิน 10-30 cm มากกว่าชั้นที่ลึกลงไป หรืออาจกล่าวได้ว่ารากอ้อยมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นในแนวระนาบมากกว่าในแนวดิ่ง เพราะการปลูกอ้อยด้วยท่อนพันธุ์จะฝังท่อนพันธุ์ลงในดินที่ระดับความลึกประมาณ 20 cm และเมื่ออ้อยเจริญเติบโตขึ้นจะมีหน่ออ้อยงอกออกมาจากท่อนพันธุ์ และมีรากจำนวนมากงอกออกมาจากหน่ออีกทีหนึ่ง จึงทำให้ชั้นดินที่มีหน่ออ้อยอยู่มีความหนาแน่นของรากมากกว่าดินชั้นอื่น ส่วนชั้นดินที่ระดับลึกลงไปพบว่ามีมวลและความหนาแน่นของรากลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้เป็นเพราะแปลงปลูกมีการให้ระบบน้ำหยด ค่าพลังงานกำกับก้อนดินแสดงถึงระดับที่สูงตลอดความลึก 60 cm รากจึงไม่จำเป็นต้องหยั่งลงลึกเพื่อหาน้ำ เมื่ออ้อยอายุประมาณ 9 เดือน จึงเริ่มพบรากที่ระดับความลึก 40-50 cm เพราะชั้นผิวดินเริ่มแห้งรากอ้อยจึงต้องลงไปลึกขึ้นเพื่อหาน้ำ แสดงข้อมูลของค่าพลังงานกำกับก้อนดินของน้ำ ดังตารางผนวกที่ 2

ตารางที่ 16 แสดงเปอร์เซ็นต์มวลแห้งของรากอ้อยในแต่ละระดับชั้นความลึกเทียบกับมวลแห้งทั้งหมด พบว่ามวลแห้งของรากอ้อยที่ชั้นดิน 10-20 cm เป็น 60 เปอร์เซ็นต์ ของมวลรากทั้งหมด มวลรากที่ชั้น 40-50 cm มีเพียง 0.4 เปอร์เซ็นต์ของมวลรากทั้งหมด

ตารางที่ 14 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของรากอ้อยพันธุ์ K95-84

Parameters	Days after planting									
	89	119	147	177	204	236	263	296	323	352
Sampling area, m^2	0.325	0.40	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Soil volume of depth zone, m^3	0.013	0.016	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
Total fresh root mass, kg	0.06	0.22	0.05	0.06	0.16	0.17	0.26	0.28	0.30	0.30
Total dry root mass, kg	0.02	0.05	0.03	0.04	0.06	0.06	0.08	0.09	0.09	0.11
Total fresh mass density, $kg_{root}\ m^{-3}_{soil}$	4.45	14.02	1.65	1.89	4.99	5.35	8.01	8.68	9.13	9.28
Total dry mass density, $kg_{root}\ m^{-3}_{soil}$	1.47	2.82	0.94	1.19	1.70	1.72	2.47	2.92	2.74	3.31

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

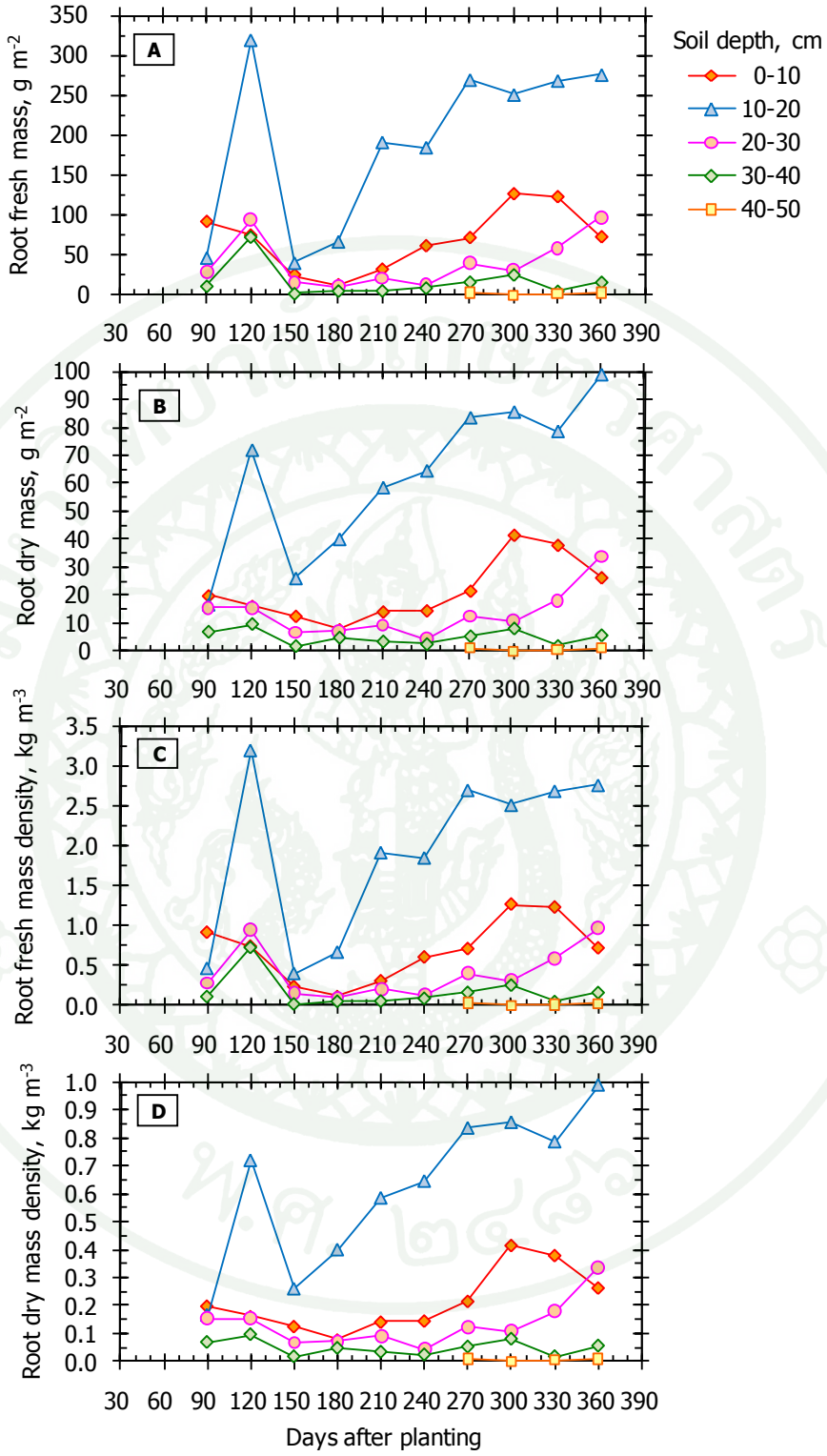
ตารางที่ 15 มวลแห้งของรากที่ระดับความลึกต่างๆ ของชั้นดิน

Soil depth,	Days after planting									
	89	119	147	177	204	236	263	296	323	352
Cm	Root dry mass, g m^{-2}									
0 – 10	19.9	16.1	12.6	7.8	14.2	14.6	21.6	41.6	38.0	26.4
10 – 20	16.7	71.8	26.0	40.0	58.4	64.4	83.4	85.4	78.5	98.7
20 – 30	15.4	15.4	6.7	7.2	9.2	4.3	12.4	10.8	18.0	33.7
30 – 40	6.8	9.5	1.8	4.7	3.4	2.4	5.2	8.0	1.8	5.5
40 – 50							1.0	0.04	0.5	0.9
Sum	58.8	112.9	47.1	59.7	85.2	85.8	123.5	145.8	136.8	165.3

ตารางที่ 16 สัดส่วนมวลแห้งของรากในแต่ละระดับชั้นดินเทียบกับมวลรากทั้งหมด (%)

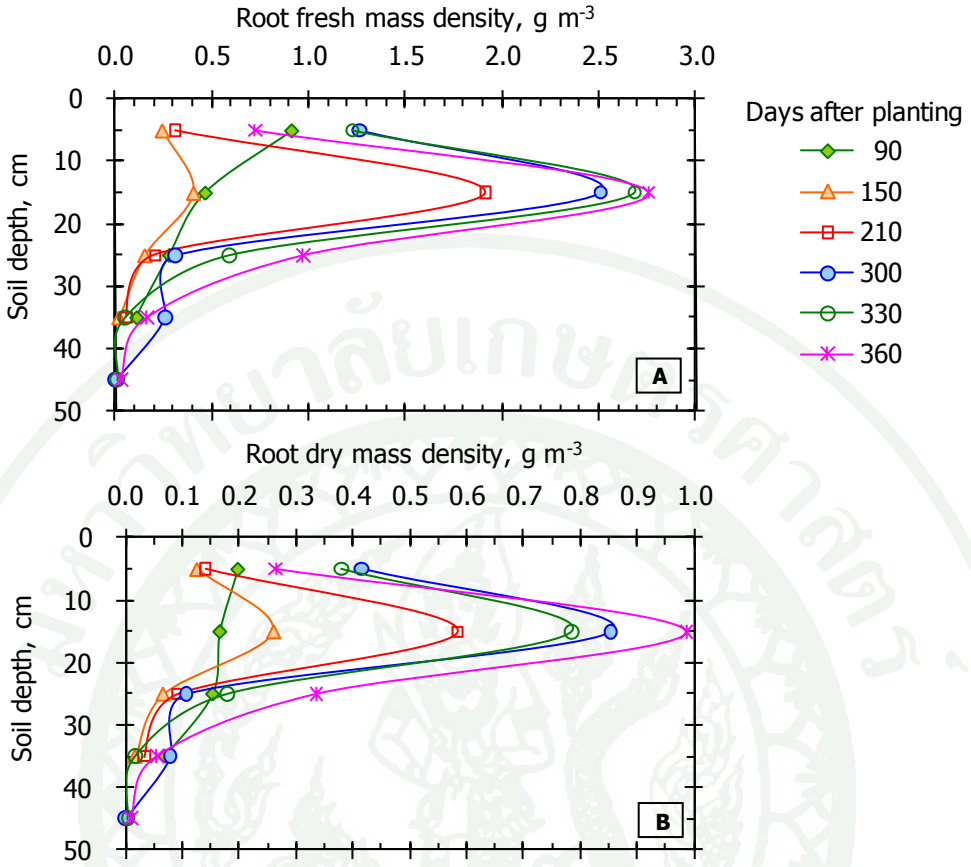
Soil depth,	Days after planting										
	89	119	147	177	204	236	263	296	323	352	Avg
Cm	Percent of total root dry mass, %										
0 – 10	33.9	14.3	26.8	13.0	16.6	17.0	17.6	28.6	27.9	16.1	21.2
10 – 20	28.4	63.6	55.3	67.0	68.6	75.1	68.0	58.6	57.6	60.1	60.2
20 – 30	26.2	13.6	14.2	12.0	10.8	5.1	10.1	7.4	13.2	20.5	13.3
30 – 40	11.6	8.4	3.8	8.0	4.0	2.8	4.2	5.5	1.3	3.4	5.3
40 – 50							0.8	0.03	0.4	0.6	0.4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 5 มวลสดและมวลแห้งของรากในแต่ละชั้นความลึกของดิน (A-B) ความหนาแน่นของมวลสดและมวลแห้งของราก (C-D) การกระจายตัวของมวลรากในแต่ละช่วงอายุที่ระดับความลึกต่างๆ ของดิน (E-F)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 การกระจายตัวของรากของ มวลสด (A) และมวลแห้ง (B) ในแต่ละช่วงอายุที่ระดับความลึกต่างๆ ของดิน

ความเข้มข้นของธาตุอาหาร

ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชจะมีค่าแตกต่างกันในแต่ละชิ้นส่วนของพืช เพื่อให้ได้ภาพรวมของค่าความเข้มข้นในชิ้นส่วนและทั้งต้น จึงได้แสดงค่าเฉลี่ยเพิ่มเติม โดยคำนวณค่าเฉลี่ยความเข้มข้น 2 วิธี คือ 1) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และ 2) ค่าเฉลี่ยเชิงมวล ตามความนัยยะของมูลดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความเข้มข้นธาตุอาหาร

ค่าเฉลี่ยเลขคณิตคำนวณจากตัวอย่างชิ้นส่วนอ้อยเดียวกัน เช่น ใบจากหลายๆ ลำ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 17 พบว่าส่วนใบสดมีความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงกว่าส่วนอื่น ลำมีความเข้มข้นของไนโตรเจนพอกับรากแต่มีโพแทสเซียมเข้มข้นกว่า กาบใบสดมีโพแทสเซียมสูงมากและสูงกว่าใบสด เมื่อกาบใบแห้งลงก็ยังมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมอยู่สูง ใบแห้งตายมีแคลเซียมและแมกนีเซียมสูง ก่อนใบจะแห้งธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมจะถูกเคลื่อนย้ายออกไปได้มาก ยกเว้นแคลเซียมและแมกนีเซียม แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากการสุ่มตัวอย่างส่วนใบและกาบใบที่แห้งตายแล้วมีความแปรปรวนอยู่มาก อีกทั้งจำนวนของตัวอย่างมีค่าน้อยจึงอาจทำให้ค่าที่ได้มีความแปรปรวนสูง

ค่าสัดส่วนความเข้มข้นของธาตุอาหารจะบอกความแตกต่างของชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อยได้ชัดเจน (ตารางที่ 18) พบว่ากาบใบแห้งตายมีไนโตรเจนมากกว่าฟอสฟอรัส 12 เท่า กาบใบสดมีโพแทสเซียมมากกว่าแมกนีเซียม 22 เท่า ค่าเฉลี่ยรวมทุกชิ้นส่วนของอ้อยแสดงว่าไนโตรเจนมีมากกว่าฟอสฟอรัส 6 เท่า ความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงกว่าแมกนีเซียมถึง 11 เท่า และแคลเซียมมีความเข้มข้นสูงกว่าแมกนีเซียม 1.7 เท่า ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สูงแสดงถึงความต้องการปริมาณธาตุอาหารนั้น ๆ สูงตามไปด้วย

ความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละชนิดในแต่ละช่วงอายุของอ้อย พบว่าใบสดมีความเข้มข้นของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงกว่าส่วนอื่น กาบใบสดมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงกว่าส่วนอื่นตลอดช่วงอายุ ความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละชนิดมีค่าค่อนข้างคงที่ ยกเว้นความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบสด กาบใบสด และลำอ้อยมีแนวโน้มลดลง ดังภาพที่ 7C

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

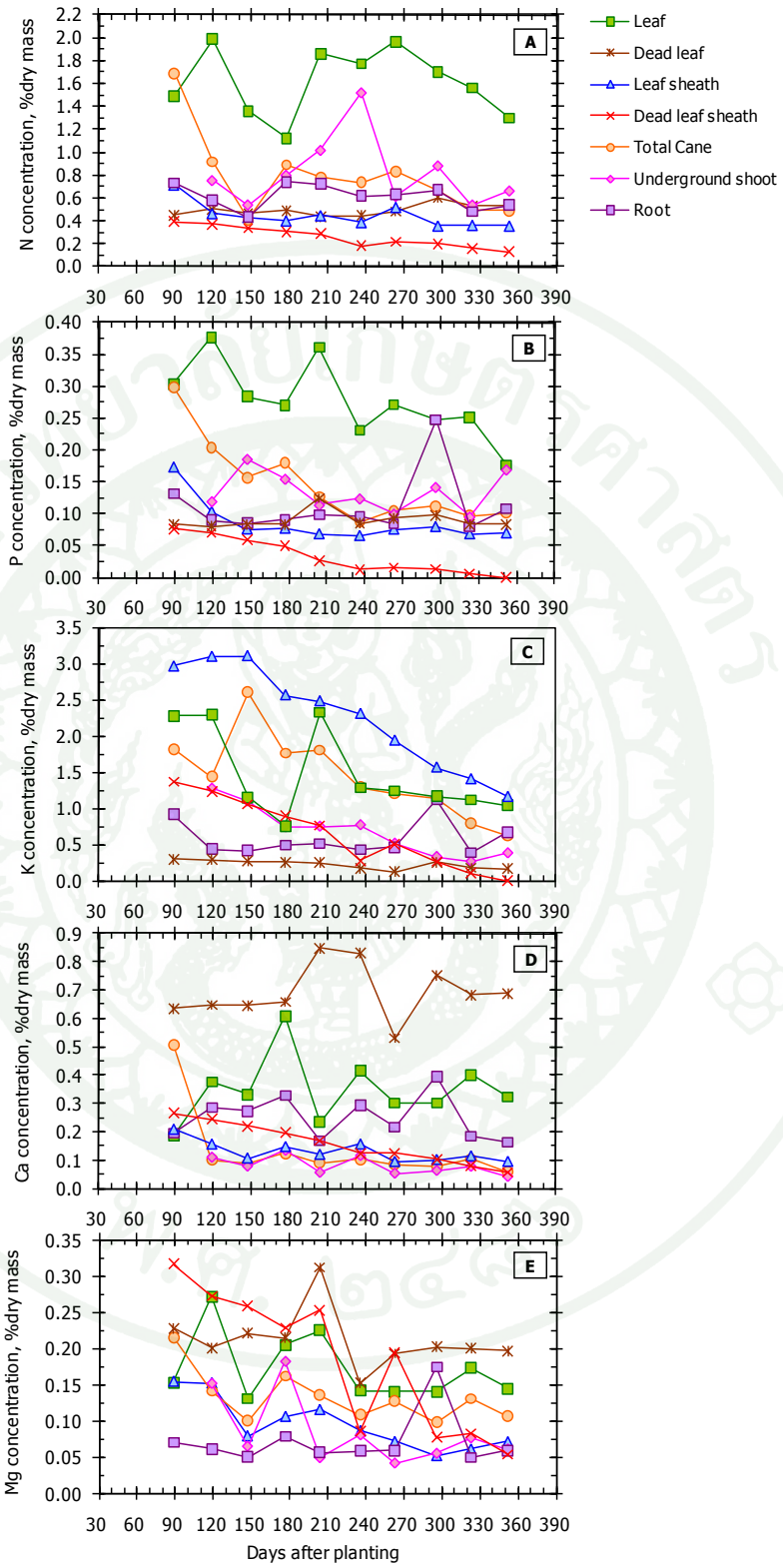
ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความเข้มข้นของธาตุอาหารของแต่ละชิ้นส่วนของอ้อย รวมทุกตัวอย่างทุกช่วงอายุของการเติบโต ตัวเลขในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

Plant parts	Nutrient concentration, %dry mass					No. of Samples
	N	P	K	Ca	Mg	
Leaf	1.55 (0.24)	0.26 (0.06)	1.57 (0.58)	0.31 (0.11)	0.17 (0.04)	22
Dead leaf	0.49 (0.07)	0.10 (0.02)	0.22 (0.07)	0.72 (0.13)	0.21 (0.06)	5
Leaf sheath	0.46 (0.15)	0.10 (0.05)	2.06 (0.76)	0.14 (0.06)	0.10 (0.05)	22
Dead leaf sheath	0.25 (0.08)	0.03 (0.02)	0.61 (0.04)	0.15 (0.06)	0.18 (0.09)	5
Total cane	0.76 (0.48)	0.14 (0.08)	1.06 (0.55)	0.15 (0.16)	0.13 (0.05)	37
Underground shoot	0.75 (0.31)	0.13 (0.03)	0.54 (0.31)	0.07 (0.03)	0.08 (0.04)	16
Root	0.63 (0.10)	0.12 (0.04)	0.72 (0.35)	0.22 (0.07)	0.07 (0.03)	22
Average	0.79 (0.48)	0.14 (0.08)	1.14 (0.76)	0.20 (0.17)	0.12 (0.06)	Sum=129

ตารางที่ 18 ค่าสัดส่วนของความเข้มข้นของธาตุอาหาร

Parts	N/P	K/Mg	Ca/Mg	(K+Mg)/Ca
Leaf	6.29 (1.39)	9.74 (3.59)	1.92 (0.76)	7.16 (5.16)
Dead leaf	5.30 (1.12)	1.05 (0.34)	3.58 (1.14)	0.60 (0.13)
Leaf sheath	5.22 (1.43)	21.68 (6.94)	1.39 (0.33)	16.66 (5.04)
Dead leaf sheath	12.08 (4.18)	3.35 (0.73)	1.00 (0.38)	4.81 (1.57)
Total cane	5.75 (1.94)	8.60 (5.09)	0.97 (0.59)	11.72 (5.83)
Underground shoot	6.08 (2.80)	7.68 (4.47)	0.94 (0.28)	9.18 (3.51)
Root	5.70 (1.32)	10.23 (3.96)	3.18 (1.09)	4.26 (2.88)
Average	6.01 (2.26)	10.69 (7.16)	1.68 (1.11)	9.50 (6.39)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7 ความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละชนิด (%dry mass) ในแต่ละชิ้นส่วนของอ้อย ตามช่วงอายุ แต่ละจุดเป็นค่าของแต่ละตัวอย่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของมหธาตุอาหารแต่ละชนิด

ความสัมพันธ์ระหว่างมหธาตุอาหารแต่ละชนิด แสดงในภาพที่ 8 พบว่าเมื่อไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นตามกัน โดยเฉพาะความเข้มข้นฟอสฟอรัสจะเพิ่มขึ้นตามไนโตรเจนอย่างชัดเจนในทุกชิ้นส่วนของพืช แต่โพแทสเซียมในกาบใบสดจะมีค่าสูงโดดเด่นและไม่สัมพันธ์กับไนโตรเจน

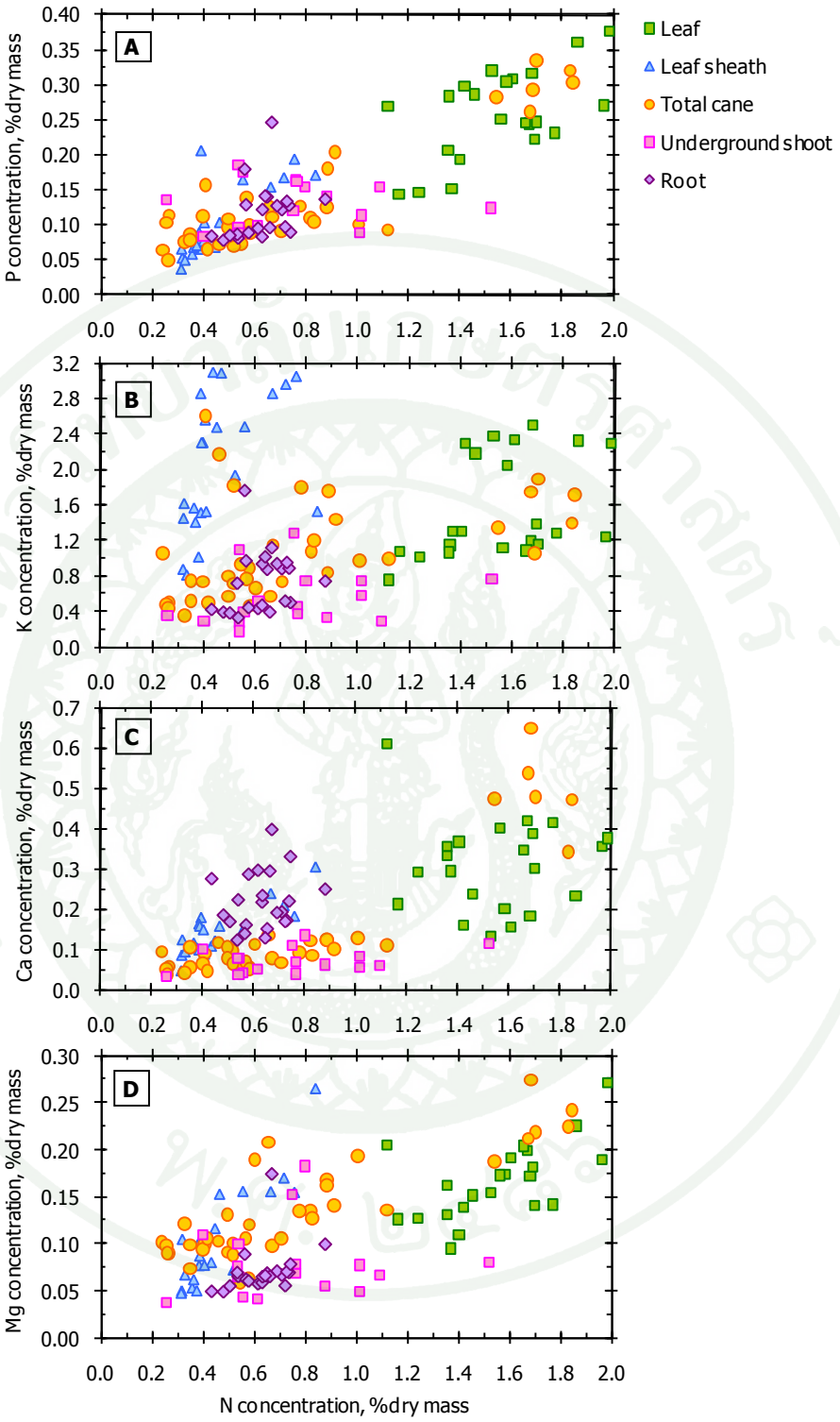
ภาพที่ 9 แสดงว่าความเข้มข้นของโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของฟอสฟอรัส เช่นกันที่พบว่าโพแทสเซียมในกาบใบสดไม่สัมพันธ์กับฟอสฟอรัส

ความเข้มข้นของแคลเซียมเพิ่มตามความเข้มข้นของโพแทสเซียม (ภาพที่ 10A) เมื่อแคลเซียมเพิ่มขึ้นจะทำให้แมกนีเซียมในใบสด กาบใบสด และลำเพิ่มขึ้นตาม (ภาพที่ 10C)

โดยรวมแล้วพบว่ามีเฉพาะไนโตรเจนกับฟอสฟอรัสเท่านั้นที่มีความสัมพันธ์กันในทุกชิ้นส่วนของอ้อย (ภาพที่ 8A) คือเมื่อความเข้มข้นของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในทุกชิ้นส่วนอ้อยเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

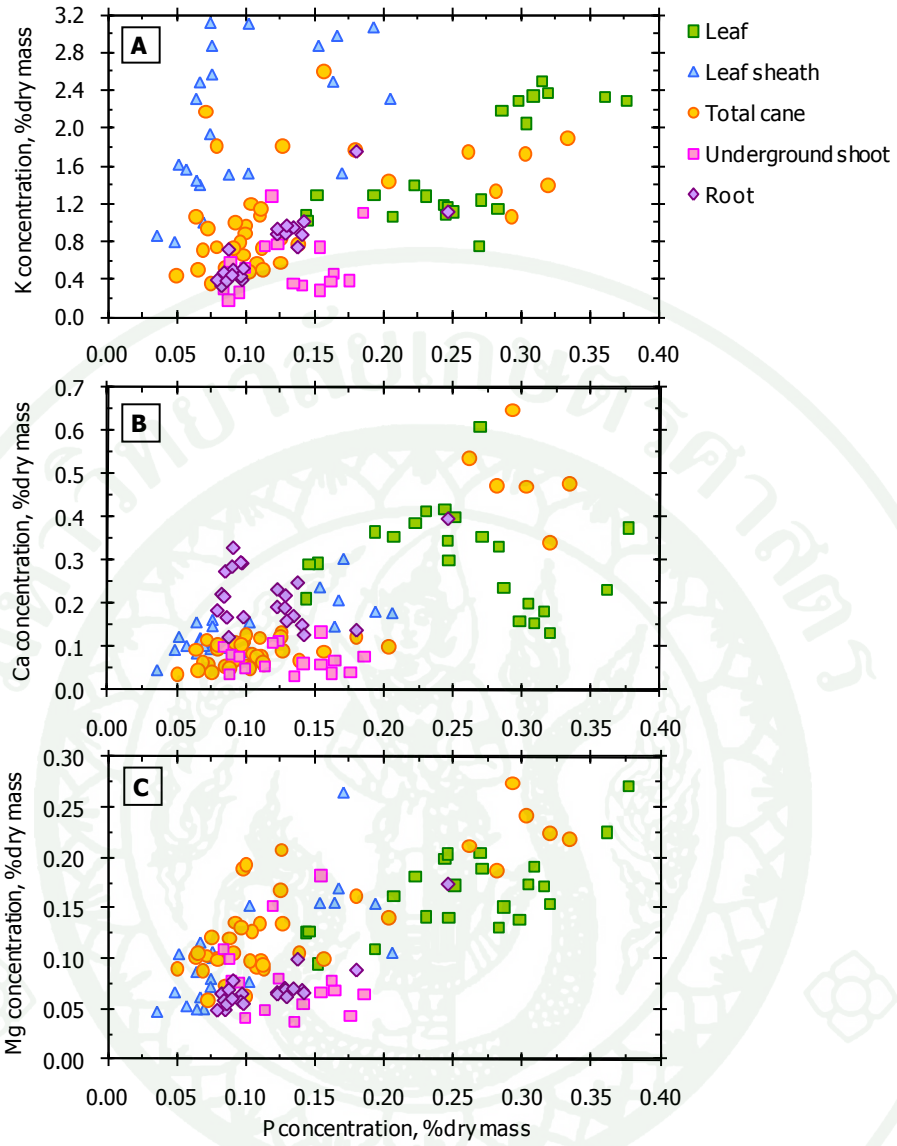
เพื่อให้เห็นความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของอ้อยได้ชัดเจนจึงเปรียบเทียบกับความเข้มข้นที่พบในใบสด (ภาพที่ 11) ซึ่งเป็นส่วนที่มักมีความเข้มข้นของธาตุอาหารอยู่สูง พบว่าใบสดจะมีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงกว่าส่วนอื่นมาก มีค่าอยู่ในช่วง 1.5-2 เปอร์เซ็นต์เชิงมวลแห้ง มีเพียงลำอ้อยบางตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูงกว่าใบสด (ภาพที่ 11A) ฟอสฟอรัสในใบสดมีค่า 0.15-0.38 เปอร์เซ็นต์เชิงมวลแห้งและสูงกว่าส่วนอื่น (ภาพที่ 11B) ลำอ้อยบางตัวอย่างมีฟอสฟอรัสใกล้เคียงกับใบสด โพแทสเซียมในกาบใบสดและลำอ้อยมีค่าสูงกว่าใบสด โดยกาบใบสดมีโพแทสเซียมได้สูงถึง 3.2 เปอร์เซ็นต์เชิงมวลแห้ง เช่นเดียวกันแคลเซียมและแมกนีเซียมในลำมีค่าสูงกว่าในใบสดได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



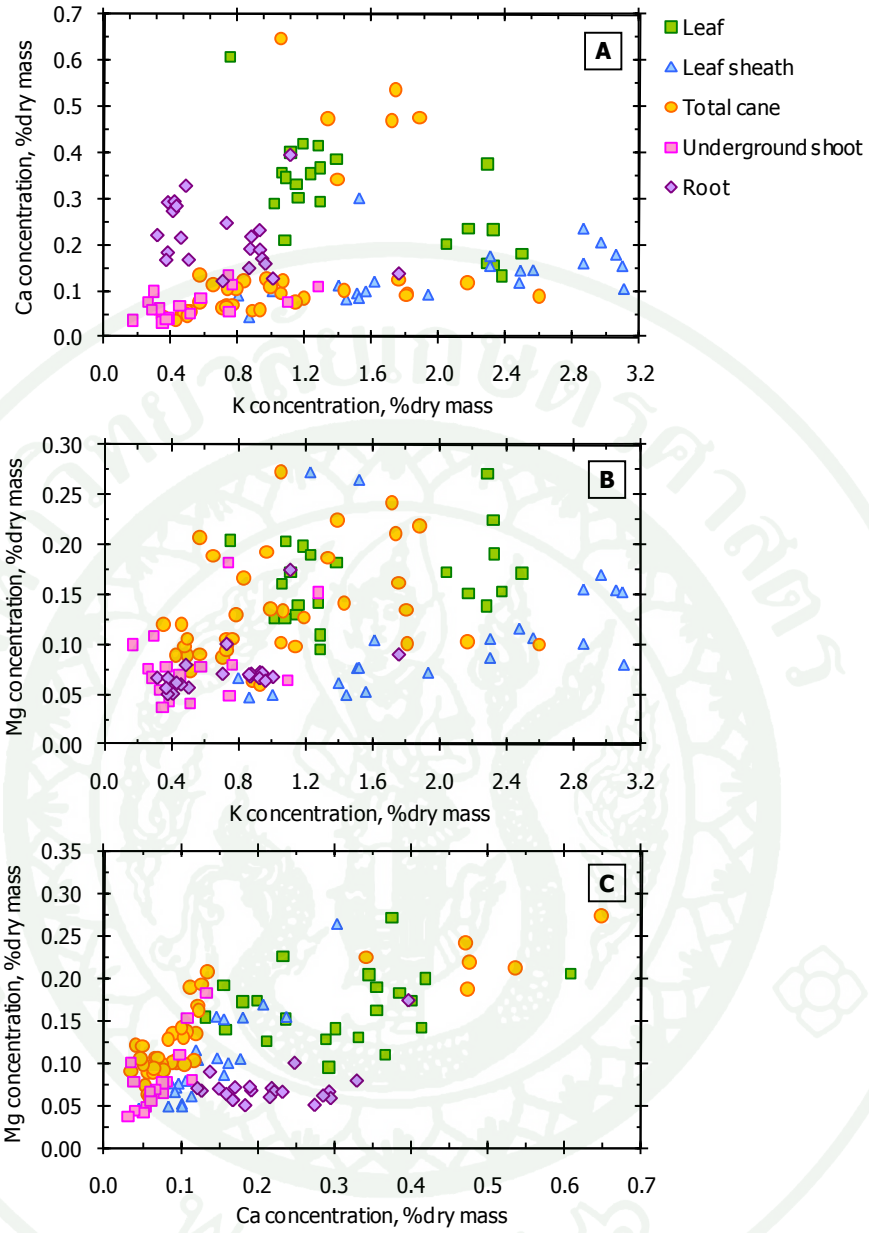
ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ N กับความเข้มข้นของ A) P, B) K, C) Ca และ D) Mg ของชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อยพันธุ์ K95-84 ค่าที่แสดงเป็นค่าวิเคราะห์ทางเคมีของแต่ละตัวอย่าง(หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์เชิงมวลแห้ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



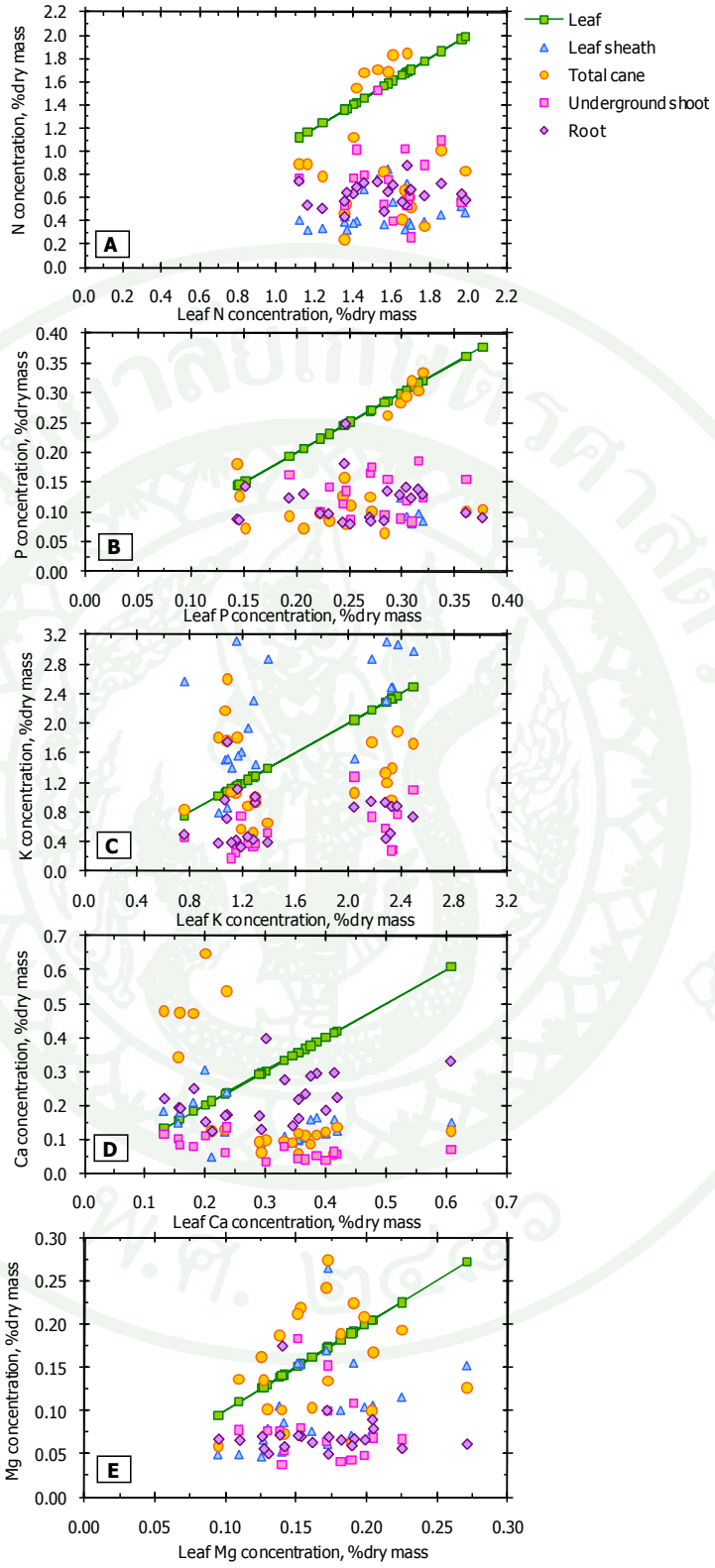
ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ P กับความเข้มข้นของ A) K, B) Ca และ C) Mg ของชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อย ค่าที่แสดงเป็นค่าวิเคราะห์ทางเคมีของแต่ละตัวอย่าง (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์เชิงมวลแห้ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ K กับความเข้มข้นของ A) Ca และ B) Mg และความสัมพันธ์ของ C) Ca กับ Mg ของชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อย ค่าที่แสดงเป็นค่าวิเคราะห์ทางเคมี ของแต่ละตัวอย่าง (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์เชิงมวลแห้ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 11 ความเข้มข้นของธาตุอาหารของชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อยเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ใบสด (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์เชิงมวลแห้ง)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

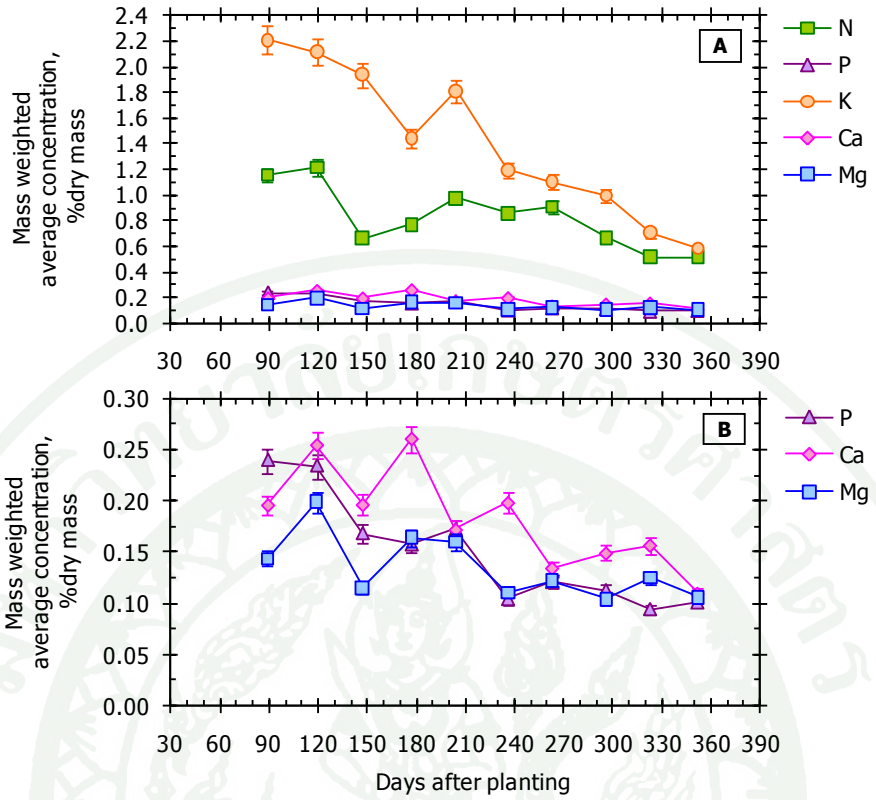
ค่าเฉลี่ยเชิงมวลของความเข้มข้นธาตุอาหารในมวลของอ้อยทั้งหมด

ค่าเฉลี่ยเชิงมวลของธาตุอาหารในมวลอ้อยทั้งหมดเป็นผลรวมของความเข้มข้นของธาตุอาหารจากทุกชิ้นส่วน โดยถ่วงน้ำหนักด้วยมวลของแต่ละชิ้นส่วนนั้น ดังตารางที่ 19 และภาพที่ 12 พบว่าในช่วงแรกของการเติบโต อ้อยมีความเข้มข้นของธาตุอาหารเริ่มต้นสูง แล้วจึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีอายุมากขึ้น เพราะมวลของอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละชนิดในแต่ละชิ้นส่วนมีค่าค่อนข้างคงที่ ยกเว้นโพแทสเซียมที่มีความเข้มข้นลดลงอย่างชัดเจน ทั้งในใบสด กาบใบสด และลำอ้อย อีกทั้งมวลแห้งของใบและกาบใบสดก็ลดลง จึงมีส่วนทำให้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเชิงมวลของโพแทสเซียมของอ้อยทั้งหมดมีค่าลดลง

ตารางที่ 19 ค่าเฉลี่ยเชิงมวลของความเข้มข้นของธาตุอาหารในมวลอ้อยรวมทั้งหมด

Nutrients	Days after planting										Avg
	89	119	147	177	204	236	263	296	323	352	
	Mass weighted average nutrient concentration, %dry mass										
N	1.16	1.21	0.66	0.77	0.98	0.86	0.91	0.67	0.51	0.51	0.82
P	0.24	0.23	0.17	0.16	0.17	0.10	0.12	0.11	0.09	0.10	0.15
K	2.21	2.12	1.94	1.45	1.81	1.19	1.10	1.00	0.70	0.58	1.41
Ca	0.20	0.25	0.20	0.26	0.17	0.20	0.13	0.15	0.15	0.11	0.18
Mg	0.14	0.20	0.11	0.16	0.16	0.11	0.12	0.10	0.13	0.11	0.13

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 12 ค่าเฉลี่ยเชิงมวลของความเข้มข้นของธาตุอาหารของตัวอย่างอ้อยรวมทั้งหมดในแต่ละช่วงอายุ A) ธาตุอาหารทั้ง 5 ชนิด B) เฉพาะธาตุอาหาร 3 ชนิดที่มีความเข้มข้นต่ำ (P, Ca และ Mg)

ปริมาณธาตุอาหารในอ้อย

ปริมาณมหธาตุอาหารในชิ้นส่วน ของอ้อย

ปริมาณธาตุอาหารในชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อย เป็นผลคูณของมวลแห้งกับความเข้มข้นของธาตุอาหารในชิ้นส่วนนั้น เมื่อรวมปริมาณธาตุอาหารของทุกชิ้นส่วนเข้าด้วยกันจะได้ปริมาณธาตุอาหารรวมทั้งหมดที่ปรากฏในอ้อยแต่ละช่วงอายุนั้น

ผลรวมของปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดจากทุกชิ้นส่วนของอ้อย (ตารางที่ 20 และภาพที่ 13A-B) พบว่าโพแทสเซียมมีปริมาณรวมสูงสุดถึง 134.7 kg rai^{-1} ปริมาณธาตุอาหารทุกชนิดไม่ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุของอ้อย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดกับปริมาณธาตุอาหารรวมทั้งหมดทุกชนิด ทำให้แบ่งปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในมวลของอ้อยได้เป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีปริมาณสูงได้แก่ โพแทสเซียมมีค่า 41-63 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่มีปริมาณระดับกลางคือไนโตรเจนมีค่า 22-33 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่มีปริมาณระดับต่ำคือฟอสฟอรัส แคลเซียมและแมกนีเซียมมีค่า 4-8 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณธาตุอาหารรวมทั้งหมดตามลำดับ (ภาพที่ 13C)

ตารางที่ 21 และภาพที่ 14 แสดงรายละเอียดของปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดในแต่ละชิ้นส่วนของอ้อย พบว่าลำอ้อยทั้งหมดมีปริมาณธาตุอาหารทุกชนิดมากกว่าส่วนอื่น ส่วนใบสดจะมีปริมาณธาตุอาหารรองลงมาจากลำอ้อยทั้งหมด แต่มีค่าลดลงเมื่ออ้อยมีอายุ 10 เดือนขึ้นไป เพราะแม้ความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละชนิดของใบอ้อยจะไม่ลดลงชัดเจนแต่มวลของใบอ้อยลดลง

การกระจายตัวของปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิด ในแต่ละชิ้นส่วนของอ้อย (ภาพที่ 15) แสดงว่ามีปริมาณธาตุอาหารส่วนใหญ่อยู่ที่ลำอ้อยมากที่สุด และพบว่าชิ้นส่วนแห้งตายของอ้อยคือใบและกาบใบแห้งจะมีธาตุอาหารติดอยู่ ที่ไม่สามารถดูดกลับสู่ต้นได้ ซึ่งอ้อยจะสูญเสียธาตุอาหารไปกับส่วนเหล่านี้ที่ร่วงออกจากต้น

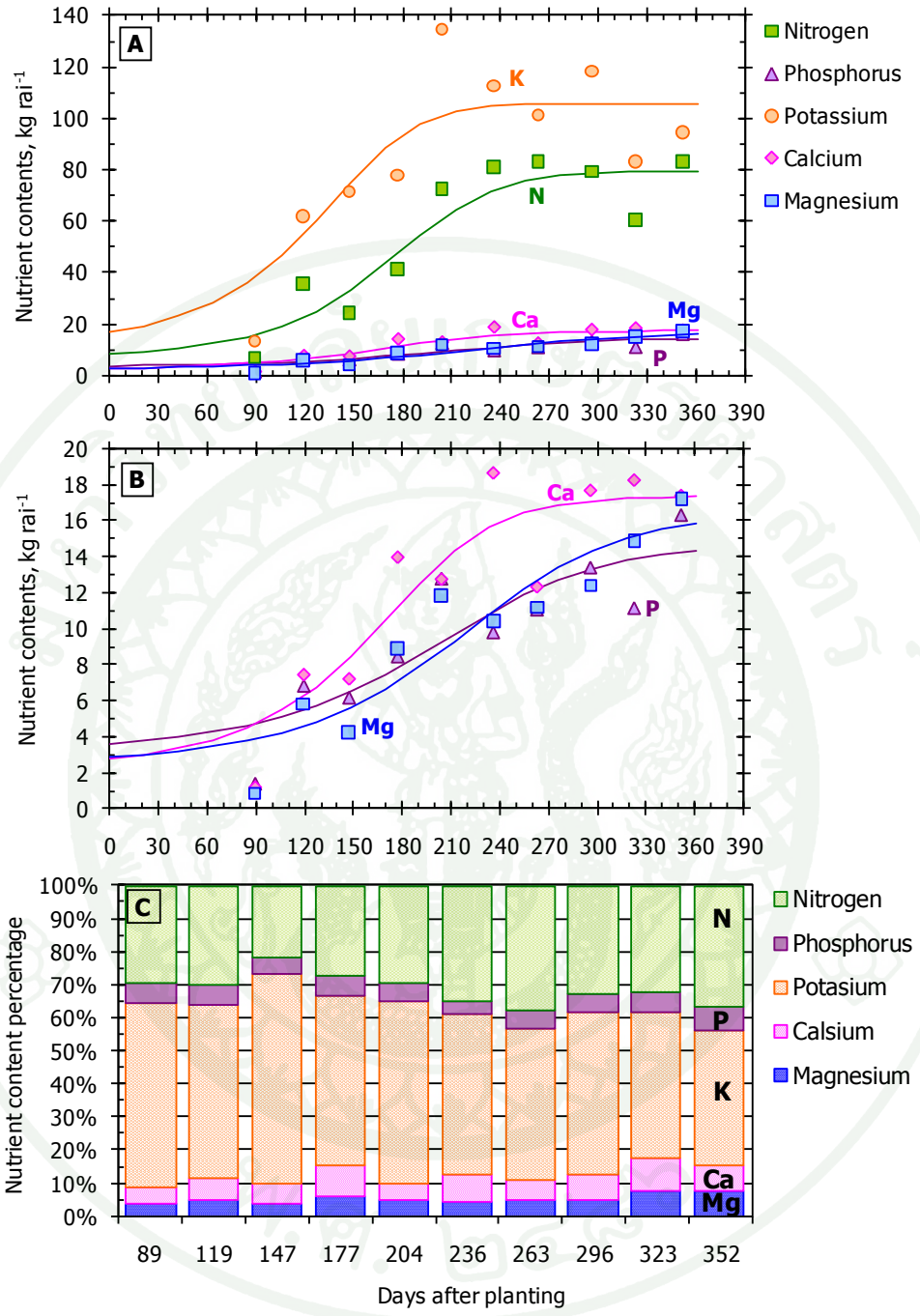
ตารางที่ 20 ปริมาณธาตุอาหารรวมทุกชิ้นส่วนของอ้อย

Details	Days after planting									
	89	119	147	177	204	236	263	296	323	352
Md_W, ton rai^{-1}	0.6	2.9	3.7	5.4	7.4	9.4	9.2	11.9	11.9	16.2
Nitrogen, kg rai^{-1}	7.0	35.6	24.5	41.6	72.5	81.0	83.4	79.2	61.1	83.7
Phosphorus, kg rai^{-1}	1.4	6.9	6.2	8.5	12.8	9.8	11.1	13.4	11.2	16.3
Potassium, kg rai^{-1}	13.3	62.1	71.5	78.1	134.7	112.7	101.3	118.4	83.7	94.5
Calcium, kg rai^{-1}	1.2	7.4	7.2	14.0	12.8	18.7	12.3	17.7	18.5	17.8
Magnesium, kg rai^{-1}	0.9	5.8	4.2	8.9	11.9	10.4	11.2	12.4	14.8	17.1
N_{Total}, kg rai^{-1}	23.8	117.8	113.7	151.0	244.6	232.6	219.2	241.0	189.3	229.4
N_{Total} / Md_W,%	3.9	4.0	3.1	2.8	3.3	2.5	2.4	2.0	1.6	1.4

หมายเหตุ Md_W คือ มวลแห้งของอ้อยทั้งหมด

N_{Total} คือ ปริมาณธาตุอาหารรวมทุกชนิดของทุกชิ้นส่วนของอ้อย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 13 ปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดรวมทุกชิ้นส่วนของอ้อย A) ปริมาณธาตุอาหารทั้ง 5 ชนิด B) ปริมาณธาตุอาหารชนิดที่มีระดับน้อย C) ค่าสัดส่วนร้อยละของปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดเทียบกับปริมาณธาตุอาหารรวมทุกชนิด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 21 ปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดที่ปรากฏในชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อยแต่ละช่วงอายุ

Plant parts	Days after planting									
	89	119	147	177	204	236	263	296	323	352
Leaf	5.1	25.1	12.8	9.8	32.5	20.0	23.3	7.9	6.0	8.1
Dead leaf	0.01	0.2	1.0	2.1	1.8	2.9	1.8	5.5	4.9	5.7
Leaf sheath	1.1	3.4	2.3	3.7	3.7	2.1	2.4	2.1	1.7	1.4
Dead leaf sheath	0.04	0.2	0.6	0.9	0.4	0.3	0.6	1.7	1.0	0.9
Total cane	0.04	3.3	6.1	20.5	29.4	45.0	49.4	55.0	42.5	61.5
Underground shoot		2.4	1.2	3.0	3.1	9.3	3.7	4.6	3.3	3.9
Root	0.7	1.0	0.5	1.7	1.7	1.3	2.1	2.5	1.7	2.3
Total Nitrogen, kg rai^{-1}	**7.0**	**35.6**	**24.5**	**41.6**	**72.5**	**81.0**	**83.4**	**79.2**	**61.1**	**83.7**
Leaf	1.0	4.8	2.7	2.4	6.3	2.6	3.2	1.1	1.0	1.1
Dead leaf	0.002	0.0	0.2	0.3	0.5	0.6	0.4	0.9	0.7	0.8
Leaf sheath	0.3	0.7	0.4	0.7	0.6	0.3	0.4	0.5	0.3	0.3
Dead leaf sheath	0.01	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
Total cane	0.01	0.7	2.3	4.1	4.8	5.3	6.2	9.1	8.3	12.7
Underground shoot		0.4	0.4	0.6	0.3	0.8	0.6	0.7	0.6	1.0
Root	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.9	0.3	0.5
Total Phosphorus, kg rai^{-1}	**1.4**	**6.9**	**6.2**	**8.5**	**12.8**	**9.8**	**11.1**	**13.4**	**11.2**	**16.3**
Leaf	7.8	29.0	10.8	6.6	40.6	14.5	14.7	5.4	4.3	6.5
Dead leaf	0.01	0.1	0.6	1.0	1.0	1.1	0.5	2.3	1.5	1.6
Leaf sheath	4.4	22.5	16.6	23.3	20.6	12.2	9.1	8.9	6.4	4.4
Dead leaf sheath	0.2	0.5	1.9	2.6	1.0	0.5	1.3	2.2	0.6	0.0
Total cane	0.04	5.1	38.8	40.6	68.0	78.8	71.1	93.8	67.9	77.0
Underground shoot		4.1	2.4	2.8	2.3	4.7	3.1	1.7	1.6	2.2
Root	0.9	0.8	0.5	1.1	1.2	0.9	1.5	4.1	1.3	2.8
Total Potassium, kg rai^{-1}	**13.3**	**62.1**	**71.5**	**78.1**	**134.7**	**112.7**	**101.3**	**118.4**	**83.7**	**94.5**

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

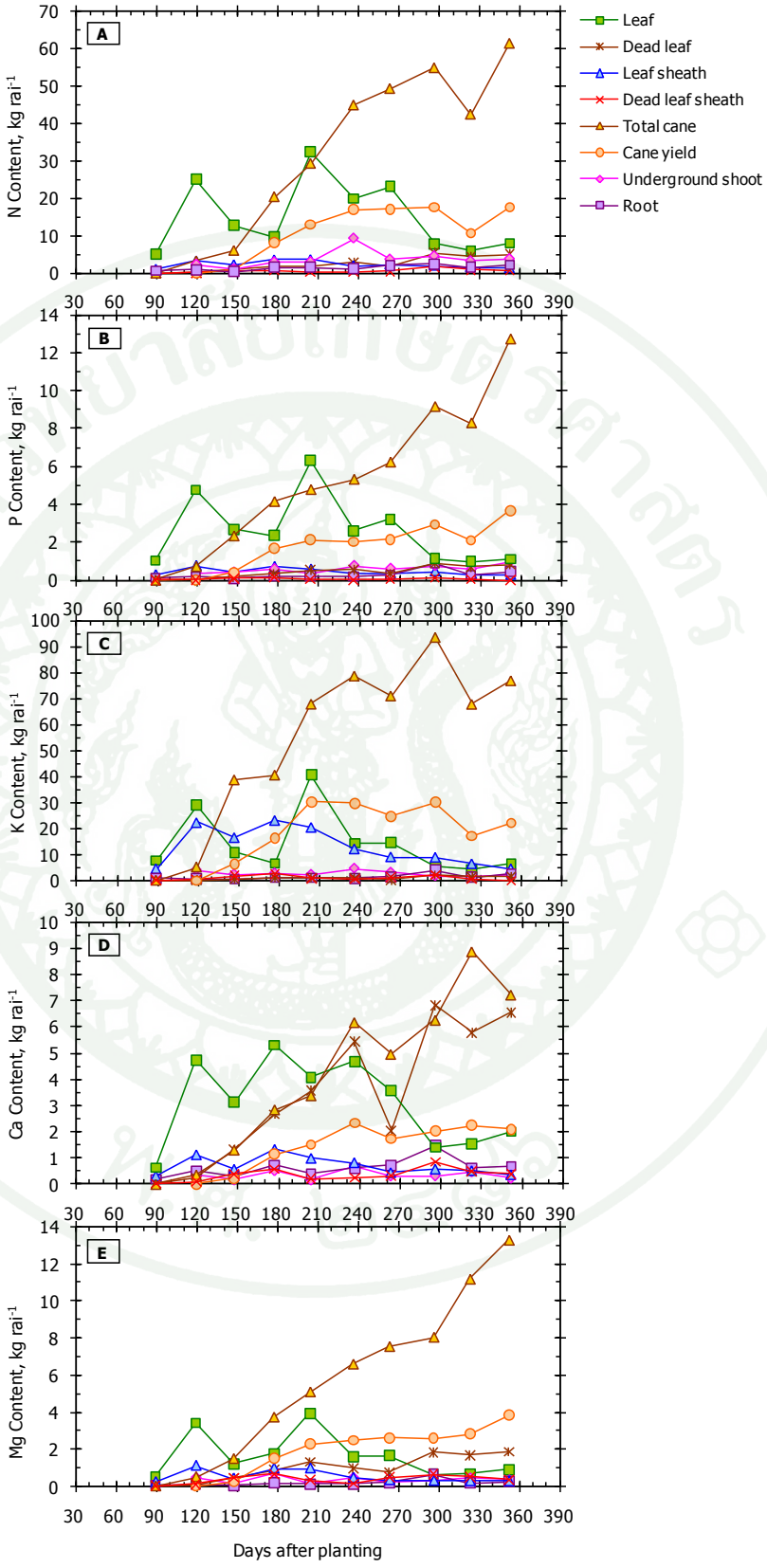
ตารางที่ 21 (ต่อ)

Parts	Days after planting									
	89	119	147	177	204	236	263	296	323	352
Leaf	0.6	4.7	3.1	5.3	4.1	4.7	3.6	1.4	1.5	2.0
Dead leaf	0.01	0.2	1.3	2.7	3.6	5.4	2.0	6.8	6.0	6.9
Leaf sheath	0.3	1.1	0.6	1.3	1.0	0.8	0.4	0.6	0.5	0.4
Dead leaf sheath	0.03	0.1	0.4	0.6	0.2	0.2	0.3	0.9	0.5	0.4
Total cane	0.01	0.4	1.3	2.9	3.4	6.2	5.0	6.3	8.9	7.2
Underground shoot		0.3	0.2	0.5	0.2	0.7	0.3	0.3	0.5	0.2
Root	0.2	0.5	0.3	0.7	0.4	0.6	0.7	1.5	0.6	0.7
Total Calcium, kg rai^{-1}	**1.2**	**7.4**	**7.2**	**14.0**	**12.8**	**18.7**	**12.3**	**17.7**	**18.5**	**17.8**
Leaf	0.5	3.4	1.2	1.8	3.9	1.6	1.7	0.6	0.7	0.9
Dead leaf	0.005	0.1	0.4	0.8	1.3	1.0	0.7	1.8	1.5	1.7
Leaf sheath	0.2	1.1	0.4	1.0	1.0	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3
Dead leaf sheath	0.04	0.1	0.5	0.7	0.3	0.2	0.5	0.6	0.5	0.4
Total cane	0.005	0.5	1.5	3.7	5.1	6.6	7.5	8.0	11.2	13.3
Underground shoot		0.5	0.1	0.7	0.1	0.5	0.2	0.3	0.5	0.4
Root	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.6	0.2	0.2
Total Magnesium, kg rai^{-1}	**0.9**	**5.8**	**4.2**	**8.9**	**11.9**	**10.4**	**11.2**	**12.4**	**14.8**	**17.1**

ตารางที่ 22 ปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในผลผลิตลำอ้อยแต่ละช่วงอายุ

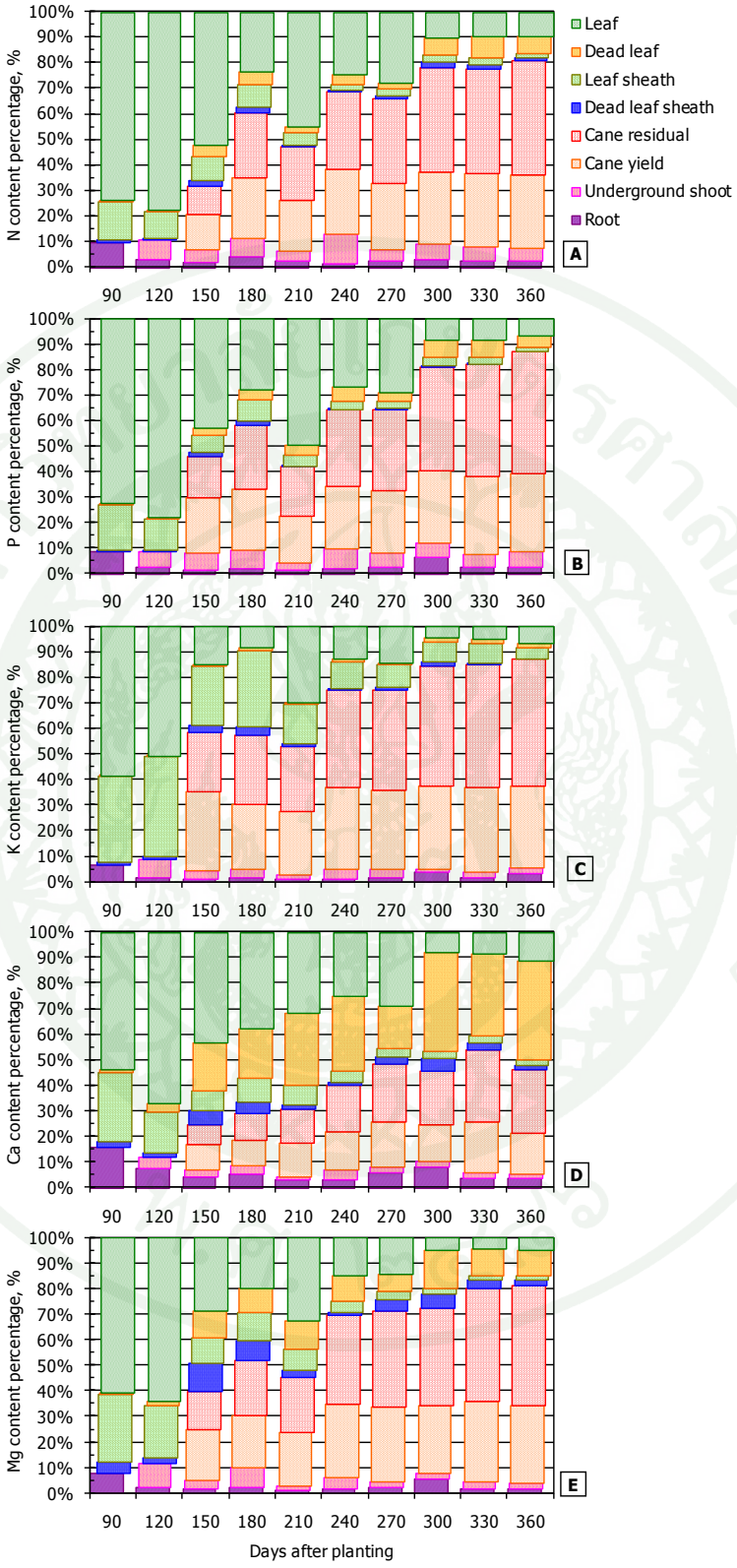
	Days after planting									
	89	119	147	177	204	236	263	296	323	352
Nutrients	Nutrient content of cane yield, kg rai^{-1}									
Nitrogen			3.5	10.0	14.4	20.4	21.7	22.6	17.6	24.2
Phosphorus			1.3	2.0	2.3	2.4	2.7	3.8	3.4	5.0
Potassium			22.1	19.8	33.4	35.7	31.2	38.6	28.0	30.3
Calcium			0.7	1.4	1.7	2.8	2.2	2.6	3.7	2.8
Magnesium			0.8	1.8	2.5	3.0	3.3	3.3	4.6	5.2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 14 ปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อยในแต่ละช่วงอายุ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 15 การกระจายตัวของปริมาณธาตุไนโตรเจน(A) ฟอสฟอรัส(B) โพแทสเซียม(C) แคลเซียม(D) และแมกนีเซียม (E) ในแต่ละชิ้นส่วนของอ้อยตลอดอายุของการเติบโต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัตราการเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพและปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นตามผลผลิตของอ้อย

ประเมินมวลชีวภาพของอ้อยโดยใช้ฟังก์ชันลอจิสติก ทำให้สามารถอธิบายลักษณะการเติบโตและสร้างมวลของอ้อย เมื่อประเมินต่ออีกขั้นด้วยอนุพันธ์ของสมการทำให้ได้อัตราการเติบโตของอ้อยในแต่ละช่วงอายุ ซึ่งใช้ประโยชน์ในการจัดหาปัจจัยที่จำเป็นต่อการเติบโตให้สอดคล้องกับช่วงอายุที่มีการเติบโตสูงสุดนั้น ส่วนการประเมินความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างมวลแห้งกับปริมาณธาตุอาหาร ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละชนิด (ค่าความชันของสมการ) ผลรวมของสองข้อมูลใช้ประเมินปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นตามผลผลิต ซึ่งคือผลคูณระหว่างมวลแห้งของผลผลิตกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

มวลชีวภาพและอัตราการเพิ่มมวลชีวภาพ

นำข้อมูลในส่วนมวลชีวภาพมาเข้ารูปฟังก์ชันลอจิสติกระหว่างอายุกับมวลแห้งดังสมการที่ 9 ค่าคงที่ต่างๆ ของสมการแสดงในตารางที่ 23 ซึ่งคำนวณโดยใช้โปรแกรม Solver (Microsoft Office Excel) ผลที่ได้แสดงในภาพที่ 16 และพบว่ามวลแห้งทั้งหมดสูงสุด (Md_m) หรือค่าเพดาน (asymptote) ของอ้อยพันธุ์ K95-84 ที่ประเมินได้จากสมการนี้มีค่าเท่ากับ 18.88 ton rai^{-1} และมวลแห้งสูงสุดของผลผลิตลำอ้อยเท่ากับ 5.99 ton rai^{-1} หมายความว่าแม้ว่าอ้อยจะเติบโตมีอายุมากออกไปอีก มวลแห้งสูงสุดน่าจะมีค่าไม่เกินค่าเพดาน

ค่าคงที่สะท้อนอัตราเพิ่มของมวลแห้งของอ้อยต่ออายุ (α) ของมวลอ้อยทั้งหมดมีค่า 0.013 day^{-1} และมวลผลผลิตลำอ้อยมีค่า 0.014 day^{-1} ซึ่งค่าที่มากจะบอกว่าอ้อยมีการเติบโตได้เร็วกว่า ทำให้มีอัตราการเพิ่มมวลแห้งสูงสุด (อนุพันธ์ของสมการ) เกิดขึ้นในช่วงอายุที่เร็ว ค่า α ที่น้อยจะทำให้ช่วงที่เกิดอัตราการเพิ่มมวลแห้งสูงสุดของอ้อยยืดอายุออกไปอีกหรืออ้อยสุกแก่ช้า ในกรณีนี้ค่า α มีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.013 และ 0.014 kg rai^{-1} day^{-1} ทำให้ช่วงที่มีอัตราการเพิ่มมวลแห้งสูงสุดใกล้เคียงกัน ดังกราฟเส้นประในภาพที่ 16

อนุพันธ์ของสมการลอจิสติก (สมการที่ 10) ระหว่างอายุกับมวลแห้งของอ้อย คืออัตราการเพิ่มมวลแห้งต่ออายุ หรือค่าของมวลแห้งที่เปลี่ยนแปลงไปต่อหนึ่งหน่วยอายุของอ้อยที่เพิ่มขึ้น หน่วย kg rai^{-1} day^{-1}

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

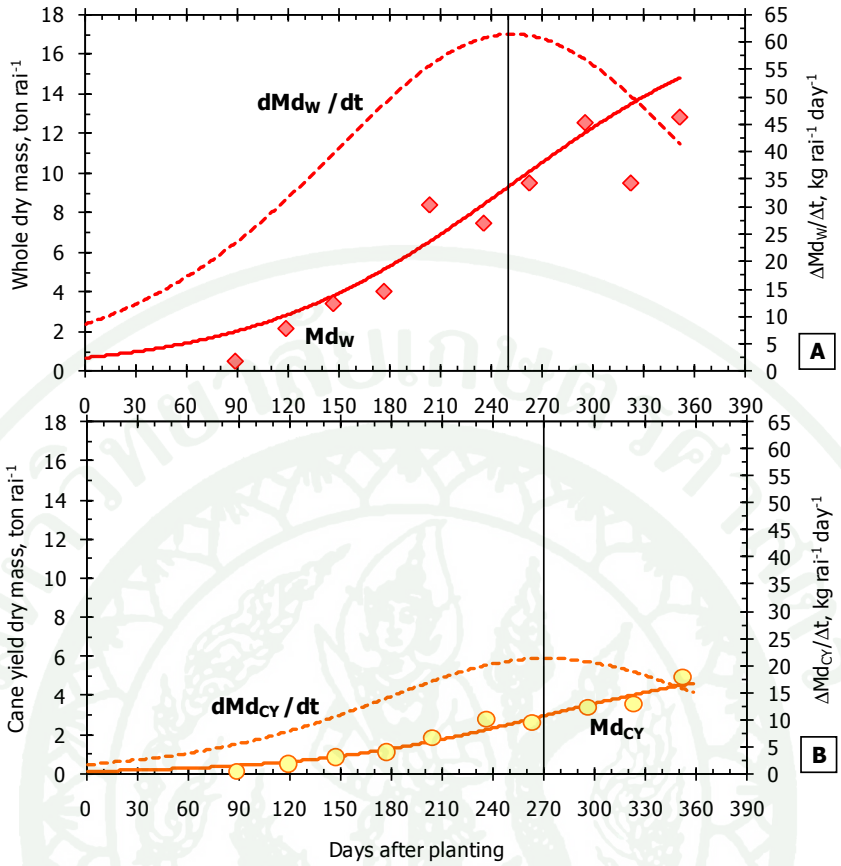
ค่าอนุพันธ์ของสมการลอจิสติก คือค่าความชันของแต่ละจุดย่อยๆ ของสมการลอจิสติก เมื่อนำมาเขียนเป็นกราฟจะมีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ (กราฟเส้นประของภาพที่ 16) คืออัตราการเพิ่มมวลแห้งของอ้อยจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของมวลจะยังคงเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ลดลงกว่าอัตราก่อนหน้า

อัตราการเพิ่มมวลแห้งสูงสุดของมวลอ้อยทั้งหมดเท่ากับ 61.4 kg rai^{-1} day^{-1} ที่อายุ 252 วันหลังปลูก อัตราการเพิ่มมวลแห้งสูงสุดของมวลผลผลิตลำอ้อยมีค่าเท่ากับ 21.3 kg rai^{-1} day^{-1} ที่อายุ 272 วันหลังปลูก หมายความว่าช่วงอายุตั้งแต่ปลูกจนถึงช่วงอายุที่มีอัตราการเพิ่มมวลแห้งสูงสุดเป็นช่วงที่อ้อยต้องการปัจจัยการผลิตที่จำเป็นในการเติบโตมาก หากสามารถจัดหาให้สอดคล้องกับช่วงอายุดังกล่าวได้ก็จะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตอ้อยได้

ตารางที่ 23 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากสมการลอจิสติก แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุของอ้อย (day) กับมวลแห้ง (ton rai^{-1})

Details	Md_o ton rai^{-1}	Md_m ton rai^{-1}	α day^{-1}	$Md_m Md_o$ ton rai^{-1}	$Md_m - Md_o$ ton rai^{-1}	R^2	d.f.
Whole plant dry mass (Md_w)	0.68	18.88	0.013	12.83	18.20	0.96	8
Cane yield dry mass (Md_{CY})	0.12	5.99	0.014	0.73	5.87	0.96	8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ในรูปฟังก์ชันลอจิสติกระหว่างอายุกับ A) มวลแห้งของมวลอ้อยทั้งหมด และ B) กับมวลผลผลิตลำอ้อย เส้นทึบคือมวลแห้งที่คำนวณโดยใช้พารามิเตอร์ในตารางที่ 23 สัญลักษณ์คือมวลแห้งที่วัดได้จริง เส้นประคืออัตราการเพิ่มมวลแห้งต่อหนึ่งหน่วยอายุ (อนุพันธ์ของฟังก์ชัน)

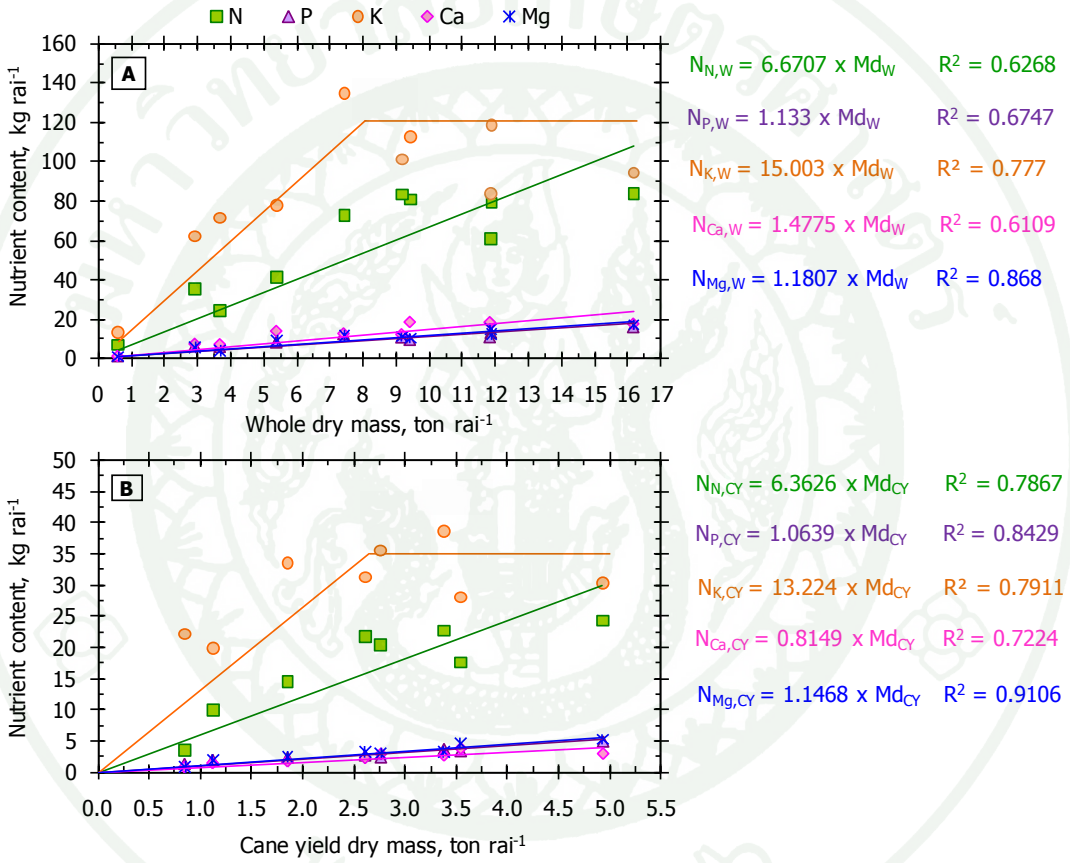
ปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นตามระดับผลผลิตของอ้อย

ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจะมีปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้นตามด้วย หากจะถือว่าปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในมวลแห้งของอ้อยแต่ละระดับของผลผลิตคือปริมาณธาตุอาหารพื้นฐานที่อ้อยต้องการ จึงได้แสดงปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏในแต่ละระดับผลผลิต หมายความว่าการจะได้ระดับผลผลิตอ้อยที่ต้องการ จะกำหนดด้วยอัตราปุ๋ยที่ให้ปริมาณธาตุอาหารพื้นฐานตามที่ปรากฏในผลผลิตนั้น

วิเคราะห์ข้อมูลระหว่างมวลแห้งกับปริมาณธาตุอาหารในอ้อยทั้งหมด ได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นดังภาพที่ 17 ค่าความชันของสมการ (หน่วย kg ton^{-1}) คือค่าความเข้มข้นเฉลี่ย ซึ่งได้ว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

N=0.667, P=0.113, K=1.5, Ca=0.148 และ Mg=0.118 (ตารางที่ 24) ส่วนผลผลิตลำอ้อยจะมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุอาหารได้ว่า N=0.636, P=0.106, K=1.322, Ca=0.081 และ Mg=0.115 (ตารางที่ 25) พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุอาหารแต่ละชนิดของมวลอ้อยทั้งหมดกับของมวลผลผลิตลำอ้อยมีค่าใกล้เคียงกัน ในกรณีของโพแทสเซียมพบว่ามีปริมาณคงที่เมื่ออ้อยมีมวลแห้งถึงค่าหนึ่ง



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณธาตุอาหารที่ปรากฏ (kg rai^{-1}) กับมวลของอ้อย (ton rai^{-1}) A) มวลอ้อยทั้งหมด B) มวลผลผลิตลำอ้อย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 24 ความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละชนิด (%dry mass) ของมวลแห้งอ้อยทั้งหมด

Nutrients	Average nutrients concentration, %dry mass		R^2
N	0.667		0.627
P	0.113		0.675
K_1	1.5	For $Md_W \leq$ 8.0 ton rai^{-1}	0.777
K_2	120 kg rai^{-1}	For $Md_W >$ 8.0 ton rai^{-1}	
Ca	0.148		0.611
Mg	0.118		0.868

หมายเหตุ Md_W คือ มวลแห้งทั้งหมดของอ้อย, ton rai^{-1}

ตารางที่ 25 ความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละชนิด (%dry mass) ของมวลแห้งผลผลิตลำอ้อย

Nutrients	Average nutrients concentration, %dry mass		R^2
N	0.636		0.787
P	0.106		0.843
K_1	1.322	For $Md_{CY} \leq$ 2.6 ton rai^{-1}	0.791
K_2	35 kg rai^{-1}	For $Md_{CY} >$ 2.6 ton rai^{-1}	
Ca	0.081		0.722
Mg	0.115		0.911

หมายเหตุ Md_{CY} คือ มวลแห้งของผลผลิตลำอ้อย, ton rai^{-1}

โพแทสเซียมเป็นธาตุที่พืชไม่ได้ใช้เป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อ แต่จะใช้ในการกำหนดพลังงานความดันของเซลล์ เพื่อสร้างแรงขับเคลื่อนในการขนส่งสารอาหารในระบบลำเลียง (Thompson and Zwieniecki, 2005) ผลการศึกษานี้จึงแสดงได้ชัดเจนว่า ขณะที่มหธาตุอีก 4 ชนิดมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณมวลแห้งของอ้อย แต่ปริมาณโพแทสเซียมจะเพิ่มขึ้นตามมวลในช่วงแรก คืออ้อยจะนำเข้าโพแทสเซียมจำนวนหนึ่งให้เพียงพอสำหรับใช้ในกระบวนการขนส่งสารอาหาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หลังจากนั้น อ้อยจะไม่ต้องการนำเข้าโพแทสเซียมอีก การให้ธาตุโพแทสเซียมจึงควรให้ในช่วงแรกของการเติบโตและให้ในปริมาณเพียงพอ

ปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นตามมวลแห้ง แบ่งออกเป็นสองส่วนคือปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นตามมวลแห้งของอ้อยทั้งหมด หมายถึงปริมาณธาตุอาหารพื้นฐานที่อ้อยต้องการใช้เพื่อสร้างมวลทั้งหมดรวมทั้งผลผลิต ใช้ในกรณีที่แปลงไม่เคยปลูกอ้อยมาก่อนหรือเทียบให้ดินมีธาตุอาหารอยู่น้อยมาก ปริมาณธาตุอาหารที่จะให้แก่อ้อยจึงมีความจำเป็นต้องมาจากปุ๋ยเคมีทั้งหมด อีกส่วนคือปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นตามมวลแห้งของผลผลิตลำอ้อย หมายถึงปริมาณธาตุอาหารพื้นฐานที่อ้อยต้องการใช้เพื่อสร้างเฉพาะผลผลิตลำอ้อย ใช้ในกรณีที่แปลงเคยปลูกอ้อยมาก่อน เช่นอ้อยตอจึงมีธาตุอาหารที่ติดอยู่กับชิ้นส่วนของอ้อยที่ยังค้างอยู่ในแปลง เช่น ใบ เหง้า ราก เพราะฉะนั้นปริมาณธาตุอาหารที่จะให้แก่อ้อย ก็มีเฉพาะส่วนที่ติดออกไปกับผลผลิตลำอ้อยที่ถูกตัดเข้าโรงงาน ซึ่งมีวิธีการคำนวณปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นตามระดับผลผลิต ดังนี้

กรณีที่ 1 ปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นตามมวลแห้งของอ้อยทั้งหมด

1) กำหนดระดับผลผลิตลำอ้อยสดที่ต้องการ (ton rai^{-1}) แสดงค่าดังคอลัมน์แรกของตารางที่ 26

2) คำนวณมวลสดของอ้อยทั้งหมดจากมวลผลผลิตลำอ้อยสดที่กำหนดไว้ในข้อ 1) โดยใช้ค่าเฉลี่ยร้อยละของมวลผลผลิตลำอ้อยสดต่อมวลสดของอ้อยทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 32.1 (ข้อมูลจากตารางที่ 6) หมายถึงนำค่าที่กำหนดไว้ในข้อ 1) หารด้วย 32.1%

3) คำนวณมวลแห้งของมวลอ้อยทั้งหมด โดยใช้ค่าสัดส่วนร้อยละมวลแห้งต่อมวลสดของมวลอ้อยทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 24.8 (ข้อมูลจากตารางที่ 6) หมายถึงนำค่าที่ได้ในข้อ 2) คูณด้วย 24.8% (ดังสมการที่ 25) แสดงค่าที่ได้ดังคอลัมน์ที่ 2 ของตารางที่ 26

4) คำนวณปริมาณธาตุอาหารในมวลอ้อยทั้งหมด โดยนำค่ามวลแห้งของอ้อยทั้งหมดที่คำนวณได้จากข้อ 3) คูณกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละชนิด (%dry mass) ของมวลอ้อยทั้งหมด (ตารางที่ 24) ด้วยสมการที่ 27 จะได้ปริมาณธาตุอาหารของมวลอ้อยทั้งหมดในแต่ละระดับผลผลิต (แสดงข้อมูลดังคอลัมน์ที่ 3-7 ของตารางที่ 26)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรณีที่ 2 ปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นตามมวลผลผลิตลำอ้อย

1) คำนวณมวลแห้งของระดับผลผลิตลำอ้อยสดที่ได้กำหนดไว้ในข้อ 1) ของกรณีที่ 1 โดยใช้ค่าเฉลี่ยร้อยละมวลแห้งต่อมวลสดของผลผลิตลำอ้อย เท่ากับ 19.4 (ข้อมูลจากตารางที่ 9) คำนวณโดยใช้สมการที่ 26 (แสดงค่าที่ได้ดังคอลัมน์ที่ 2 ของตารางที่ 27)

2) คำนวณปริมาณธาตุอาหารในมวลผลผลิตลำอ้อย โดยนำค่ามวลแห้งของผลผลิตลำอ้อยที่คำนวณได้จากข้อ 1) คูณกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละชนิด (%dry mass) ของมวลผลผลิตลำอ้อย (ตารางที่ 25) ด้วยสมการที่ 27 จะได้ปริมาณธาตุอาหารของมวลผลผลิตลำอ้อย ในแต่ละระดับผลผลิต (แสดงข้อมูลดังคอลัมน์ที่ 3-7 ของตารางที่ 27)

$$Md_W = \left(Mf_{CY} \,/\, 32.1\%\right) \times 24.8\% \qquad (25)$$

$$Md_{CY} = Mf_{CY} \times 19.4\% \qquad (26)$$

$$N_i\left(\frac{kg}{rai}\right) = Md\left(\frac{ton}{rai}\right) \times \frac{1000kg}{ton} \times c_i \times \frac{g}{100g} \qquad (27)$$

ตารางที่ 26 และ 27 แสดงปริมาณมหธาตุอาหารทั้ง 5 ชนิด ที่ปรากฏในแต่ละระดับของผลผลิต จะพบว่าผลผลิตลำอ้อยที่สูงก็จะมีปริมาณธาตุอาหารพื้นฐานที่อ้อยต้องการสูงขึ้นตามไปด้วย ยกเว้นปริมาณของโพแทสเซียมที่ปรากฏในมวลแห้งจะไม่เพิ่มปริมาณขึ้นเมื่ออ้อยมีมวลแห้งค่าหนึ่ง คือ เมื่อมวลแห้งของอ้อยทั้งหมดเท่ากับ 8 ton rai^{-1} จะมีโพแทสเซียม 120 kg rai^{-1} เมื่อมวลของผลผลิตลำอ้อยมีค่า 2.6 ton rai^{-1} จะมีโพแทสเซียม 35 kg rai^{-1} แสดงถึงว่าอ้อยมีการใช้โพแทสเซียมหมุนเวียนในต้น

ปริมาณธาตุอาหารที่พบในมวลของอ้อยทั้งหมดพบว่าเป็นปริมาณที่สูงมากดังตารางที่ 26 แต่ปริมาณธาตุอาหารในผลผลิตลำอ้อยจะมีค่าน้อยกว่า เมื่อคิดเป็นร้อยละของปริมาณธาตุอาหารในมวลผลผลิตลำอ้อยเทียบกับในมวลของอ้อยทั้งหมด จะมีค่าร้อยละดังนี้ N=24, P=23.6, K=23.6, Ca=13.4 และ Mg=24.4 นั่นคือปริมาณธาตุอาหารที่ถูกนำออกจากแปลงจะมีค่าประมาณร้อยละ13-24 จึงไม่เป็นภาระที่หนักในการนำธาตุอาหารกลับคืนสู่แปลง ฉะนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใส่ธาตุอาหารกลับคืนสู่แปลงอ้อยให้ได้อย่างน้อยเท่ากับปริมาณธาตุอาหารที่ถูกนำออกไปกับผลผลิต เพื่อเป็นการรักษาระดับผลผลิตอีกทั้งจะเป็นการผลิตอ้อยได้อย่างยั่งยืน

ตารางที่ 26 ปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นตามมวลของอ้อยทั้งหมด

Cane yield fresh mass, ton rai^{-1}	Whole dry mass, ton rai^{-1}	Nutrient contents				
		N	P	K	Ca	Mg
		kg rai^{-1}				
2	1.5	10.3	1.8	23.2	2.3	1.8
4	3.1	20.6	3.5	46.4	4.6	3.6
6	4.6	30.9	5.3	69.5	6.8	5.5
8	6.2	41.2	7.0	92.7	9.1	7.3
10	7.7	51.5	8.8	115.9	11.4	9.1
12	9.3	61.8	10.5	120.0	13.7	10.9
14	10.8	72.2	12.3	120.0	16.0	12.8
15	11.6	77.3	13.1	120.0	17.1	13.7
16	12.4	82.5	14.0	120.0	18.3	14.6
18	13.9	92.8	15.8	120.0	20.5	16.4
20	15.5	103.1	17.5	120.0	22.8	18.2
22	17.0	113.4	19.3	120.0	25.1	20.1
24	18.5	123.7	21.0	120.0	27.4	21.9
25	19.3	128.8	21.9	120.0	28.5	22.8
26	20.1	134.0	22.8	120.0	29.7	23.7
28	21.6	144.3	24.5	120.0	32.0	25.5
30	23.2	154.6	26.3	120.0	34.2	27.4
32	24.7	164.9	28.0	120.0	36.5	29.2
35	27.0	180.4	30.6	120.0	40.0	31.9

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 27 ปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นตามมวลผลผลิตลำอ้อย

Cane yield fresh mass, ton rai^{-1}	Cane yield dry mass, ton rai^{-1}	Nutrient contents				
		N	P	K	Ca	Mg
		kg rai^{-1}				
2	0.4	2.5	0.4	5.1	0.3	0.4
4	0.8	4.9	0.8	10.3	0.6	0.9
6	1.2	7.4	1.2	15.4	0.9	1.3
8	1.6	9.9	1.7	20.5	1.3	1.8
10	1.9	12.3	2.1	25.7	1.6	2.2
12	2.3	14.8	2.5	30.8	1.9	2.7
14	2.7	17.3	2.9	35.0	2.2	3.1
15	2.9	18.5	3.1	35.0	2.4	3.3
16	3.1	19.7	3.3	35.0	2.5	3.6
18	3.5	22.2	3.7	35.0	2.8	4.0
20	3.9	24.7	4.1	35.0	3.2	4.4
22	4.3	27.2	4.5	35.0	3.5	4.9
24	4.7	29.6	5.0	35.0	3.8	5.3
25	4.9	30.9	5.2	35.0	4.0	5.6
26	5.0	32.1	5.4	35.0	4.1	5.8
28	5.4	34.6	5.8	35.0	4.4	6.2
30	5.8	37.0	6.2	35.0	4.7	6.7
32	6.2	39.5	6.6	35.0	5.1	7.1
35	6.8	43.2	7.2	35.0	5.5	7.8

ปุ๋ยที่ใส่เมื่อเริ่มต้นทดลองโดยคาดการณ์ว่าจะได้ผลผลิตลำอ้อยสด 20 ton rai^{-1} แต่ผลประเมินจากการทดลองพบว่าที่ระดับผลผลิต 20 ton rai^{-1} มีปริมาณธาตุอาหารชนิดต่างๆ ที่ปรากฏในมวลอ้อยทั้งหมดและมวลผลผลิตลำอ้อย ดังตารางที่ 28 แสดงว่าปริมาณธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลองเพียงพอสำหรับการสร้างมวลของผลผลิตลำอ้อย แต่ไม่เพียงพอสำหรับการสร้างมวลอ้อยทั้งหมด เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนของ N:P:K ของปริมาณธาตุอาหารที่ใช้เมื่อเริ่มต้นทดลองเท่ากับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2:1:4 ในขณะที่ผลจากการประเมินจาการลดลองพบว่า สำหรับมวลอ้อยทั้งหมดจะมีสัดส่วนของธาตุอาหาร 6:1:9 และมวลผลผลิตลำอ้อยเท่ากับ 6:1:10 (ใช้ค่าเฉลี่ยของระดับผลผลิต 1-35 ตัน ไร่$^{-1}$)

ข้อมูลมวลชีวภาพของอ้อยที่ประเมินได้จากฟังก์ชันลอจิสติก เมื่อหาอัตราการสร้างมวลของอ้อยในแต่เดือนเทียบกับมวลเมื่อเก็บเกี่ยว ได้ข้อมูลดังตารางที่ 26 พบว่ามวลทั้งหมดของอ้อยถูกสร้างขึ้น 57%ของมวลเมื่อเก็บเกี่ยว เมื่ออ้อยอายุ 8 เดือน ซึ่งมีการเพิ่มมวลสูงสุดของมวลทั้งหมดของอ้อยเท่ากับ 61.4 kg rai^{-1} day^{-1} และมวลของผลผลิตลำอ้อยถูกสร้างขึ้น 63%ของมวลเมื่อเก็บเกี่ยว ซึ่งมีการเพิ่มมวลสูงสุดของมวลผลผลิตลำอ้อยเท่ากับ 21.3 kg rai^{-1} day^{-1} แสดงถึงเป็นช่วงที่อ้อยมีการเติบโตสูงสุด

ปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้นตามมวล เมื่อทราบปริมาณของมวลที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ทราบปริมาณของธาตุอาหารชนิดต่างๆ ที่เพิ่มตามด้วย ยกตัวอย่างที่ระดับผลผลิตลำอ้อยสด 15 ตัน ไร่$^{-1}$ จะต้องให้ธาตุอาหารเพื่อสร้างมวลทั้งหมดของอ้อยเท่ากับ 77.3 กก.N, 13.1 กก.P, 120 กก.K, 17.1 กก.Ca และ 13.7 กก.Mg (ตารางที่ 29) ที่อายุ 8.4 เดือน อ้อยมีมวลเพิ่มขึ้น 57%ของมวลเมื่อเก็บเกี่ยว เพราะฉะนั้นอ้อยจะต้องการปริมาณธาตุอาหารเป็น 57%ของปริมาณธาตุอาหารทั้งหมดที่ปรากฏในระดับผลผลิต 15 ตัน ไร่$^{-1}$ คิดเป็น 44.1 กก.N, 7.5 กก.P, 68.4 กก.K, 9.7 กก.Ca และ 7.8 กก.Mg ก็จะเหลือธาตุอาหารอีก 43% ทีต้องใส่เพิ่มให้กับอ้อย แต่อย่างไรก็ตามในด้านปฏิบัติอาจมีความลำบากในการเข้าไปใส่ปุ๋ยให้กับอ้อยให้ตรงกับช่วงอายุดังกล่าว ถ้ามีการใช่ปุ๋ยให้กับอ้อย 3 ครั้งในหนึ่งฤดูปลูก อาจใส่เป็นปุ๋ยรองพื้น 7% ใส่ 36% เมื่ออ้อยอายุ 2 เดือน และใส่ 57% เมื่ออ้อยอายุ 5 เดือน

ตารางที่ 28 ปริมาณธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลองเปรียบเทียบกับผลที่ประเมินได้จากการทดลองที่ระดับผลผลิตลำอ้อยสด 20 ton rai^{-1}

		Nutrient contents, kg rai^{-1}				
		N	P	K	Ca	Mg
Expect	Apply to the experiment	60.0	36.0	144.0	33.6	25.0
Result	Appear in whole dry mass	103.1	17.5	120.0	22.8	18.2
	Appear in cane dry mass	24.7	4.1	35.0	3.2	4.4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 29 อัตราการสร้างมวลแห้งของอ้อยในแต่ละเดือนเทียบกับมวลแห้งเมื่อเก็บเกี่ยว

	Dry mass accumulation, %	
Months after planting	Whole plant	Cane yield
1	7	4
2	9	6
3	13	9
4	19	13
5	26	19
6	35	27
7	45	38
8	57	50
9	69	63
10	81	77
11	91	89
12	100	100

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุป

จากการศึกษาเรื่องมวลชีวภาพและปริมาณมหธาตุอาหารของอ้อยโดยใช้ อ้อยพันธุ์ K95-84 เป็นตัวอย่างในการทดลอง เพื่อตอบคำถามว่าอ้อยมีการเติบโตสูงสุดที่ช่วงอายุไหนและต้องการปริมาณธาตุอาหารเท่าไรในแต่ละระดับผลผลิตที่เพิ่มขึ้น เพื่อใช้การกำหนดปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมและสอดคล้องกับการเติบโตของอ้อย โดยมีข้อสรุปดังนี้

1. มวลชีวภาพของอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุ พบว่ามวลแห้งมีความสัมพันธ์กับอายุในรูปของฟังก์ชันยกกำลังลอจิสติก ซึ่งได้ค่ามวลแห้งสูงสุด (Md_m) ของอ้อยทั้งหมด เท่ากับ 18.88 ton rai^{-1} และมวลแห้งสูงสุดของผลผลิตลำอ้อยเท่ากับ 5.99 ton rai^{-1} มีค่าคงที่สะท้อนการเปลี่ยนแปลงมวล (α) ของมวลอ้อยทั้งหมดเท่ากับ 0.013 day^{-1} และมวลผลผลิตลำอ้อยเท่ากับ 0.014 day^{-1} ทำให้ทราบว่ามวลอ้อยทั้งหมดมีอัตราการเพิ่มมวลแห้งต่ออายุ (dMd/dt) สูงสุด 61.4 kg rai^{-1}day^{-1} ที่อายุ 252 วันหลังปลูก (ประมาณ 8.5 เดือน) และมวลผลผลิตลำอ้อยมีค่า dMd/dt สูงสุด 21.3 kg rai^{-1}day^{-1} ที่อายุ 272 วันหลังปลูก (ประมาณ 9 เดือน) ช่วงอายุดังกล่าวจึงเป็นช่วงที่อ้อยต้องการมหธาตุอาหารสำหรับการเติบโตสูงสุดด้วย

2. ความเข้มข้นของธาตุอาหารในชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อย พบว่าใบสดจะมีความเข้มข้นของธาตุอาหารทุกชนิดอยู่สูงกว่าส่วนอื่น ความเข้มข้นของโพแทสเซียมจะพบค่าสูงในกาบใบสด เปรียบเทียบความเข้มข้นระหว่างธาตุอาหารแต่ละชนิด พบว่าโพแทสเซียมจะมีความเข้มข้นสูงสุด รองลงมาคือไนโตรเจน แคลเซียม ฟอสฟอรัสและแมกนีเซียม ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ได้จากความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างมวลแห้งกับปริมาณธาตุอาหาร (%dry mass) มีค่าดังนี้ คือ มวลของอ้อยทั้งหมดมีความเข้มข้นของ N=0.667, P=0.113, K=1.5, Ca=0.148 และ Mg=0.118 มวลของผลผลิตลำอ้อยมีความเข้มข้นของ N=0.636, P=0.106, K=1.322, Ca=0.081 และ Mg=0.115

3. ปริมาณธาตุธาตุอาหารที่ปรากฏในอ้อย พบว่าลำอ้อยทั้งหมดคือส่วนที่มีปริมาณธาตุอาหารทุกชนิดอยู่มากที่สุด รองลงมาคือใบสดแต่จะมีปริมาณลดลงเมื่ออ้อยมีอายุมากกว่า 10 เดือน เพราะมวลแห้งของใบสดลดลงอย่างเห็นได้ชัด แม้ว่าความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ ภายในใบสดจะไม่ลดลงอย่างชัดเจน

4. ปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นตามระดับผลผลิต พบว่าเมื่อผลผลิตเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณธาตุอาหารชนิดต่างๆ เพิ่มตามขึ้นไปด้วย ยกเว้นโพแทสเซียมจะมีค่าคงที่ที่ระดับมวลแห้งหนึ่ง คือ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มวลอ้อยทั้งหมดจะมีปริมาณโพแทสเซียมคงที่ 120 kg rai^{-1} ที่มวลแห้ง 8 ton rai^{-1} มวลผลผลิตลำอ้อยจะมีปริมาณโพแทสเซียมคงที่ 35 kg rai^{-1} ที่มวลแห้ง 2.6 ton rai^{-1} ทั้งนี้เพราะพืชไม่ได้ใช้โพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อ แต่ใช้ในกระบวนการขนส่งสารอาหารในท่อลำเลียง ซึ่งสามารถหมุนเวียนนำมาใช้ได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรประเมินผลผลิตลำอ้อยที่สามารถเก็บเกี่ยวเข้าโรงงานได้ในแต่ละช่วงอายุ จะทำให้คำนวณค่าดัชนีเก็บเกี่ยวที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงอายุได้ แทนการประเมินเมื่อเก็บเกี่ยวครั้งสุดท้ายเพียงครั้งเดียว ในงานทดลองนี้ไม่ได้ประเมินเช่นนั้น ค่ามวลของผลผลิตลำอ้อยในแต่ละอายุจึงเป็นค่าที่คำนวณได้โดยใช้ค่าดัชนีเก็บเกี่ยวครั้งสุดท้าย

2. วิธีการสุ่มมวลของลำ ควรสุ่มแบบผ่าตามยาวตั้งแต่ปลายถึงโคนของลำ แทนการสุ่มแต่ละจุด เช่น โคน กลาง ปลาย เพราะจะได้ตัวแทนของลำที่สม่ำเสมอกว่า

3. ควรมีการประเมินมวลและความเข้มข้นของธาตุอาหารของส่วนที่แห้งตาย เช่น ใบและกาบใบแห้ง ตั้งแต่ใบเริ่มเหลืองจนกระทั่งแห้งสนิท เพื่อตอบคำถามว่าปริมาณธาตุอาหารจากใบและกาบใบถูกดูดกลับเข้าสู่ต้นอ้อยก่อนที่ใบและกาบใบจะแห้งไปเป็นปริมาณเท่าไร หรือธาตุอาหารที่ติดอยู่ที่ใบและกาบใบแห้งถูกฝนชะล้างและเน่าเปื่อยไปเป็นปริมาณเท่าไร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กิตติพงษ์ อภิชาติเมธี. 2539. **การศึกษามวลชีวภาพของไม้พื้นล่างและซากพืชในป่าผสมผลัดใบที่สถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำแม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จันทร์สว่าง ศรีหาตา. 2547. **การศึกษาเบื้องต้นถึงอิทธิพลของความชื้นในดินและในกาบใบต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพของอ้อย 5 พันธุ์ที่ปลูกบนดินกำแพงแสน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จินตณา บางจั่น. 2545. **มวลชีวภาพและปริมาณธาตุอาหารหลักของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM 600 (Heveabrasiliensis Muell.Arg.). ในภาคตะวันออก.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จินตณา บางจั่นและสุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. 2544. มวลชีวภาพและปริมาณธาตุอาหารหลักของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ในภาคตะวันออก. *ใน* **รายงานโครงการสรีรวิทยาการผลิตยางพารา**, สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชรินทร์ สมาธิ. 2528. **การวิเคราะห์ผลผลิตขั้นปฐมภูมิของไม้เสม็ดขาวในป่าพรุ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ถวิล ครุฑกุล. 2522. **การจัดการดินกับการปลูกอ้อย**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 65 น.

ปราณี สนธิ. 2548. **การศึกษาอิทธิพลของระยะปลูกและอัตราปุ๋ยที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต ของอ้อยปลูกในเนื้อดินปานกลางและการศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนการ ผลิตอ้อยปลูกในเนื้อดินละเอียดที่มีระยะปลูกต่างกัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พีรดา กลมสะอาด. มปป. **พันธุ์อ้อยที่เหมาะสมในแต่ละเขตส่งเสริมและการทำแปลงพันธุ์อ้อย.** บริษัท มิตรผลวิจัย พัฒนาอ้อยและน้ำตาล จำกัด สาขามิตรภูเวียง, ขอนแก่น.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2543. **ธาตุอาหารพืช.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศุภฤกษ์ กลิ่นหวล. 2547. **อิทธิพลของระยะแถวปลูกและอัตราปุ๋ยที่มีต่อการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของอ้อยปลูกทั้งข้ามแล้งและต้นฝนในกลุ่มดินเนื้อหยาบ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุจิณีย์ เตชะวิริยะทวีสิน. 2547. **ประสิทธิภาพของการใช้น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรเป็นปุ๋ยสำหรับอ้อย พันธุ์ เค 88-92 ที่ปลูกบนดินร่วนปนทราย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุรเดช จินตกานนท์, เกษม สุขสถาน และผกาทิพย์ จินตกานนท์. 2542. **การศึกษาผลผลิตและองค์ประกอบธาตุอาหารพืชของอ้อย.** ว.เกษตรศาสตร์(วิทย.) 33: 10-20.

สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์และจินตณา บางจั่น. 2545. มวลชีวภาพและปริมาณธาตุอาหารหลักของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ในภาคใต้ตอนล่าง**.** *ใน* **รายงานโครงการสรีรวิทยาการผลิตยางพารา.** สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์ และพัทธนันท์ เรืองวิทยาโชติ. 2551. **ข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยาของสะละของจันทบุรี.** ศูนย์เทคโนโยลีชีวภาพเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม. 65 หน้า

อุดมลักษณ์ อำพันทอง. 2547. **อิทธิพลของระยะแถวปลูกและอัตราปุ๋ยที่มีต่อการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของอ้อยปลูกในดินเนื้อปูนและอ้อยตอ 1 ในดินเนื้อหยาบ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อภิรักษ์ อนันต์ศิริวัฒน์. 2529. **ผลผลิตมวลชีวภาพกับสมบัติบางประการของดินเหมืองแร่ร้างบางม่วง ตะกั่วป่า พังงา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. *อ้างถึง* Kira T.and T. Shidei. 1967. **Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystem of the western Pacific.** Jap. J. Ecol. 17 : 70-87.

Hunsigi, G., 1993. **Production of Sugarcane: Theory and Practice.** Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Hunt, R. 1990. **Basic Growth Analysis.** Cambridge University Press, The Acadamic Divison of Unwin Hyman Ltd., London, UK. 112 p.

Marschner. H. 1995. **Mineral Nutrient of Higher Plant.** 2nd edition. Academic press, Great Britain, UK 889 P.

Thompson, M.V. and M.A. Zwieniecki. 2005. The role of potassium in long distance transport in plants. p. 221-240. In N.M. Holbrook and M.A. Zwieniecki (eds.). **Vascular Transport in Plants**. Elsevier Academic Press. U.S.A.

Thornley, J.H.M. and I. R. Johnson. 1990. **Plant and Crop Modeling : a Mathematical Approach to Plant and Crop Physiology.** Clarendon Press, Oxford, Great Britain. P. 78-80.

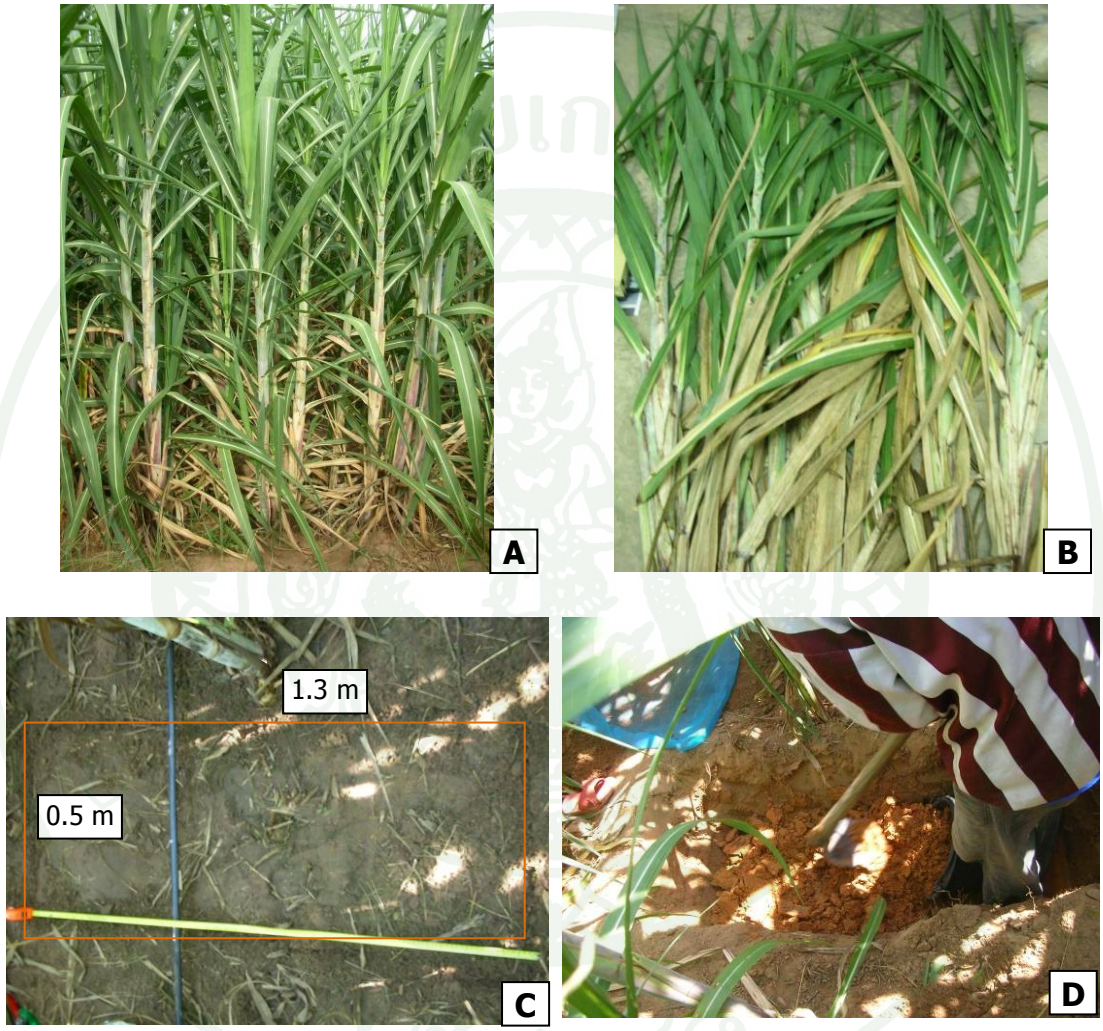
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

การเก็บตัวอย่างอ้อยในแปลงทดลอง

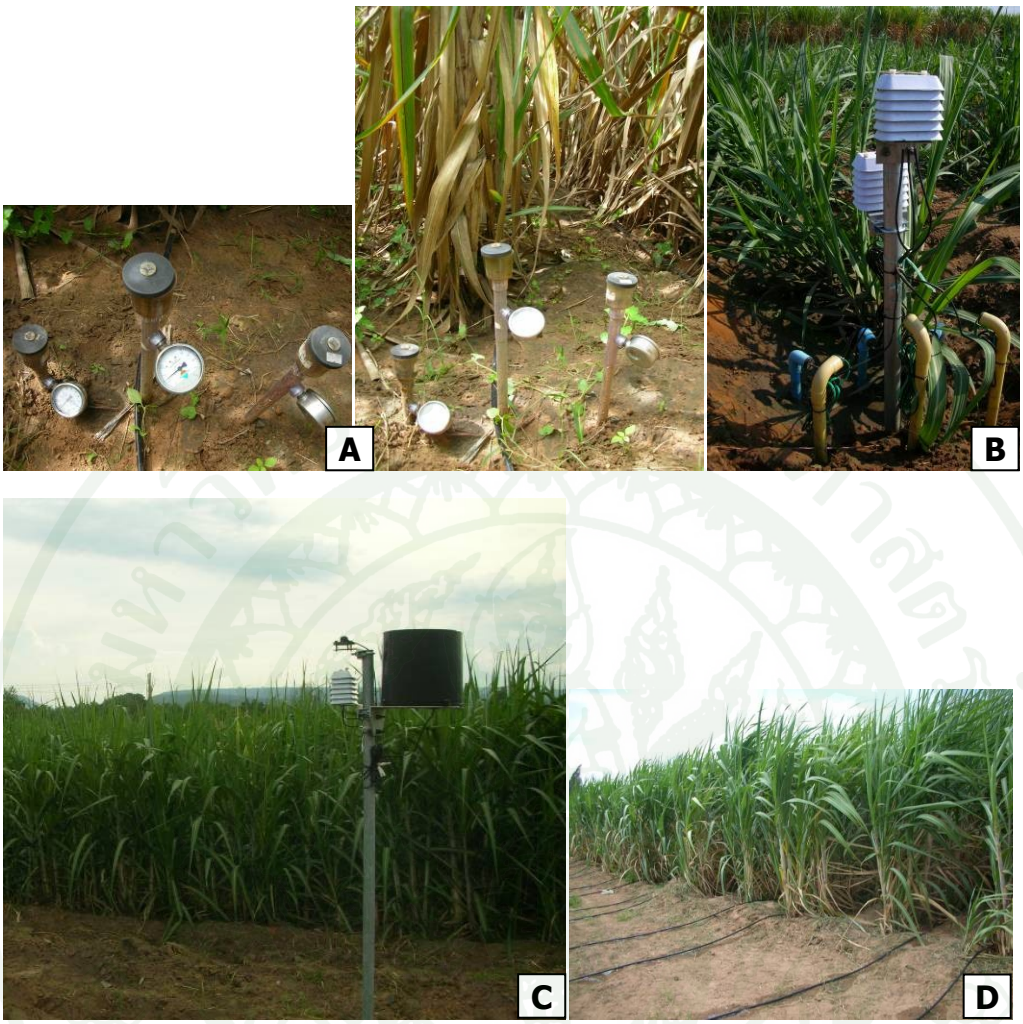


ภาพผนวกที่ 1 วิธีการเก็บตัวอย่างมวลชีวภาพของอ้อย A) สุ่มเลือกอ้อยที่สมบูรณ์ B-C) ตัดอ้อยส่วนเหนือดินทั้งหมดในพื้นที่ 0.5 x 1.3 m^2 D) ขุดเก็บมวลส่วนใต้ดิน คือ เหง้าและราก ที่ระดับชั้นความลึกของดินทุก 10 cm ในระดับความลึก 0-50 cm

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ 2 ชิ้นส่วนต่างๆ ของอ้อย A) ใบยอดและลำอ้อยทั้งหมด B) ใบสด C) กาบใบสด D) ใบและกาบใบแห้งตาย E) เหง้า F) ผลผลิตลำอ้อยสด และ G) รากอ้อยในแต่ละระดับชั้นความลึกของดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมที่อ้อยเติบโต เครื่องมือวัดค่าพลังงานกำกับก้อนดิน คือ Tensiometer (A) และ Soil Water-mark (B) สถานีอากาศเก็บข้อมูลความเข้มแสงแดด อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และปริมาณน้ำฝน (C) และระบบน้ำหยดในแปลงอ้อย (D)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

สภาพอากาศระหว่างการเติบโตของอ้อย

สภาพอากาศมีผลอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืช สำหรับอ้อยที่มีอายุปลูกประมาณ 12 เดือน ถ้าปลูกให้ระยะการเติบโตต่างๆ สอดคล้องกับสภาพอากาศก็จะทำให้การเติบโตของอ้อยเป็นไปได้ดี ข้อมูลสภาพอากาศประกอบด้วย 1) ความเข้มแสงแดดในช่วงคลื่นที่ใบพืชใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ 400-700 nm (Photosynthetic Photon Flux, PPF) 2) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 3) ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (Air Vapor Pressure Deficit, VPD_{air}) ซึ่งสะท้อนระดับความแห้งของอากาศที่มีผลต่อการคายน้ำของใบ คำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 4) ปริมาณน้ำฝนและจำนวนวันที่ฝนตก ข้อมูลที่ได้แสดงเป็นค่าเฉลี่ยทุก 15 วัน ยกเว้นปริมาณน้ำฝนและจำนวนวันที่ฝนตกเป็นค่ารวมของแต่ละเดือน (ตารางผนวกที่ 1 และภาพผนวกที่ 4E)

ปริมาณน้ำฝนและจำนวนวันฝนตก

พบว่ามีปริมาณน้ำฝนรวมตลอดทั้งปี พ.ศ. 2551 จำนวน 671.7 mm และมีจำนวนวันที่ฝนตกทั้งปี 94 วัน มีเดือนที่ฝนตก 0-7 วัน อยู่ 3 ช่วงคือ 1) ม.ค.-เม.ย. 2) มิ.ย.-ก.ค. และ 3) พ.ย.-ธ.ค. เดือน ก.ย. มีฝนตกมากที่สุด 263 mm การกระจายตัวของฝนไม่ต่อเนื่องตลอดทั้งปี

พลังงานแสงแดด (photosynthetic photon flux, PPF)

พลังงานแสงแดดเป็นปัจจัยหนึ่งของกระบวนการสังเคราะห์แสงของใบพืช ขณะเดียวกันถ้ามีมากเกินไปก็จะส่งผลต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศด้วย ค่าเฉลี่ยของพลังงานแสงแดดมีค่า 873-927 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ ในช่วงเดือน พ.ค.-มิ.ย. 51 เดือน เม.ย.51 มีค่าสูงสุด 2,322 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ ช่วงเดือน ต.ค.-พ.ย. ความเข้มแสงแดดมีค่าเพียง 566-574 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ จำนวนชั่วโมงที่มีแสงแดดเฉลี่ยตลอดทั้งปีมีค่า 11.9 ชั่วโมงต่อวัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุณหภูมิของอากาศ (air temperature)

ถ้าพลังงานแสงแดดสูงจะส่งผลให้อุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น อุณหภูมิในช่วงกลางวันมีค่า 25.7-30.9 C มีค่าสูงสุด 36.2 C ตอนเดือน เม.ย.51 ช่วงเดือน มี.ค.-เม.ย. มีอุณหภูมิสูงสุด 35.3-37.3 C

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (air humidity)

ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทั้งปีในตอนกลางวันมีค่า 44.5-79.6% ช่วงเดือน ก.พ.-ต้นเดือน เม.ย.ความชื้นสัมพัทธ์มีค่า 24-34.1 ซึ่งถือว่าต่ำและตรงกับช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศสูงสุดด้วย

แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (vapor pressure deficit, VPD_{air})

ค่าแรงดึงระเหยน้ำของอากาศเป็นดัชนีบอกถึงระดับความแห้งของอากาศ โดยเป็นค่ารวมปัจจัยของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิเข้าด้วยกัน ค่าแรงดึงระเหยน้ำที่สูงขึ้นหมายถึงอากาศมีความแห้งระดับรุ่นแรงขึ้น ค่าแรงดึงระเหยน้ำที่มากกว่า 2.5 kPa แสดงถึงอากาศมีความแห้งรุนแรง (สุนทรี, 2551) ค่าเฉลี่ยของแรงดึงระเหยน้ำของแปลงปลูกอ้อย มีค่า 0.8-2.6 kPa แต่ค่าแรงดึงระเหยน้ำสูงสุดมีค่ามากกว่า 2.5 kPa เกือบตลอดทั้งปี

พลังงานกำกับก้อนดิน

วัดสภาพของน้ำในดินด้วยเครื่องวัดแรงดึงน้ำของดิน (Tensiometer) 3 ระดับความลึกของชั้นดิน คือ 10, 30 และ 60 cm ค่าที่ติดลบมากแสดงว่าน้ำมีค่าพลังงานกำกับก้อนดินต่ำเพราะถูกก้อนดินยึดไว้ ทำให้การถูกปลดปล่อยจากดินให้พืชนำไปใช้ประโยชน์เกิดได้ยาก ค่าเท่ากับ 0 หมายถึงดินอิ่มตัวด้วยน้ำ พืชจะดูดน้ำนำไปใช้ได้ง่ายที่สุด (สุนทรี, 2551) พบว่าค่าเฉลี่ยของพลังงานกำกับก้อนดินทั้ง 3 ระดับความลึกมีค่าใกล้เคียงกัน ช่วง ส.ค.-ก.ย.51 ซึ่งมีฝนตกปริมาณมาก โดยที่ค่าพลังงานกำกับก้อนดินระดับ 0-10 cm จะมีค่าสูงไม่เกิน -10 kPa นั่นหมายถึงว่าหน้าดินแฉะตลอดช่วงเดือน พ.ย.-ธ.ค. 51 ค่าพลังงานกำกับก้อนดินของน้ำที่ระดับความลึกระดับ 0-10 cm ลดลงอย่างรวดเร็ว มีค่าอยู่ในช่วง -28.1 ถึง -54.6 kPa และน้ำในดินชั้น 10-20 cm มีค่าพลังงานกำกับก้อนดินสูงกว่าอยู่ในช่วง -16.4 ถึง -18.6 kPa จึงพบว่ารากของอ้อยลงไปได้ลึกมากขึ้น (ตารางที่ 15)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลสภาพอากาศเฉลี่ยทุก 15 วัน ของแปลงปลูกอ้อย บริษัท น้ำตาลครบุรี จำกัด อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา (ช่องว่างคือช่วงที่อุปกรณ์ชำรุด)

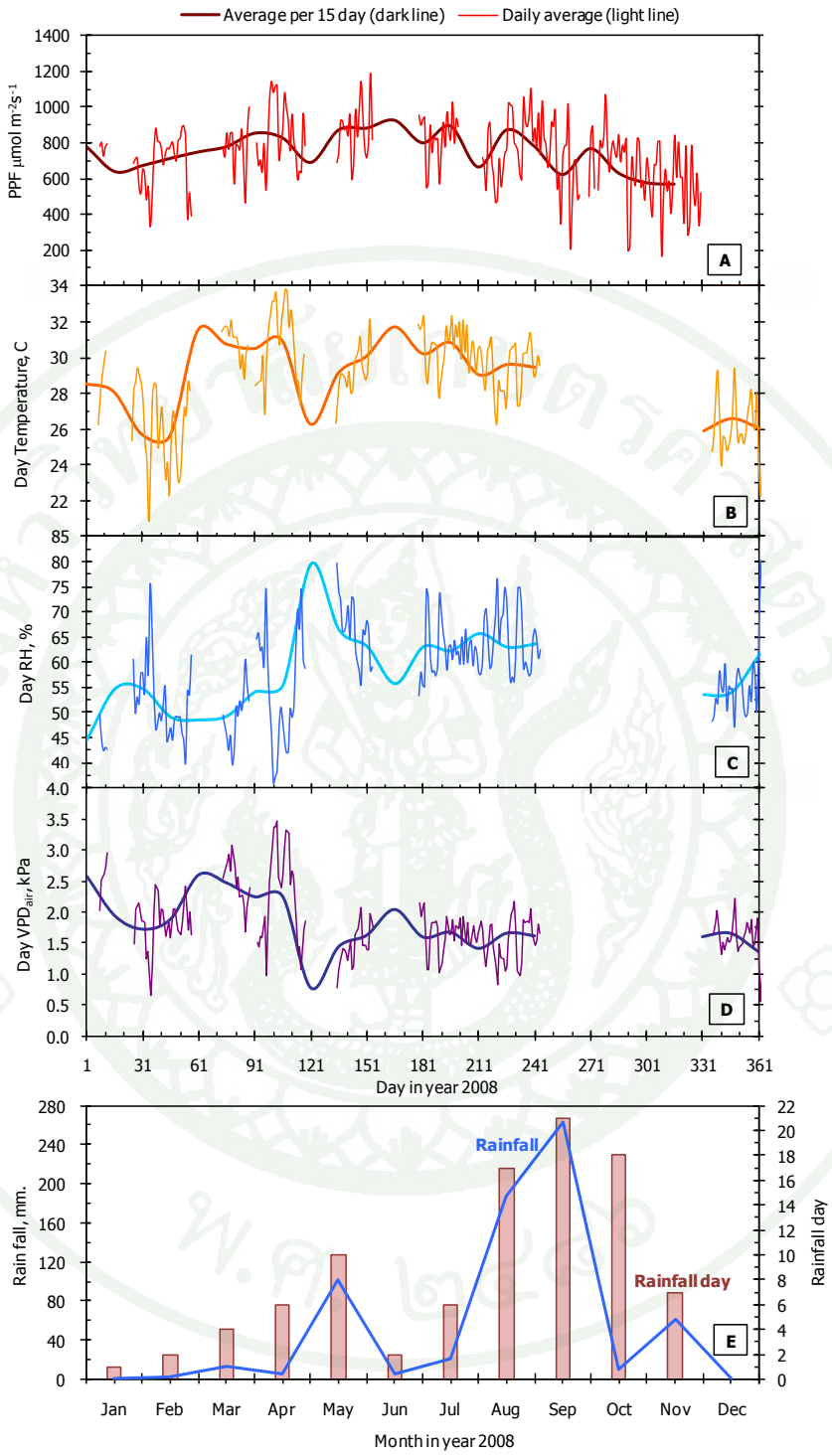
D/M in year 2008	Day after planting	Radiation, µmolPPF m^{-2} s^{-1}				Air temperature, C					
		Daytime				Daytime			Night-time		
		sum, mol m^{-2}	Sunshine hour	avg	max	avg	max	min	avg	max	min
1 Jan	1	34	11.3	776	1,480	28.6	34.4	17.6	21.9	27.9	18.4
16 Jan	16	28	11.2	637	1,557	28.1	33.5	20.6	24.8	29.3	22.2
31 Jan	31	29	11.3	672	1,491	25.8	31.3	18.5	22.0	27.5	18.8
15 Feb	46	31	11.5	713	1,613	25.7	31.3	17.6	22.0	27.4	18.6
1 Mar	61	32	11.8	748	1,645	31.6	37.3	25.2	27.1	31.0	24.9
16 Mar	76	34	11.9	779	1,729	30.8	36.1	23.9	26.5	30.4	23.9
31 Mar	91	37	12.1	854	1,954	30.5	35.3	24.1	26.5	30.5	24.4
15 Apr	106	35	12.2	826	1,917	31.0	36.2	24.2	26.2	29.8	24.3
30 Apr	121	30	12.5	689	2,322	26.3	30.4	22.1			
15 May	136	38	12.3	873	2,144	29.2	32.7	24.7	25.7	27.4	24.7
30 May	151	39	12.4	883	1,929	30.1	32.8	25.9	26.2	28.2	24.8
14 Jun	166	40	12.8	927	2,016	31.7	33.4	28.5	26.8	29.8	25.0
29 Jun	181	35	12.6	799	2,058	30.2	32.9	27.0	25.4	27.8	24.2
14 Jul	196	45	12.7	894	2,034	30.9	33.6	27.5	26.1	28.6	24.7
29 Jul	211	29	12.2	663	1,878	29.1	32.2	25.9	25.4	27.1	24.1
13 Aug	226	38	12.2	872	2,167	29.6	34.0	23.7	25.3	27.7	23.7
28 Aug	241	34	11.9	779	2,280	29.5	34.2	23.6	24.6	25.6	23.8
12 Sep	256	27	11.7	621	1,809						
27 Sep	271	33	11.3	767	2,110						
12 Oct	286	27	11.4	630	1,780						
27 Oct	301	24	11.1	574	1,757						
11 Nov	316	24	11.1	566	1,503						
26 Nov	331					25.9	29.3	20.2	18.2	22.7	15.5
11 Dec	346					26.6	30.2	21.1	18.7	23.4	16.1
26 Dec	361					26.1	29.2	22.2	22.2	24.6	19.9
avg		33	11.9	751.8	1,872	28.9	33.0	23.2	74.2	84.5	56.4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

D/M	Day	Air humidity, %						Vapor pressure deficit, kPa						Rain	Rain
in year	after	Daytime			Night-time			Daytime			Night-time			fall,	fall
2008	planting	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	mm	day
1 Jan	1	44.5	90.8	21.8	72.4	89.9	43.8	2.6	4.3	0.2	0.8	2.1	0.2		
16 Jan	16	54.6	87.4	34.6	70.4	82.4	46.9	1.9	3.4	0.3	1.0	2.2	0.5		
31 Jan	31	54.6	87.4	34.9	71.0	85.7	45.6	1.7	3.0	0.3	0.8	2.0	0.3	0.5	1
15 Feb	46	49.0	82.8	29.5	63.7	82.1	38.6	1.9	3.2	0.4	1.0	2.3	0.4	2.3	2
1 Mar	61	48.5	76.3	24.0	67.6	78.9	46.9	2.6	4.8	0.8	1.2	2.4	0.7		
16 Mar	76	49.2	79.9	28.5	67.9	81.4	43.8	2.5	4.3	0.6	1.2	2.4	0.6		
31 Mar	91	54.0	83.9	32.8	70.5	83.0	51.3	2.2	3.9	0.5	1.1	2.2	0.6	13.5	4
15 Apr	106	55.5	86.5	34.1	75.3	86.3	55.5	2.2	4.0	0.4	0.9	2.0	0.4		
30 Apr	121	79.6	100.0	60.1				0.8	1.7	0.0				5.9	6
15 May	136	66.3	89.2	50.4	81.3	88.9	70.7	1.4	2.4	0.3	0.6	1.1	0.4		
30 May	151	63.0	86.3	49.7	50.7	56.0	46.6	1.6	2.5	0.4	0.8	1.4	0.4	102.2	10
14 Jun	166	55.7	79.8	44.9	74.4	81.6	60.7	2.0	2.8	0.6	0.9	1.6	0.6		
29 Jun	181	63.0	84.8	49.8	79.8	86.6	67.0	1.6	2.5	0.5	0.7	1.2	0.4	4.8	2
14 Jul	196	62.2	81.7	51.6	74.9	81.1	64.5	1.7	2.5	0.6	0.9	1.4	0.6		
29 Jul	211	65.6	85.5	50.1	80.3	87.4	71.2	1.4	2.4	0.4	0.6	1.0	0.4	20.2	6
13 Aug	226	62.9	90.0	45.2	82.0	89.7	71.0	1.7	2.9	0.3	0.6	1.1	0.3		
28 Aug	241	63.6	89.0	43.7	83.3	89.7	73.8	1.6	3.0	0.3	0.5	0.8	0.3	187.0	17
12 Sep	256														
27 Sep	271													262.9	21
12 Oct	286														
27 Oct	301													10.5	18
11 Nov	316														
26 Nov	331	53.5	93.8	33.2	84.0	94.2	56.8	1.6	2.7	0.1	0.4	1.2	0.1	61.9	7
11 Dec	346	54.0	97.0	31.9	82.9	94.4	53.8	1.7	2.9	0.1	0.4	1.3	0.1		
26 Dec	361	61.5	88.9	43.6	77.0	87.2	63.5	1.4	2.4	0.3	0.7	1.2	0.3	0	0
avg		58.0	87.0	39.7	74.2	84.5	56.4	1.8	3.1	0.4	0.8	1.6	0.4		
sum														671.7	94

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 4 สภาพอากาศเฉลี่ยในตอนกลางวันของแต่ละวันและเฉลี่ยทุก 15 วัน ในบริเวณแปลงปลูกอ้อย A) ความเข้มแสงแดด B-C) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ D) แรงดึงระเหยน้ำของอากาศ (VPD_{air}) E) ปริมาณน้ำฝนและจำนวนวันที่ฝนตก (ข้อมูลที่ขาดหายเป็นช่วงที่อุปกรณ์ชำรุด)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

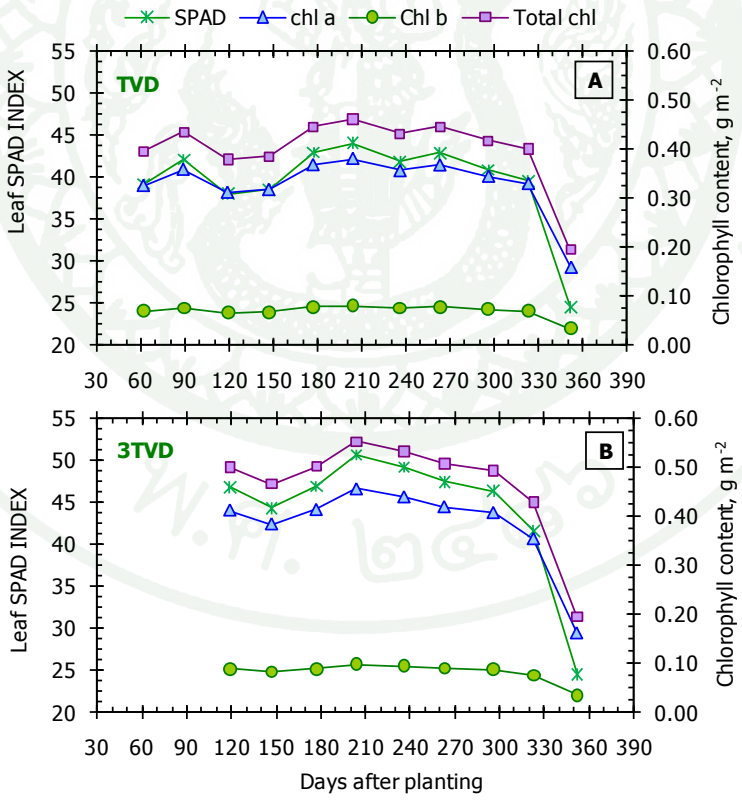
ตารางผนวกที่ 2 ค่าเฉลี่ยทุก 15 วัน ของพลังงานกำกับก้อนดิน (Soil matric potential, kPa) ของแปลงปลูกอ้อย บริษัทน้ำตาลครบุรี จำกัด อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา

		Soil matric potential (kPa) at soil depth				
D/M/Y	Days after planting	10 cm	20 cm	60 cm	Avg	Rainfall, mm
1 Jan 08	1	-20.6	-22.1	-21.2	21.4	
16 Jan 08	16	-30.9	-24.8	-22.2	24.5	
31 Jan 08	31	-31.2	-27.3	-24.6	26.6	0.5
15 Feb 08	46	-16.5	-21.7	-24.6	22.3	2.3
1 Mar 08	61	-17.4	-28.9	-24.0	24.5	
16 Mar 08	76	-22.8	-36.4	-25.1	28.5	
31 Mar 08	91	-15.2	-26.7	-25.3	24.1	13.5
15 Apr 08	106	-27.1	-32.5	-26.2	28.4	
30 Apr 08	121	-12.1	-17.7	-27.9	21.8	5.9
15 May 08	136	-12.3	-18.9	-23.8	20.2	
30 May 08	151	-14.7	-22.1	-18.9	19.3	102.2
14 Jun 08	166	-17.3	-21.3	-21.4	20.7	
29 Jun 08	181	-38.5	-28.0	-22.7	27.1	4.8
14 Jul 08	196	-15.9	-19.6	-17.8	18.1	
29 Jul 08	211	-20.9	-23.0	-20.1	21.2	20.2
13 Aug 08	226	-9.9	-16.8	-18.9	16.7	
28 Aug 08	241	-9.9	-17.1	-13.3	14.0	187.0
12 Sep 08	256	-6.8	-13.3	-12.2	11.7	
27 Sep 08	271	-8.1	-13.9	-14.5	13.2	262.9
12 Oct 08	286	-8.7	-14.3	-13.3	12.8	
27 Oct 08	301	-7.8	-12.1	-13.6	12.1	10.5
11 Nov 08	316	-13.1	-13.6	-11.6	12.5	
26 Nov 08	331	-28.1	-16.4	-15.8	18.0	61.9
11 Dec 08	346	-54.6	-18.6	-19.9	25.2	
26 Dec 08	361					0.0
	Avg	-19.2	-21.1	-20.0	-20.1	56
	Max	-6.8	-12.1	-11.6	-10.8	262.9
	Min	-54.6	-36.4	-27.9	-31.0	0.0
	Sum	-	-	-	-	671.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าดัชนีความเขียวใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบอ้อย

วัดค่าดัชนีความเขียวของใบอ้อยลำดับที่เห็น TVD ชัดเจนและลำดับที่สามถัดลงมา (3TVD) ซึ่งเป็นใบที่ใช้ประเมินค่าร้อยละมวลแห้งต่อมวลสดและใช้วิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช พบว่าค่าดัชนีความเขียวใบสูงสุดของใบลำดับ TVD เท่ากับ 50.6 และใบ 3TVD เท่ากับ 40 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอสูงสุดของใบลำดับ TVD เท่ากับ 0.381 g m^{-2} และใบ 3TVD เท่ากับ 0.455 g m^{-2} ปริมาณคลอโรฟิลล์บีสูงสุดของใบลำดับ TVD เท่ากับ 0.081 g m^{-2} และใบ 3TVD เท่ากับ 0.097 g m^{-2} ค่าสัดส่วนคลอโรฟิลล์เอต่อบีถ้าต่ำกว่า 3 แสดงว่าใบพืชได้รับแสงแดดไม่เพียงพอ (สุนทรี, 2551) พบว่าค่าสัดส่วนคลอโรฟิลล์เอต่อบีของใบอ้อยทั้งสองตำแหน่งเท่ากับ 4.7 แสดงถึงว่าใบอ้อยทั้งสองตำแหน่งได้รับแสงแดดเพียงพอ ใบอ้อยทั้งสองตำแหน่งมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งอายุ และมีค่าลดลงอย่างมากเมื่ออายุใกล้เก็บเกี่ยว เพราะเมื่ออ้อยอายุใกล้เก็บเกี่ยวจะไม่มีการให้น้ำชลประทานทำให้ใบอ้อยส่วนใหญ่แห้งเกือบทั้งหมด (ภาพผนวกที่ 5)

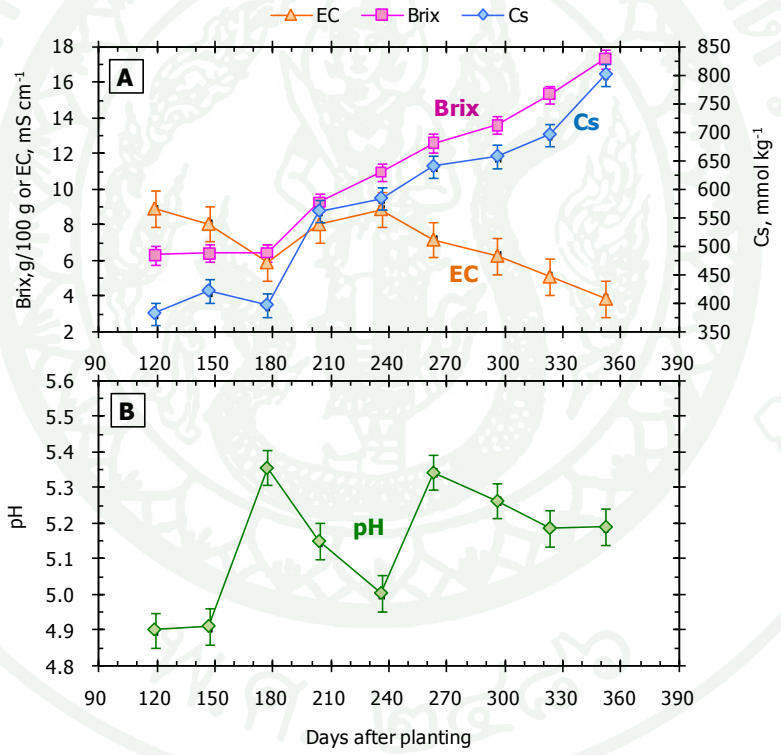


ภาพผนวกที่ 5 ค่าดัชนีความเขียวใบ (SPAD INDEX) ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม, เอ และบี ของใบอ้อยลำดับ TVD (A) และลำดับที่ 3 TVD (B)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสารละลายน้ำคั้นจากลำอ้อย

สุ่มตัวอย่างลำอ้อยจากส่วนโคน กลาง และปลายลำ ปอกเปลือกอ้อยออกแล้วนำมาคั้นน้ำวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่าค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ของอ้อยเป็นดังนี้ ค่าบริกซ์ (Brix) เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนได้สูงสุดที่ค่า 17.3 เมื่ออายุเก็บเกี่ยว 352 วัน ค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (Cs) มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับค่าบริกซ์ ได้สูงสุด 801 mmol kg^{-1} ส่วนค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายมีค่าลดลงสวนทางกันเพราะในสารละลายน้ำคั้นจากลำอ้อยมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบหลักซึ่งไม่นำไฟฟ้า ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายลดลงเมื่อค่าบริกซ์เพิ่มขึ้น อ้อยรักษาระดับค่า pH ของสารละลายน้ำคั้นอยู่ในช่วง 4.9-5.4 (ภาพผนวกที่ 6)



ภาพผนวกที่ 6 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ คือ A) ค่าบริกซ์ (Brix) ค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (Cs) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) และ B) ค่า pH ของสารละลายน้ำคั้นจากลำอ้อย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

องค์ประกอบผลผลิตของอ้อยพันธุ์ K95-84

เก็บเกี่ยวอ้อยเมื่ออายุ 12 เดือนประเมินองค์ประกอบผลผลิตของอ้อย (ตารางผนวกที่ 3) พบว่าลำอ้อย มีจำนวน 8,945 cane rai^{-1} หนักประมาณ 2 kg cane^{-1} ผลผลิตลำสดอ้อยสดที่สามารถเก็บเกี่ยวเข้าโรงงานได้เท่ากับ 17.3 ton rai^{-1} มวลต่อลำ และค่า C.C.S. เท่ากับ 9.8

ตารางผนวกที่ 3 องค์ประกอบผลผลิตของอ้อยพันธุ์ K95-84 ที่อายุเก็บเกี่ยว 12 เดือน

Parameters	T3
Number of cane, cane rai^{-1}	8,984.6
Weight of cane, kg cane^{-1}	1.9
Cane yield fresh mass, ton rai^{-1}	17.3
Brix, g/100g	19.0
Polarity, g/100g	15.8
Purity, %	82.9
Fiber, %dry mass	24.7
C.C.S.	9.8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	ประสิทธิ์ ขุนสนิท
วัน เดือน ปี ที่เกิด	14 มกราคม พ.ศ. 2525
สถานที่เกิด	จ.ยโสธร
ประวัติการศึกษา	• มัธยมศึกษา รร.ยโสธรพิทยาคม จ.ยโสธร, 2538-2544 • วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) ม.เกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม, 2544-2548
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิจัย, ศูนย์วิจัยพัฒนาปาล์มน้ำมันซีพีไอ บมจ. ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม, มี.ค. 2553-ปัจจุบัน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	16 หมู่ 16 ต.ท่าแซะ อ.ท่าแซะ จ.ชุมพร 86140
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์