

# การดูดใช้ในโตรเจน ซัลเฟอร์ และสัดส่วน N:S ที่เหมาะสมสำหรับ การปลูกอ้อยผลผลิตสูง

## Optimal uptakes of nitrogen, sulfur and N:S for plantation of high yielding sugarcane

กมุท สังขศิลา<sup>1\*</sup>, ปุญญिता ตระกูลยิ่งเจริญ<sup>1</sup> และ สุชาดา กรุณา<sup>1</sup>

Kumut Sangkhasila<sup>1\*</sup>, Punyisa Trakoonyingchareon<sup>1</sup> and Suchada Karuna<sup>1</sup>

**บทคัดย่อ:** หาปริมาณการดูดใช้ในโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S) ที่เพียงพอต่อการปลูกอ้อยผลผลิตสูงโดยเก็บตัวอย่างอ้อยพันธุ์ LK92-11 และ K84-200 จากแปลงที่จะได้ผลผลิตเป็น 5, 10, 15, 20 และ 25 ตัน/ไร่ ในเขตจังหวัดนครราชสีมาและบุรีรัมย์ แต่ละระดับผลผลิตเก็บตัวอย่างใบ ลำต้น และรากทุก 30 วันตั้งแต่เริ่มปลูกจนเก็บเกี่ยว แต่ละเนื้อเยื่อนำไปหามวลสด มวลแห้ง และความเข้มข้น N และ S ใช้สมการ Michaelis-Menten kinetics อธิบายความต้องการ N และ S ที่เป็นฟังก์ชันของเวลาหลังปลูก พบความต้องการ N หรือ S กับระดับผลผลิตไม่เป็นเส้นตรง แสดงถึงอัตราเพิ่มผลผลิตต่อหน่วย N หรือ S ที่ใส่จะมีค่าน้อยที่ระดับผลผลิตต่ำ แต่จะมีค่าสูงมากที่ระดับผลผลิตสูง สมการรูปตัวเอสใช้อธิบายการดูดใช้ N หรือ S ที่เป็นฟังก์ชันของเวลาหลังปลูกแบบไร้มิติได้ดี ค่าอนุพันธ์ชี้ว่าการดูดใช้ N เพื่อสร้างชีวมวลทั้งหมดมีถึง 180 วันหลังปลูก ในขณะที่การดูดใช้เพื่อสร้างลำต้นมีถึง 252 วันหลังปลูก แสดงถึงในช่วง 180-เก็บเกี่ยวลำต้นอ้อยต้องการใช้ N ในกระบวนการที่ไม่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตหรือใช้เพื่อสร้างลำต้นลดน้อยลง สำหรับการดูดใช้ S เพื่อการสร้างชีวมวลทั้งหมดมีถึงเพียง 240 วันหลังปลูก แต่ใช้สร้างลำต้นอ้อยต้องการจนถึงเก็บเกี่ยว ดังนั้น S จึงเป็นธาตุอาหารอีกธาตุหนึ่งที่อ้อยต้องการใช้ร่วมกับ N เพื่อใช้ไปกับกระบวนการสะสมและขนส่งน้ำตาล

**คำสำคัญ:** ไนโตรเจน, ซัลเฟอร์, อ้อยผลผลิตสูง

**ABSTRACT:** Optimal uptakes of nitrogen (N) and sulfur (S) required for producing high yield sugarcane was pertained in this research. Sugarcane roots, stalks, and leaves of 2 cane varieties LK92-11 and K84-200, were collected continually from planting (0) to harvesting (360 days after planting or DAPS). Samples were collected from plantation fields, located in Nakhon Ratchasima and Buriram provinces, expecting to have yields of 5, 10, 15, 20, and 25 ton/rai. Each sample was measured for its total biomass, dry mass, concentrations of N and S. Michaelis-Menten kinetics described relationships between uptake of either N or S as functions of DAPS quite well. Non-linear response of yield versus either N or S uptake was found for both cane varieties. Their derivatives indicated that at high yield level, the margin of yield per a unit of either N or S input is greater than that of the low yield level. The dimensionless analysis showed that the S-shape described relationships between either N or S uptake as functions of DAPS quite well. Their derivatives indication of the N uptake began as soon as the start of planting and was ceased at 180 DAPS. While N uptake for stalk biomass was ceased at 252 DAPS. During 180 DAPS to harvest, sugarcane stalks uptaked N mainly for continuing their activity. The S uptake for the whole cane biomass was ceased at 240 DAPS while for stalks was ceased at harvest. This strongly indicated that S is a necessarily nutrient in accordance with N to be used for sucrose formation and sucrose transportation.

**Keywords:** nitrogen, sulfur, high yielding sugarcane

<sup>1</sup> ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Soil Science, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

\* Corresponding author: agrkms@ku.ac.th

## บทนำ

### ความต้องการธาตุอาหารของอ้อย

การผลิต การบริโภค การส่งออกน้ำตาลของประเทศไทยในแต่ละปีมีปริมาณมากกว่า 6 ล้านตันปี คิดเป็นมูลค่ากว่า 90,000 ล้านบาท/ปี และแนวโน้มความต้องการส่งออกน้ำตาลและความต้องการบริโภคภายในประเทศเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การหาแนวทางในการเพิ่มผลผลิตอ้อยจึงเป็นเรื่องสำคัญสำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล แนวทางการเพิ่มผลผลิตอาจทำได้โดยการขยายพื้นที่ปลูกอ้อย หรือเพิ่มอัตราผลผลิตต่อพื้นที่ ขณะที่การขยายพื้นที่ปลูกอ้อยเพื่อเพิ่มผลผลิตเป็นเรื่องที่มีข้อจำกัดอยู่มาก ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ให้ได้ผลผลิตสูงที่สุด โดยนำหลักการทางวิชาการด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ศักยภาพของพันธุ์ การจัดการปัจจัยการผลิตเพื่อลดข้อจำกัดของสภาพแวดล้อม ตลอดจนการจัดการธาตุอาหารพืชเข้ามามีส่วนร่วมจึงเป็นสิ่งจำเป็น

อ้อยเป็นพืชตระกูลหญ้ามีความต้องการธาตุอาหารเพื่อเติบโตจนครบชีวิจักรเช่นเดียวกับพืชอื่นๆ ธาตุอาหารเหล่านั้นได้แก่ ธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) ธาตุอาหารรอง (แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์) และจุลธาตุอาหาร (แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดีนัม คลอรีน เหล็ก นิเกิล) (Baker and Pilbeam, 2006) ส่วนธาตุคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน อ้อยได้จากน้ำและอากาศ ธาตุอาหารหลักในดินมักขาดแคลน แต่สามารถเพิ่มเติมด้วยการใส่ปุ๋ยเคมีและ/หรือใส่ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ได้ ธาตุอาหารรองมักเป็นส่วนผสมที่มีอยู่ในปุ๋ยเคมี หรือได้จากการใส่โดโลไมต์ (Tisdale et al., 1999) หรือใส่วัสดุอินทรีย์เพื่อปรับปรุงดิน รวมทั้งได้จากปุ๋ยชีวภาพทั้งทางตรงและทางอ้อม (Malusa and Vassilev, 2014) ส่วนจุลธาตุอาหารในดินทั่วไป อ้อยอาจได้รับเพิ่มเติมจากวัสดุอินทรีย์ที่ใส่เพื่อปรับปรุงดิน ในบางดินที่ใช้ทำการเกษตรแบบพืชเดี่ยวเป็นเวลานาน และเก็บเกี่ยวผลผลิตออกจากแปลงอย่างต่อเนื่อง ถึงแม้ในกระบวนการผลิตจะมีการเพิ่มเติมวัสดุอินทรีย์แล้ว

ก็ตาม อาจทำให้ขาดแคลนธาตุอาหารรอง หรือจุลธาตุอาหารในดินที่ใช้ปลูกอ้อยได้

การจัดการผลผลิตอ้อยให้เหมาะสมทั้งปริมาณ ผลผลิต และคุณภาพของผลผลิตที่ได้นั้นจำเป็นต้องเข้าใจอุปสงค์และอุปทานด้านธาตุอาหารของอ้อย อุปสงค์จะขึ้นอย่างมากกับพันธุ์กรรมของอ้อย (กุ่มพ และคณะ, 2550) การจัดการต้องตอบคำถามให้ได้ว่า อ้อยพันธุ์ที่เกษตรกรต้องการผลิตพันธุ์หนึ่งๆ นั้นมีความต้องการธาตุอาหารเท่าใดเพื่อยกระดับผลผลิตให้เป็นไปตามความต้องการ และตลอดช่วงการเจริญเติบโตของอ้อยพันธุ์นั้นๆ จะต้องให้ธาตุอาหารที่อ้อยต้องการเป็นปริมาณเท่าใด ส่วนอุปทานจะขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารรูปที่เป็นประโยชน์ที่มีอยู่แล้วในดินเป็นหลัก รวมทั้งสมบัติดินที่จะเอื้อหรือยับยั้งความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน สิ่งเหล่านี้จะทราบได้จากการนำดินไปวิเคราะห์หาค่าสมบัติทางด้านธาตุอาหาร เคมี และฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง การจัดการด้านธาตุอาหารอ้อยจึงเป็นการตอบคำถาม 4 ข้อซึ่งได้แก่ 1) มีธาตุอาหารอะไรบ้างที่ต้องเพิ่มเติมให้แก่พืช 2) จะต้องเพิ่มเติมธาตุอาหารพืชเหล่านั้นในปริมาณเท่าใด และเมื่อใด 3) รูปของธาตุอาหารที่เหมาะสมเป็นเช่นใด และ 4) จะใส่ธาตุอาหารเหล่านั้นให้แก่พืชได้อย่างไร (Haun, 2015) จึงจะทำให้ได้อ้อยที่มีผลผลิตสูงและคุณภาพตามต้องการ

รูปของไนโตรเจน (N) ที่อ้อยสามารถดูดใช้ได้คือ ไนเตรตไอออน ( $NO_3^-$ ) แอมโมเนียมไอออน ( $NH_4^+$ ) และโมเลกุลของยูเรีย สองรูปแรกจะละลายอยู่ในสารละลายดิน ส่วนรูปสุดท้ายได้จากการให้ธาตุอาหารทางใบเป็นหลัก (ยงยุทธ, 2558) สำหรับรูปของซัลเฟอร์ (S) ที่อ้อยสามารถดูดกินได้คือ ซัลเฟตไอออน ( $SO_4^{2-}$ ) แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $SO_2$ ) และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) รูปแรกอ้อยสามารถดูดได้โดยตรงจากสารละลายดิน ส่วนสองรูปหลังอ้อยสามารถดูดทางใบหรือใบสัมผัสกับแก๊สดังกล่าวโดยตรง (Tisdale et al., 1999) โดยทั่วไปอ้อยที่ปลูกในดินที่มีซัลเฟอร์ น้อยๆ และมีพีเอชดินเป็นด่างอ่อนหรือด่าง มักแสดงอาการขาดซัลเฟอร์ (Kaler et al., 2017) ส่วนดินที่มีพีเอชเป็นกรดมักไม่ค่อยขาดธาตุ S (Hamid and Dagash,

2014) ในกรณีหลัง อาจพบปัญหาได้หากดินเกิดจาก วัตถุดิบกำเนิดที่มีซัลเฟอร์น้อย หรือมีการแข่งขันด้าน การดูดใช้ไอออนลบกับธาตุอาหารอื่นๆ ที่มีปริมาณ มากในสารละลายดิน ไอออนลบเหล่านี้ ได้แก่ ไบคาร์บอเนต ( $HCO_3^-$ ) ไนเตรต ( $NO_3^-$ ) คลอไรด์ ( $Cl^-$ ) เป็นต้น อ้อยอาจแสดงอาการขาด S ได้อีกถ้าสัดส่วน N:S ในดินที่มีค่าสูง Jeevika et. al. (2016) พบว่า อ้อย ที่มี N:S ในใบประมาณ 15:1 จะทำให้อ้อยมีผลผลิตที่สูงกว่าอ้อยที่มี N:S ในใบในสัดส่วนอื่นๆ ดินยังมีค่า N:S สูงเท่าใดก็จะทำให้ดินนั้นมีความเสี่ยงต่อการขาด S มากขึ้นเท่านั้น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงกับ อ้อยจึงต้องระมัดระวังที่จะทำให้อ้อยเกิดการขาดธาตุ S ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ย N ในอัตราที่สูง ควรต้องใส่ปุ๋ย S ร่วม ด้วยเพื่อมันให้ว่าจะมี S เพียงพอต่อการสร้างผลผลิต ของอ้อยและรักษาคุณภาพของอ้อยให้ดีเมื่อเก็บเกี่ยว (Haneklaus, 2006)

บทความวิจัยนี้จะนำเสนอข้อสังเกตเกี่ยวกับการ ดูดใช้ธาตุไนโตรเจนและซัลเฟอร์ ของอ้อยที่ให้ผลผลิต ในระดับต่างๆ ตั้งแต่ 10 ถึง 25 ตัน/ไร่ และตรวจสอบ ความสามารถในการดูดใช้ N และ S ของอ้อยเพื่อสร้าง เป็นชีวมวลตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว ข้อสังเกตจะ แสดงในลักษณะแบบจำลองการดูดใช้ N และ S ของ อ้อยที่เป็นฟังก์ชันของเวลาหลังปลูก ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวสามารถตอบสนองคำถามหลักที่จะนำไปใช้จัดการ ธาตุอาหาร N และ S สำหรับอ้อยได้ แบบจำลองจะเน้น ในรูปของการดูดใช้ธาตุอาหารพืชในลักษณะเลียน แบบ Michaelis-Menten Kinetics ซึ่งได้ดีกับการดูด ใช้ธาตุอาหารในข้าวสาลี (Gardiner and Christensen, 1977) ข้าวโพด (Mullins and Edwards, 1989) สุน (van Rees, 1995) พืชน้ำ (Yao et. al., 2011) และ หญ้า (McNickle and Brown, 2014)

## วิธีการศึกษา

### ตัวอย่างอ้อย

เพื่อให้ได้ตัวอย่างอ้อยในการวิเคราะห์ที่มีผลผลิต เป็น 5, 10, 15, 20, หรือ 25 ตัน/ไร่ ได้สอบถาม

ประวัติการผลิตอ้อยจากเกษตรกรโดยตรง คัดเลือก แปลงปลูกอ้อยจากแปลงที่เกษตรกรเคยผลิตอ้อยแล้ว ได้ผลผลิตจริงสอดคล้องกับผลผลิตที่กำหนดไว้แล้ว ข้างต้น หลังจากเกษตรกรเริ่มปลูกอ้อยได้เก็บตัวอย่าง อ้อยจากแปลงปลูกที่คัดเลือกไว้ตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึง เก็บเกี่ยว ในแต่ละแปลงใช้ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง อ้อยทุกๆ 30 วัน เป็นเวลา 12 เดือน วันที่ 0 คือตัวอย่าง ของท่อนพันธุ์ที่เกษตรกรใช้ปลูกอ้อย (อัตราที่เกษตรกร ใช้ปลูกคือ 1.20 ตัน/ไร่) ในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างอ้อย จะเลือกสุ่มพื้นที่ย่อยภายในแปลงปลูกให้มีขนาด 3.0 ม. x 3.0 ม. และเก็บตัวอย่างชีวมวลอ้อยทั้งหมดใน พื้นที่ 9.00 ม.<sup>2</sup> นี้ ในแต่ละแปลงที่เก็บตัวอย่างจะได้ ตัวอย่างอ้อยจำนวน 13 ครั้ง ในแต่ละระดับผลผลิตจัด เก็บตัวอย่างอ้อยจาก 3 แปลงปลูก (3 ซ้ำ) เก็บตัวอย่าง จากแปลงปลูกอ้อยพันธุ์ LK92-11 และพันธุ์ K84-200 ตัวอย่างอ้อยที่เก็บได้ในแต่ละครั้ง ได้นำไปชั่งหามวลสดของใบรวมกาบใบ (เรียกเป็นใบ) ลำต้น และราก (การชั่งหามวลรากจะล้างรากจนสะอาดไม่มีเศษดินติด ผลรวมมวลของใบ ลำต้น และราก รวมเป็น ชีวมวล ทั้งหมดของอ้อย) ตัวอย่างอ้อยในแต่ละส่วนนำไป หาความชื้น (%) มวลแห้ง (กก.) ความเข้มข้นของ ไนโตรเจน (%total N) และความเข้มข้นของซัลเฟอร์ (%total S)

นำข้อมูลมวลสด มวลแห้ง ความชื้น ความเข้มข้น ไนโตรเจน ความเข้มข้นซัลเฟอร์จากแต่ละส่วนของอ้อย ทั้งสองพันธุ์ที่ให้ผลผลิตแต่ละระดับตามระยะเวลาเก็บ ตัวอย่างที่กำหนดไปคำนวณหาปริมาณผลผลิตต่อ พื้นที่ และการสะสมไนโตรเจนและซัลเฟอร์ในเนื้อเยื่อ พืชทั้งสามส่วน จากนั้นคำนวณหาสัดส่วน N:S ใน ชีวมวลทั้งหมด ใบ และลำต้น แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ของ 3 ซ้ำในทุกข้อมูล การคำนวณ N:S ใช้สัดส่วนโมล (มวลโมเลกุลของ N=14.0067 S=32.0600)

การชั่งตัวอย่างอ้อยเพื่อหามวลใช้เครื่องชั่งไฟฟ้า ขนาด 100 กก.±20.0 ก. ดำเนินการทันทีขณะเก็บ ตัวอย่างในแปลง การหาความชื้นของตัวอย่างอ้อยใช้ วิธีชั่งด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าขนาด 100.0±0.001 ก. ก่อน และหลังอบตัวอย่าง การหาความเข้มข้นไนโตรเจน

และซัลเฟอร์ใช้เครื่อง CNS combustion (ยี่ห้อ LEGO รุ่น TRU SPEC CNS) ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการอนุรักษและจัดการดิน และห้องปฏิบัติการเคมีและความอุดมสมบูรณ์ดิน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จัดเก็บตัวอย่างย่อยจากแปลงปลูกย่อยที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอบัวรี ไชยชัย สูงเนิน เลิงสาง จังหวัดนครราชสีมา และอำเภอนางรอง หนองกี่ ละหานทราย จังหวัดบุรีรัมย์ แปลงปลูกเป็นกลุ่มชุดดินหมายเลข 40, 29 หรือ 35 ดินมีเนื้อดินแบบดินร่วนทรายหรือดินเหนียว แปลงที่จัดเก็บตัวอย่างย่อยมีปริมาณฝนเฉลี่ย 1,000-1,300 มม. และมีอุณหภูมิอากาศในช่วง 22-33 °ซ. (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

### สมการอธิบายความสัมพันธ์การดูดใช้ N และ S ในอ้อยกับเวลาที่ใช้ในการเจริญเติบโต

ข้อมูลมวล N และ S ในชีวมวลทั้งหมด และลำต้นของอ้อยแต่ละพันธุ์ ที่ระดับผลผลิตต่างๆ และที่เวลาต่างๆ หลังปลูกได้นำไปวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาค่าคงที่ในรูปแบบ Michaelis-Menten Kinetics รูปสมการเป็นการตอบสนองของอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ต้องใช้เอนไซม์ (Atkins and Julio, 2006) เขียนได้เป็น

$$A_i(t) = \alpha + \frac{V_m \cdot t}{K_m + t} \quad \dots\dots [1]$$

เมื่อ  $A_i(t)$  คือมวล N หรือ S ที่สะสมในชีวมวลทั้งหมด ( $i=1$ ) หรือในลำต้น ( $i=2$ ) มีหน่วยเป็น กก.-ไนโตรเจน/ไร่ หรือ กก.-ซัลเฟอร์/ไร่  $\alpha$  คือค่าปรับแก้สมการในกรณีที่ค่าเริ่มต้นไม่ได้ออกจากจุดกำเนิด (0,0) มีหน่วยเช่นเดียวกับ  $A_i(t)$  ส่วน  $V_m$  คือค่าคงที่ของสมการมีหน่วยเป็น กก.-ไนโตรเจน/ไร่ หรือ กก.-ซัลเฟอร์/ไร่  $K_m$  เป็นค่าคงที่ของสมการมีหน่วยเป็นวัน (วัน) และ  $t$  เป็นวันหลังปลูกมีหน่วยเป็นวัน (วัน)

มวล N และ S ในชีวมวลทั้งหมดและลำต้นที่เป็นฟังก์ชันของเวลาหลังปลูกนำไปวิเคราะห์แบบไร้มิติ (dimensionless analysis) โดยเขียนสมการ S-shape ซึ่งเลียนแบบการเจริญเติบโตของพืชที่เป็นฟังก์ชันของเวลาปลูกโดยทั่วไป (Yin et. al., 2003) สมการมีรูปแบบ

$$\varphi_i(\tau) = \alpha_0 + \frac{1}{\beta_0 + \gamma_0 \exp(\delta_0 \cdot \tau)} \quad \dots\dots [2]$$

เมื่อ  $\varphi$  คือสัดส่วนมวลของ N หรือ S ในเนื้อเยื่อ  $i$  ใดๆ ต่อมวลของ N หรือ S ที่มีค่ามากที่สุดของเนื้อเยื่อ  $i$  นั้นๆ ที่ระดับผลผลิตเดียวกัน ( $\varphi = \frac{N}{N_{max}}$  หรือ  $\varphi = \frac{S}{S_{max}}$ ) และเนื้อเยื่อ  $i=1$  คือชีวมวลทั้งหมด  $i=2$  คือลำต้น ส่วน  $\tau$  สัดส่วนเวลาหลังปลูกใดๆ ( $t$ ) ต่อเวลาที่เก็บเกี่ยว ( $t_{harvest}$ ) ในการศึกษาค้างนี้ใช้ค่าเป็น 360 วัน) หรือ  $\tau = \frac{t}{t_{harvest}}$  ส่วน  $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ , และ  $\delta_0$  คือค่าคงที่ของสมการ สมการในรูปดังกล่าวเมื่อหาค่าอนุพันธ์จะสามารถใช้ตรวจสอบพฤติกรรมการดูดใช้ธาตุ N และ S ตลอดช่วงเวลาปลูกอ้อยว่าเป็นเช่นใด การหาค่าคงที่ของสมการ [1] และ [2] ใช้วิธีผลต่างกำลังสองน้อยที่สุด (minimum error sum square) และหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) จาก

$$\frac{R^2}{100} = 1.0 - \frac{\text{residual sum square}}{\text{total sum square}} \quad \dots\dots [3]$$

(Yin et. al., 2003) การคำนวณค่าคงที่จะใช้ solver add-in ส่วนการคำนวณอื่นๆ ใช้แผ่นคำนวณในโปรแกรม MS-Excel

## ผลการศึกษา

### ปริมาณการดูดใช้ N และ S ของอ้อยที่ระดับผลผลิตต่างๆ

อ้อยปลูกของพันธุ์ LK92-11 ที่จัดเก็บได้มีระดับผลผลิตเฉลี่ยเป็น 9.71, 15.58, 19.22 และ 26.10 ตัน/ไร่ ส่วนของพันธุ์ K84-200 มีข้อมูลที่ระดับผลผลิตเฉลี่ยเป็น 4.83, 7.17, 16.59, 19.63 และ 26.20 ตัน/ไร่ (Figure 1) มวล N ที่อ้อยดูดใช้ในการสร้างในชีวมวลทั้งหมด (total biomass) ณ เวลาต่างๆ หลังปลูกของอ้อยทั้งสองพันธุ์มีลักษณะที่คล้ายกันคือเมื่ออ้อยมีอายุมากขึ้น การดูดใช้ N สะสมในชีวมวลทั้งหมดจะเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึง 180 วันหลังปลูก หลังจากนั้นอ้อยจะไม่สะสม N เพิ่มขึ้นอีกต่อไป (Figure 1a, 1b) ที่ระดับผลผลิตที่ใกล้เคียงกันอ้อยพันธุ์ LK92-11 มี N สะสมในชีวมวลทั้งหมดและในลำต้นน้อยกว่าของพันธุ์ K84-200 แสดงให้เห็นถึงการดูดใช้ธาตุ N ในการ

สร้างชีวมวลทั้งหมดที่น้อยกว่า เช่นที่ระดับผลผลิตประมาณ 26 ตัน/ไร่ อ้อยพันธุ์ LK92-11 มีการดูดใช้ 29.0 กก.-ไนโตรเจน/ไร่ ในขณะที่อ้อยพันธุ์ K84-200 ดูดใช้ 36.0 กก.-ไนโตรเจน/ไร่ (Figure 1a, 1b) ส่วน

การดูดใช้ N เพื่อสร้างลำต้น (Figure 1c, 1d) จะเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับความต้องการธาตุนี้เพื่อสร้างชีวมวลทั้งหมด

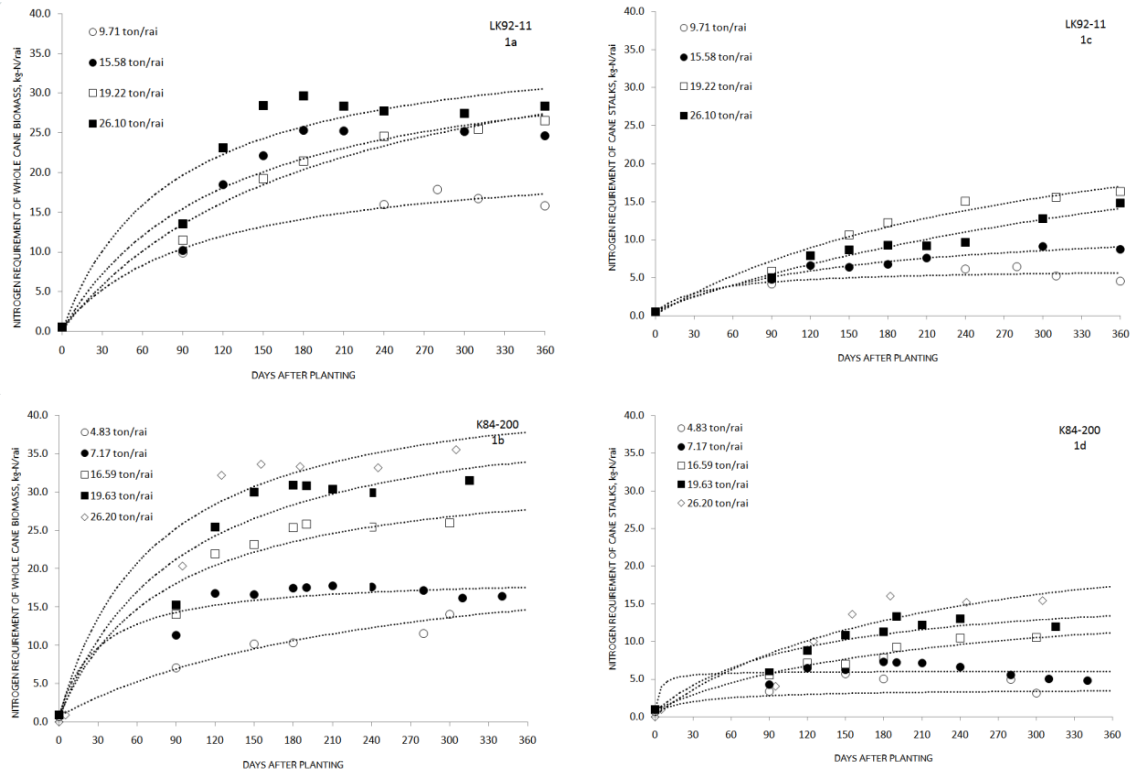


Figure 1 Nitrogen uptake for whole cane biomass (1a, 1b) and for the stalk biomass (1c, 1d) of LK92-11 and K84-200 sugarcane varieties. Legends were sugarcane yields. Symbols were data points. Broken lines were regression plots. Regression constants were given in Table 1.

ลักษณะการดูดใช้ S เพื่อสร้างชีวมวลทั้งหมดของอ้อยทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างจากความต้องการ N กล่าวคือ S เริ่มสะสมตั้งแต่เริ่มปลูกจนอ้อยมีอายุ 180 วัน จากนั้นปริมาณการดูดใช้ S จะไม่เพิ่มขึ้นในชีวมวลทั้งหมด การดูดใช้ S ของอ้อยทั้งสองพันธุ์ที่ระดับผลผลิตใกล้เคียงกันจะมีลักษณะตรงข้ามกับการดูดใช้

N เช่นที่ระดับผลผลิตประมาณ 26 ตัน/ไร่ อ้อยพันธุ์ LK92-11 มีการดูดใช้ 6.3 กก.-ซัลเฟอร์/ไร่ ในขณะที่อ้อยพันธุ์ K84-200 ต้องการเพียง 5.0 กก.-ซัลเฟอร์/ไร่ (Figure 2a, 2b) ส่วนการดูดใช้ S เพื่อสร้างลำต้นของอ้อยทั้งสองพันธุ์ (Figure 2c, 2d) จะมีตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึง 330 วันหลังปลูกเท่านั้น

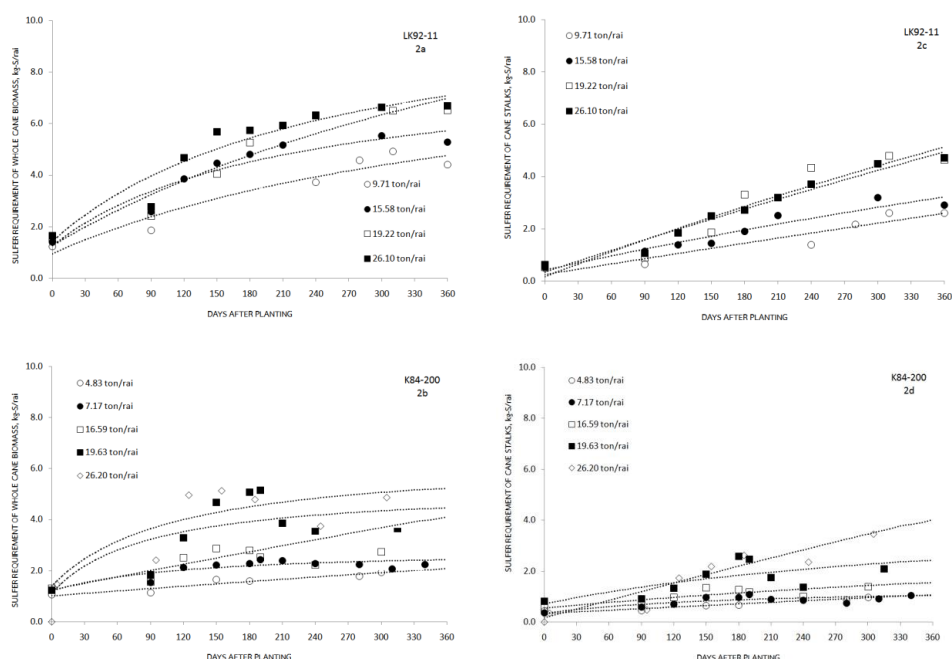


Figure 2 Sulfur uptake for whole cane biomass (2a, 2b) and for stalk biomass (2c, 2d) of LK92-11 and K84-200 sugarcane varieties. Legends were sugarcane yields. Symbols were data points. Broken lines were regression plots. Regression constants were given in Table 2.

Table 1 Constants for Michaelis-Menten Kinetics describing relationships between N uptake for constructing either whole cane biomass or cane stalk as function of days after planting. Constants were described in details as equation [1] in text.

| Yield, ton/rai                                          | -           | 9.71        | 15.58       | 19.22       | 26.10       |
|---------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| N Requirement for whole cane biomass of LK92-11 variety |             |             |             |             |             |
| $\alpha$ , kg-N/rai                                     | -           | 0.42344811  | 0.00000000  | 0.15057737  | 0.06242770  |
| $V_m$ , kg-N/rai                                        | -           | 21.88752356 | 36.55268472 | 41.87131249 | 37.48805752 |
| $K_m$ , d                                               | -           | 107.33282   | 123.01591   | 193.26272   | 82.40221    |
| $R^2$ , %                                               | -           | 97.60       | 90.00       | 98.41       | 89.42       |
| N Requirement for cane stalk of LK92-11 variety         |             |             |             |             |             |
| $\alpha$ , kg-N/rai                                     | -           | 0.49573070  | 0.48975131  | 0.14519606  | 0.69961641  |
| $V_m$ , kg-N/rai                                        | -           | 5.70001118  | 12.03165784 | 31.26000563 | 34.41598551 |
| $K_m$ , d                                               | -           | 40.80153    | 147.57831   | 308.22944   | 563.67218   |
| $R^2$ , %                                               | -           | 87.91       | 97.73       | 97.82       | 96.12       |
| Yield, ton/rai                                          | 4.83        | 7.17        | 16.59       | 19.63       | 26.20       |
| N Requirement for whole cane biomass of K84-200 variety |             |             |             |             |             |
| $\alpha$ , kg-N/rai                                     | 0.75135641  | 0.88006431  | 0.66887949  | 0.44780447  | 0.71031525  |
| $V_m$ , kg-N/rai                                        | 23.99931084 | 18.18205222 | 33.22498684 | 42.30226595 | 44.91631814 |
| $K_m$ , d                                               | 258.75716   | 31.92663    | 81.80725    | 93.25159    | 74.68391    |
| $R^2$ , %                                               | 97.16       | 92.18       | 94.67       | 92.71       | 95.00       |
| N Requirement cane stalk of K84-200 variety             |             |             |             |             |             |
| $\alpha$ , kg-N/rai                                     | 0.64654577  | 0.93926008  | 0.88205971  | 0.66515174  | 0.17819759  |
| $V_m$ , kg-N/rai                                        | 3.06590319  | 5.12104372  | 16.46788205 | 16.81327899 | 27.28475271 |
| $K_m$ , d                                               | 38.69219    | 3.51908     | 214.34378   | 113.88514   | 210.11711   |
| $R^2$ , %                                               | 87.52       | 66.86       | 96.89       | 89.96       | 84.94       |

**Table 2** Constants for Michaelis-Menten Kinetics describing relationships between S uptake for constructing either whole cane biomass or cane stalk as a function of days after planting. Constants were described in details as equation [1] in text.

| Yield, ton/rai                                                 | -           | 9.71        | 15.58       | 19.22       | 26.10       |
|----------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>S Requirement for whole cane biomass of LK92-11 variety</b> |             |             |             |             |             |
| $\alpha$ , kg-S/rai                                            | -           | 0.94931015  | 1.25683479  | 1.26226581  | 1.42938045  |
| $V_m$ , kg-S/rai                                               | -           | 8.57807483  | 7.09817844  | 15.52642308 | 9.59859925  |
| $K_m$ , d                                                      | -           | 450.20756   | 212.81196   | 618.08972   | 251.24304   |
| $R^2$ , %                                                      | -           | 92.81       | 92.20       | 92.72       | 91.25       |
| <b>S Requirement for cane stalks of LK92-11 variety</b>        |             |             |             |             |             |
| $\alpha$ , kg-S/rai                                            | -           | 0.24108953  | 0.41105028  | 0.16567888  | 0.33868546  |
| $V_m$ , kg-S/rai                                               | -           | 49.99052301 | 16.09360597 | 32.25802219 | 50.00000000 |
| $K_m$ , d                                                      | -           | 7310.23890  | 1708.09028  | 1982.61315  | 3556.27738  |
| $R^2$ , %                                                      | -           | 90.83       | 92.71       | 90.38       | 96.66       |
| Yield, ton/rai                                                 | 4.83        | 7.17        | 16.59       | 19.63       | 26.20       |
| <b>S Requirement for whole cane biomass of K84-200 variety</b> |             |             |             |             |             |
| $\alpha$ , kg-S/rai                                            | 1.00910767  | 1.19624185  | 1.24649045  | 1.11590886  | 1.39160998  |
| $V_m$ , kg-S/rai                                               | 15.03865107 | 1.63941189  | 49.98656780 | 4.17312131  | 5.03975236  |
| $K_m$ , d                                                      | 4657.02338  | 117.84283   | 5871.78415  | 88.23748    | 111.98048   |
| $R^2$ , %                                                      | 93.29       | 78.30       | 22.98       | 55.98       | 69.68       |
| <b>S Requirement cane stalks of K84-200 variety</b>            |             |             |             |             |             |
| $\alpha$ , kg-S/rai                                            | 0.34113194  | 0.34392630  | 0.54561272  | 0.71354188  | 0.16633890  |
| $V_m$ , kg-S/rai                                               | 21.29991655 | 1.05307798  | 3.29512205  | 3.74113188  | 50.00000000 |
| $K_m$ , d                                                      | 10000.00000 | 175.38018   | 806.23892   | 417.81983   | 4252.03387  |
| $R^2$ , %                                                      | 93.82       | 68.12       | 75.86       | 54.49       | 90.97       |

### สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ N หรือ S ของอ้อยที่ระดับผลผลิตต่างๆ

ค่าคงที่ ตามสมการที่ [1] สำหรับการดูดใช้ N เพื่อใช้สร้างชีวมวลทั้งหมดและลำต้นตามลำดับ ของอ้อยพันธุ์ LK92-11 มีค่าระหว่าง 0.00-0.42 และ 0.14-0.70 ส่วนของพันธุ์ K84-200 มีค่าในพิสัย 0.45-0.88 และ 0.18-0.94 ตามลำดับ ค่าคงที่ สำหรับความต้องการ N ของอ้อยพันธุ์ LK92-11 มีค่าระหว่าง 21.89-37.49 และ 5.70-34.42 ส่วนของพันธุ์ K84-200 มีค่าในพิสัย 18.18-44.92 และ 3.07-27.28 ตามลำดับ (Table 1) ค่าคงที่ สำหรับการดูดใช้ N ของอ้อยพันธุ์ LK92-11 มีค่าระหว่าง 82.40-193.26 และ 40.80-563.67 ส่วนของพันธุ์ K84-200 มีค่าในพิสัย 31.93-258.76 และ 3.52-214.34 ตามลำดับ (Table 1) ค่า  $R^2$  ที่ได้จากการใช้ค่าคงที่เหล่านี้ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ N เพื่อใช้สร้างชีวมวลทั้งหมดและในลำต้นอ้อยมีค่าสูงกว่า 87.91% สำหรับของพันธุ์ LK92-11 ส่วนของพันธุ์ K84-200 ค่าคงที่ที่ได้ส่วนใหญ่ให้ค่า

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูงกว่า 94.94% มีเฉพาะที่ระดับผลผลิต 7.17 ตัน/ไร่ เท่านั้นที่ค่าคงที่ที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ในลำต้นได้เพียง 66.86% (Table 1)

ค่าคงที่ ตามสมการที่ [1] สำหรับการดูดใช้ S เพื่อใช้สร้างชีวมวลทั้งหมดและลำต้นตามลำดับ ของอ้อยพันธุ์ LK92-11 มีค่าระหว่าง 0.95-1.43 และ 0.17-0.41 ส่วนของพันธุ์ K84-200 มีค่าในพิสัย 1.01-1.39 และ 0.16-0.71 ตามลำดับ ค่าคงที่ สำหรับการดูดใช้ S ของอ้อยพันธุ์ LK92-11 มีค่าระหว่าง 7.09-15.52 และ 16.09-50.00 ส่วนของพันธุ์ K84-200 มีค่าในพิสัย 1.64-49.99 และ 1.05-50.00 ตามลำดับ (Table 1) ค่าคงที่ สำหรับการดูดใช้ S ของอ้อยพันธุ์ LK92-11 มีค่าระหว่าง 212.81-618.09 และ 1,708.09-7,310.24 ส่วนของพันธุ์ K84-200 มีค่าในพิสัย 88.24-4,657.02 และ 175.38-10000.00 ตามลำดับ (Table 1) ค่า  $R^2$  มีค่าสูงกว่า 90.00% สำหรับของพันธุ์ LK92-11 ส่วนของพันธุ์ K84-200 มีค่าสูงกว่า 70.00% มีเฉพาะระดับผลผลิต 16.59 และ 19.63 ตัน/ไร่ เท่านั้นที่มีค่า  $R^2$  เป็น

22.98% และ 54.49% ตามลำดับ

### สัดส่วน N:S ในชีวมวลรวมทั้งหมด ลำต้น และ ใบของอ้อยที่ระดับผลผลิตต่างๆ

ค่าเฉลี่ยสัดส่วน N:S ในช่วงการเจริญเติบโตแบบ ย่างปล้อง (grand broom, 90-300 วันหลังปลูก) ของ อ้อยพันธุ์ LK92-11 ที่ระดับผลผลิตต่างๆ มีค่าอยู่ใน พิสัย 9.81-12.83 (ในใบ), 7.93-11.09 (ในลำต้น) และ 9.99-10.83 (ในชีวมวลทั้งหมด) ส่วนของพันธุ์ K84-200 มีค่าในช่วง 15.74-25.56, 14.30-17.20 และ 15.00-21.69 ในเนื้อเยื่ออ้อยทั้งสามตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยสัดส่วน N:S ในช่วงอ้อยสะสมน้ำตาล (sugar accumulation, 300-360 วันหลังปลูก) ของ อ้อยพันธุ์ LK92-11 ที่ระดับผลผลิตต่างๆ มีค่าอยู่ในพิสัย 12.78-15.64 (ในใบ), 4.29-7.76 (ในลำต้น) และ 7.98-10.54 (ในชีวมวลทั้งหมด) ส่วนของพันธุ์ K84-200 N:S ในช่วงสะสมน้ำตาลมีค่าอยู่ในพิสัย 24.94-33.94,

6.66-16.07 และ 16.14-20.96 ในเนื้อเยื่อทั้งสามตาม ลำดับ อ้อยทั้งสองพันธุ์มีสัดส่วน N:S ในใบสูงกว่าใน ลำต้น ทุกระดับผลผลิต และในช่วงสะสมน้ำตาล สัดส่วน N:S ในลำต้นจะมีค่าต่ำที่สุดทุกระดับผลผลิต

### ความสัมพันธ์แบบไร้มิติของการดูดใช้ N และ S กับระยะเวลาในการเจริญเติบโต

ค่าคงที่ของสมการ [2] ที่หาได้ในลักษณะการ วิเคราะห์แบบไร้มิติ ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ของการดูด ใช้ N หรือ S สัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการปลูกอ้อยสัมพันธ์ ให้ค่า  $R^2$  ที่สูงกว่า 85% สมการจึงสามารถใช้อธิบาย ความต้องการ N ในชีวมวลทั้งหมดและลำต้นของอ้อย พันธุ์ LK92-11 ได้ดี (Figure 3a, 3c, 4a และ 4c) ส่วน ของพันธุ์ K84-200  $R^2$  มีค่า >75% เฉพาะการดูดใช้ N เพื่อใช้สร้างชีวมวลทั้งหมดและในลำต้นเท่านั้น (Figure 3b และ 3d) ส่วนการดูดใช้ S เพื่อสร้างชีวมวลทั้งหมด และลำต้นมีค่า  $R^2$  ที่น้อยลง >55% (Figure 4b และ 4d)

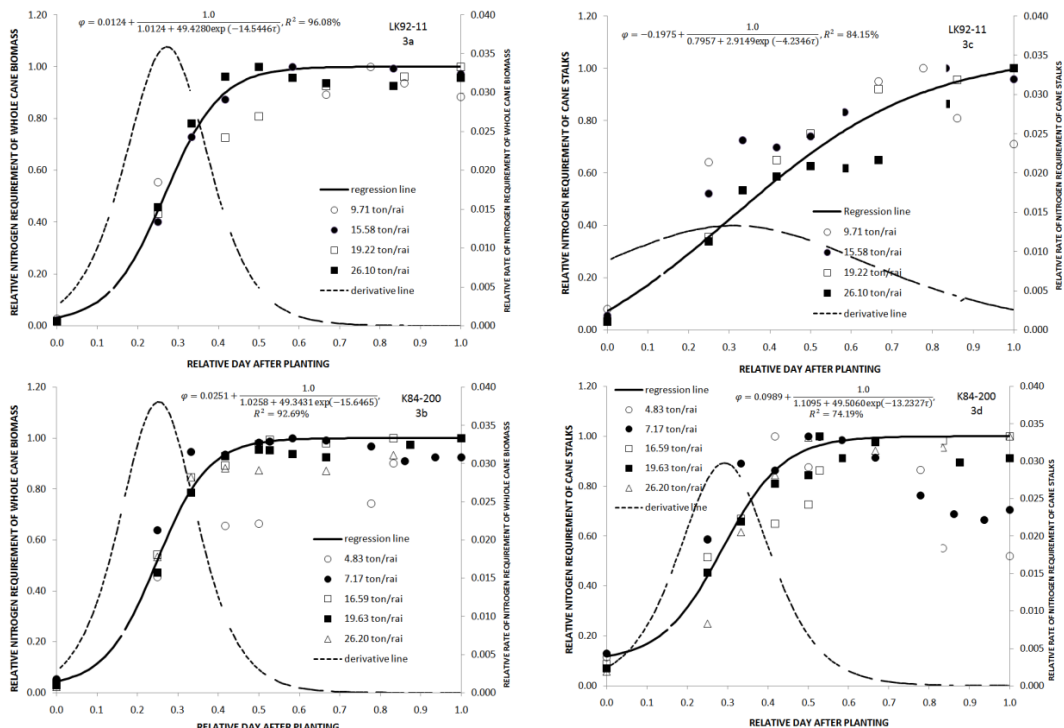


Figure 3 Dimensionless analysis on N uptake for whole biomass (3a, 3b) and for cane stalk (3b, 3d) and time after planting of LK92-11 and K84-200 sugarcane varieties. Legends were sugarcane yields. Symbols were data points.

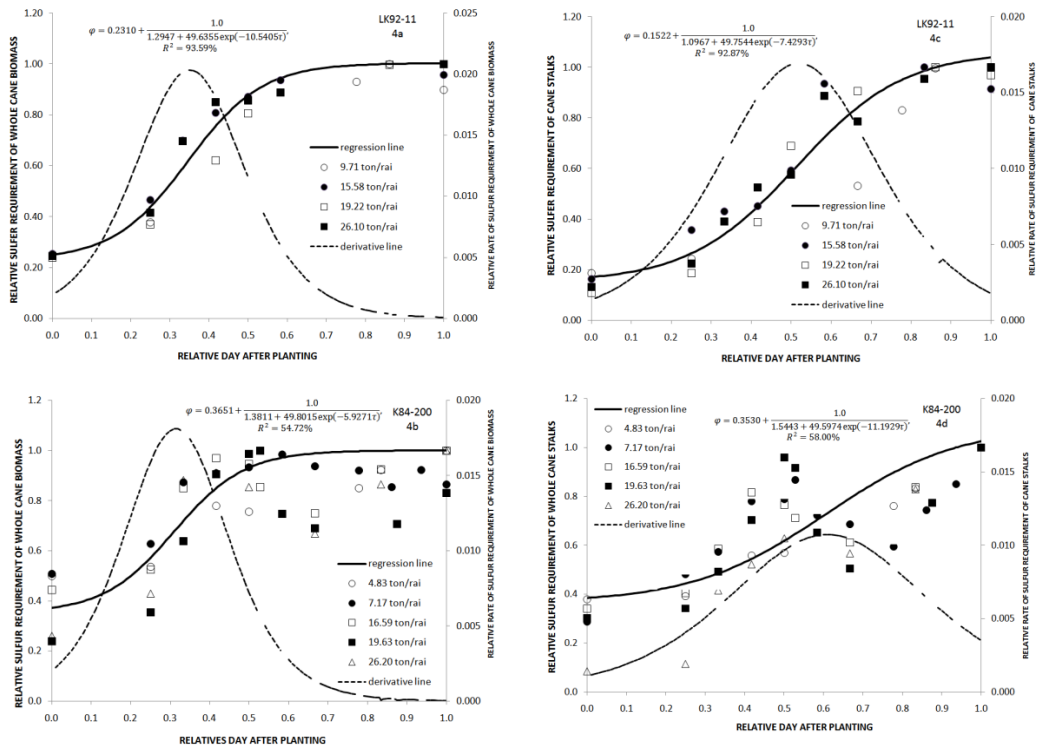


Figure 4 Dimensionless analysis on N uptake for whole biomass (4a, 4b) and for cane stalk (4b, 4d) and time after planting of LK92-11 and K84-200 sugarcane varieties. Legends were sugarcane yields. Symbols were data points.

### สรุปและวิจารณ์

#### การตอบสนองด้านการดูดใช้ธาตุอาหารต่อระดับผลผลิตอ้อย

อ้อยพันธุ์ LK92-11 เจริญเติบโตจนได้ผลผลิต (y) เป็น 9.71 15.58 19.22 และ 26.10 ตัน/ไร่ มีการดูดใช้ N เป็น 17.84, 25.29, 26.49 และ 29.60 กก.-ไนโตรเจน/ไร่ (พิจารณาจากค่าสูงสุดของความต้องการ N ในแต่ละระดับผลผลิต Figure 1a) ส่วนของอ้อยพันธุ์ K84-200 มีการดูดใช้ N เป็น 15.56, 17.77, 25.97, 32.33 และ 38.10 กก.-ไนโตรเจน/ไร่ (Figure 1c) เพื่อสร้างผลผลิตระดับ 4.83 7.17 16.59 19.63 และ 26.20 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ความต้องการ N เพื่อเพิ่มระดับผลผลิตให้สูงขึ้นนั้นไม่อยู่ในลักษณะเชิงเส้นตรง นั่นคือความลาดชันของเส้นความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้

N กับระดับผลผลิต y (หรือ ) ไม่เป็นค่าคงที่ แต่มีความลาดชันที่ลดลงเมื่อระดับผลผลิตมีค่าสูงขึ้น การตอบสนองในลักษณะนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากกับเกษตรกรกล่าวคือการใส่ธาตุอาหาร N ให้แก่อ้อยที่เพิ่มขึ้นที่ระดับผลผลิตสูงๆ จะทำให้อัตราการเพิ่มของผลผลิตอ้อยต่อหน่วยธาตุ N ที่ใส่จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าอัตรา N ที่ใส่ให้แก่อ้อย ซึ่งมีผลทำให้ต้นทุนต่อหน่วยผลผลิตอ้อยลดลง การดูดใช้ N ของอ้อยสองพันธุ์ ณ ระดับผลผลิตที่ใกล้เคียงมีความแตกต่างกันนั้น บ่งบอกให้ทราบถึงการดูดใช้ N ในการยกระดับผลผลิตของอ้อยจะจำเพาะอย่างมากกับพันธุ์ที่เลือกปลูก ในการศึกษาพบว่า พันธุ์ K84-200 มีการดูดใช้ N ในปริมาณที่สูงกว่า LK92-11

เมื่อพิจารณา N ในการสร้างลำต้นอ้อยที่ระดับผลผลิตต่างๆ อ้อยพันธุ์ LK92-11 มีการดูดใช้ N เพียง

6.42, 9.08, 16.30 และ 14.78 กก.-ไนโตรเจน/ไร่ (Figure 1b) เพื่อยกระดับผลผลิตเป็น 9.71 15.58 19.22 และ 26.10 ตัน/ไร่ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาในส่วนของ N ที่ติดไปกับผลผลิต (ลำต้น) ต่อชีวมวลทั้งหมดจะมีสัดส่วนเป็น 0.36, 0.36, 0.62 และ 0.50 ส่วนของอ้อยพันธุ์ K84-200 มีการดูใช้เพียง 5.71, 7.25, 10.72, 13.32 และ 16.14 78 กก.-ไนโตรเจน/ไร่ (Figure 1d) เพื่อสร้างผลผลิตระดับ 4.83, 7.17, 16.59, 19.63 และ 26.20 ตัน/ไร่ ตามลำดับ N ที่ติดไปกับผลผลิตต่อชีวมวลทั้งหมดจึงมีสัดส่วนเป็น 0.37, 0.41, 0.41, 0.41 และ 0.42 สัดส่วนดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของการสร้างชีวมวลรวม แสดงว่ามากกว่าครึ่งของปริมาณ N จะสะสมไว้ในใบ ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ถ้าเกษตรกรเผาใบอ้อยก่อนเก็บเกี่ยว จะมี N ในส่วนที่ใช้สร้างใบหายไป ซึ่งหมายถึงถ้าเกษตรกรต้องการปลูกอ้อยใหม่จำเป็นต้องจัดหา N ให้แก่อ้อยที่จะปลูกในรอบถัดไปในปริมาณ 2 เท่าของที่ควรจะเป็น เพราะถ้าไม่เผาจะทำให้อ้อยที่จะปลูกได้รับธาตุอาหารที่เกิดจากการย่อยสลายของใบอ้อยจากฤดูปลูกก่อนหน้านี้

การดูใช้ S ในการยกผลผลิตอ้อยให้ได้ระดับต่างๆ นั้นจะเป็นเช่นเดียวกับ N คืออ้อยพันธุ์ LK92-11 ดูใช้ S ในปริมาณ 4.91, 5.52, 6.51 และ 6.68 กก.-ซัลเฟอร์/ไร่ (Figure 2a) เพื่อสร้างชีวมวลทั้งหมด (ใบ+ลำต้น+ราก) ให้สามารถยกระดับผลผลิตเป็น 9.71 15.58 19.22 และ 26.10 ตัน/ไร่ ปริมาณ S ที่ติดไปกับผลผลิต (ลำต้น) มีเพียง 2.61, 3.18, 4.78 และ 4.70 กก.-ซัลเฟอร์/ไร่ ตามลำดับ (Figure 2c) คิดเป็นสัดส่วนของ S ที่ติดไปกับผลผลิตต่อชีวมวลทั้งหมดเป็น 0.53 0.58 0.73 และ 0.70 ตามลำดับ ส่วนอ้อยพันธุ์ K84-200 มีการดูใช้ S ปริมาณ 2.10, 2.43, 2.95, 5.15 และ 5.61 กก.-ซัลเฟอร์/ไร่ (Figure 2b) สำหรับใช้สร้างชีวมวลทั้งหมดเพื่อยกระดับผลผลิตให้เป็น 4.83, 7.17, 16.59, 19.63 และ 26.20 ตัน/ไร่ ตามลำดับ จะมี S ติดไปกับผลผลิตปริมาณ 1.16, 1.24, 1.66, 2.69 และ 4.17 กก.-ซัลเฟอร์/ไร่ ตามลำดับ (Figure 2d) หรือคิดเป็นสัดส่วนต่อชีวมวลทั้งหมดเป็น 0.37, 0.41, 0.41,

0.41 และ 0.42 ที่ระดับผลผลิตต่างๆ ตามลำดับ ธาตุ S ก็เป็นเช่นเดียวกันกับ N ที่มีเพียงครึ่งหนึ่งของความต้องการเท่านั้นที่ติดไปกับผลผลิต

### สัดส่วน N:S กับผลผลิตอ้อย

สัดส่วน N:S ของอ้อยพันธุ์ LK92-11 จะมีค่าต่ำกว่าของพันธุ์ K84-200 ที่ระดับผลผลิตใกล้เคียงกัน จึงกล่าวได้ว่าอ้อยพันธุ์ LK92-11 มีการดูใช้ N เพื่อการเจริญเติบโตน้อยกว่าพันธุ์ K84-200 โดยทั่วไปในใบมีสัดส่วน N:S มากกว่าในลำต้น และในช่วงสะสมน้ำตาลลำต้นอ้อยจะมีค่าสัดส่วน N:S น้อยที่สุด การที่อ้อยมีสัดส่วน N:S ที่สูงในใบอาจจะสะท้อนถึงผลผลิตของอ้อย กล่าวคือถ้าอ้อยมีสัดส่วน N:S ในใบที่สูงมักมีแนวโน้มให้ผลผลิตที่ลดต่ำลงและเป็นจริงในระดับผลผลิตไม่เกิน 15 ตัน/ไร่ (HaneKlaus, et al., 2006; Hamid and Dagash, 2014) การศึกษานี้พบว่า ทั้งอ้อยพันธุ์ LK92-11 และ K84-200 มีค่าสัดส่วน N:S ในใบที่ให้ผลผลิตน้อยกว่า 15 ตัน/ไร่ เป็นจริงดังกล่าว และที่ระดับผลผลิตที่ใกล้เคียงกันอ้อยพันธุ์ LK92-11 จะมีค่า N:S ในใบที่ต่ำกว่าของพันธุ์ K84-200 แสดงถึงศักยภาพของอ้อยพันธุ์ LK92-11 ในการให้ผลผลิตที่น่าจะสูงกว่า แต่เมื่อพิจารณาผลผลิตอ้อยที่สูงกว่า 15 ตัน/ไร่ สัดส่วน N:S ในใบกลับมีค่าเพิ่มขึ้นกับอ้อยทั้งสองพันธุ์ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากเมื่อผลผลิตมากขึ้นอ้อยจะใช้ N มากขึ้นในการสร้างผลผลิต S ซึ่งไม่ใช่ส่วนประกอบหลักในการสร้างผนังเซลล์จึงมีปริมาณลดลง ทำให้ N:S สูงขึ้นดังกล่าว สำหรับสัดส่วน N:S ในลำต้น ณ เวลาเก็บเกี่ยวอาจนำมาใช้ในการสะท้อนถึงคุณภาพของอ้อยได้ อ้อยที่มี N สูงมักมีค่าคุณภาพความหวานต่ำ (Muchow, 1996) รวมทั้งมีปริมาณเส้นใย (fiber) ในลำอ้อยต่ำ (Harrison et. al., 2009) ดังนั้นที่ระดับผลผลิตใกล้เคียงกันอ้อยพันธุ์ LK 92-11 น่าจะให้ความหวานที่ดีกว่าอ้อยพันธุ์ K84-200 และมีปริมาณเส้นใยสูงกว่าของอ้อยพันธุ์ K84-200

สำหรับการดูใช้ S ในลำต้นที่แสดงพฤติกรรมแบบเกือบเป็นเส้นตรงในความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการและเวลาหลังปลูก (Figure 2b, 2d) ทั้งๆ ที่ใช้

สมการแบบ Michaelis-Menten Kinetics ในการอธิบายความสัมพันธ์ ผลจึงชี้ให้เห็นว่าการดูดซับ S จากดินแล้วส่งต่อไปสะสมในลำต้น แสดงถึงความเกี่ยวข้องของ S ในกระบวนการสะสมน้ำตาลที่จะใช้เคลื่อนย้ายจากใบไปสะสมในลำต้น หรือการสร้างน้ำตาลจากน้ำตาลรีดิวส์ในลำต้น การที่มี S สะสมในลำต้นตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงอายุ 330 วันหลังปลูก S จึงน่าจะถูกใช้เพื่อสร้างเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพความหวานและการขนส่งน้ำตาล (ยงยุทธ, 2558; Haneklaus, 2006)

### ลักษณะการดูดใช้ N และ S ที่เป็นฟังก์ชันของเวลา

การที่ค่าของอนุพันธ์การดูดใช้ธาตุอาหาร N และ S ที่เป็นฟังก์ชันของเวลาหลังปลูก (Figures 3, 4) มีการตอบสนองในทำนองเดียวกันคือ การดูดใช้ N มีค่าสูงที่สุดที่เวลา 0.25-0.27 (ถ้าอายุเก็บเกี่ยวอ้อยเป็น 360 วัน อ้อยดูดใช้ N สูงสุดที่เวลา 90-97 วัน) และอ้อยไม่ดูดใช้ N เพิ่มเติมหลังเวลา 0.70 (252 วันหลังปลูก) ซึ่งเวลาที่อ้อยทั้งสองพันธุ์นี้มีการดูดใช้ N สูงที่สุดและเวลาที่อ้อยไม่ดูดใช้ N เพิ่มเติมไม่ต่างกันชี้ให้เห็นว่าการใส่ธาตุอาหาร N ให้แก่อ้อยเพื่อให้อ้อยมี N ใช้ได้ในช่วงเพียง 250 วันหลังปลูกก็น่าจะเพียงพอแล้วสำหรับการเจริญเติบโตจนอ้อยให้ผลผลิตได้ ถ้าอ้อยได้รับ N หลังจาก 250 วันอาจมีผลต่อทั้งผลผลิตอ้อยที่อาจจะลดลง และมีคุณภาพความหวานและปริมาณเส้นใยที่ลดลงได้

สำหรับการดูดใช้ N ของลำต้น อ้อยพันธุ์ LK92-11 มีการดูดใช้สูงที่สุดที่เวลา 0.35 (126 วันหลังปลูก) แต่ดูดใช้เป็นปริมาณที่สม่ำเสมอในช่วง 0.20-0.70 (72-252 วันหลังปลูก) ดังนั้นสำหรับอ้อยพันธุ์นี้ การดูดใช้ N จะอยู่ในช่วงเริ่มอย่างปล้องจนถึงช่วงกลางอย่างปล้อง ซึ่งน่าจะถือว่าเป็นช่วงวิกฤตสำหรับการขาด N ของอ้อยพันธุ์นี้ สำหรับอ้อยพันธุ์ K84-200 การดูดใช้ N ที่สูงเพื่อสร้างลำต้นจะอยู่ในช่วง 0.20-0.60 (72-216 วันหลังปลูก) ซึ่งก็คล้ายคลึงกันกับของพันธุ์ LK92-11 เมื่อเป็น

เช่นนี้ต้องวางแผนใส่ธาตุอาหาร N ให้มีอยู่ในสารละลายดินเพื่อให้อ้อยได้ดูดไปใช้อย่างเพียงพอ ตั้งแต่ช่วงปลายของอ้อยแตกกอจนถึงกลางช่วงอย่างปล้อง (ประมาณ 250 วันหลังปลูก) จึงจะทำให้อ้อยสามารถเจริญเติบโตจนได้ผลผลิตตามที่ต้องการและมี N ที่ไม่สูงมากเกินไปจนทำให้คุณภาพของอ้อยลดลงได้ (คือต้องการให้เกิดสัดส่วน N:S ที่ต่ำทั้งในใบอ้อยและในลำต้น)

อ้อยทั้งสองพันธุ์มีการดูดใช้ S เพื่อใช้สร้างชีวมวลทั้งหมดในช่วง 0.10-0.80 (36-240 วันหลังปลูก) จากนั้นไม่ดูดใช้ S เพิ่มเติม ในขณะที่ลำต้นอ้อยดูดใช้ S ในช่วง 0.10-1.00 (36 วันหลังปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว) ในช่วงเวลาหลัง 0.80 (240 วันหลังปลูก) S จะเคลื่อนย้ายจากใบไปสู่ลำต้น การที่เวลาหลัง 0.80 อ้อยมีการดูดใช้ S ในลำต้นอยู่เพื่อใช้ S เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เพื่อการสะสมน้ำตาล (ยงยุทธ, 2558) ซึ่งเป็นสาเหตุของการที่สัดส่วน N:S ในลำต้นอ้อยลดลงในช่วงเวลาสะสมน้ำตาลก่อนเก็บเกี่ยวได้เป็นอย่างดี

### คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก 2 แหล่ง จากสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม และบริษัทบุรีรัมย์วิจัยและพัฒนาอ้อย จำกัด ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณแหล่งทุนวิจัยทั้งสอง

### เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน เล่มที่ 2 ดินบนพื้นที่ดอน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.  
ภุมท์ สังขศิลา พูนพิภพ เกษมทรัพย์ วิศววรรณ ท้ายเมือง ณัฏฐยา เรือนแป้น เมทินี นิยมแก้ว และสุตราธน์ แซ่มซ้อย. 2550. ความต้องการธาตุอาหารหลักและรองของอ้อยที่ระดับการให้ผลผลิตต่างๆ กัน. ใน: รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการสร้างองค์ความรู้และพัฒนาอ้อย ส่วนที่ 3. โดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เสนอสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม.

- ยงยุทธ โอสถสภ. 2546. ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, จตุจักร, กรุงเทพฯ.
- Atkins, P. and de P. Julio. 2006. Physical Chemistry for the Life Sciences. W. H. Freeman and Company, New York.
- Barker, A. V., and D. J. Pilbeam. 2006. Chapter 1: Introduction. pp.3-18. In: Handbook of Plant Nutrition. A. V. Barker and D. J. Pilbeam eds. CRC series. Taylor and Francis, New York.
- Gardiner D. T., and N. W. Christensen. 1997. A simple model for phosphorus uptake kinetics of wheat seedlings, *Journal of Plant Nutrition*. 20: 271-277.
- Hamid, A. M. A., and Y. M. Ib. Dagash. 2014. Effect of sulfur on sugarcane yield and quality at the heavy clay soil "Vertisols" of Sudan. *Universal Journal of Applied Science*. 2(3): 68-71.
- Haneklaus, S., E. Bloem, E. Schnug, L. J. de Kok, and I. Stulen. 2006. Chapter 7: Sulfur. pp.183-238. In: Handbook of Plant Nutrition. A. V. Barker and D. J. Pilbeam eds. CRC series. Taylor and Francis, New York.
- Harrison, M. T., E. J. Edwards, G. D. Farquhar, A. B. Nicotra, and J. R. Evans. 2009. Nitrogen in cell walls of sclerophyllous leaves accounts for little of the variation in photosynthetic nitrogen-use efficiency. *Plant, Cell and Environment*. 32: 259-270.
- Haun, W. 2015. Sulphur and sugarcane production. *Agronomic Technical Bulletin*. Tiger Sul University.
- Jeevika, K., S. Pragadeesh, and A. M. Haroon. 2016. Assessment of nutrient ratios in the leaf of sugarcane grown in Theni district of Tamil Nadu, India. *Journal of Applied and Natural Science*. 8(1): 77-79.
- Kaler, A. S., J. M. McCray, A. L. Wright, and J. E. Erickson. 2017. Sugarcane yield and plant nutrient response to sulfur-amended Everglades Histosols. *Journal of Plant Nutrition*. 40(2): 187-196.
- Malusa E., and N. Vassilev. 2014. A contribution to set a legal framework for biofertilizers. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 98: 6599-6607.
- McNickle G. G., and J. S. Brown. 2014. When Michaelis and Menten met Holling: towards a mechanistic theory of plant nutrient foraging behaviour. Available: <https://goo.gl/QvzqpN>. Accessed Jul. 20, 2017.
- Muchow, R. C., M. J. Robertson, A. W. Wood, and B. A. Keating. 1996. Effect nitrogen on the time-course of sucrose accumulation in sugarcane. *Field Crops Research*. 47: 143-153.
- Mullins G. L., and H. Edwards. 1989. A comparison of two methods for measuring potassium influx kinetics by intact corn seedlings. *Journal of Plant Nutrition*. 12(4): 485-496.
- Tisdale S. L., J. L. Havlin, J. D. Beaton, and W. L. Nelson. 1999. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. 6th Edition. Prentice-Hall Inc, NJ.
- van Rees K. C. J. 1995. Michaelis-Menten Kinetics: Calculation and use in nutrient uptake model. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 24(2/3): 226-233.
- Yao F., J. Sun, C. Tang, and W. Ni. 2011. Kinetics of ammonium, nitrate, and phosphorus uptake by candidate plants used in constructed wetlands. *Procedia Environmental Sciences*. 10: 1854-1861.
- Yin, X., J. Gouriaan, E. A. Lantinga, J. Vos, and H. J. Spiertz. 2003. A Flexible sigmoid function of determinate growth. *Annals of Botany*. 91: 361-371.