Prawarun Agr. J. Volume 15(1) 2018, Pages 74-84

บทความวิจัย

ระดับของปุ๋ยเคมีไนโตรเจนต่อผลผลิต ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน เอนไซม์ยูรีเอส และความอุดมสมบูรณ์ของดินหลังการเก็บเกี่ยวอ้อยในสภาพดินทราย

นิพนธ์ มาวัน[1] และ วรรณวิภา แก้วประดิษฐ์[1,2,3*]

[1]ศูนย์วิจัยอ้อยและน้ำตาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002
[2]ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002
[3]กลุ่มวิจัยวิศวกรรมประยุกต์เพื่อพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอิทธิพลของระดับปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้แก่อ้อยปลูกต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน กิจกรรมเอนไซม์ยูรีเอสและคุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินที่ระยะเก็บเกี่ยวอ้อยในเขตดินทราย วางแผนงานทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 กรรมวิธีทดลอง 4 ซ้ำ: 1) กลุ่มควบคุมไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (control group) 2) ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำ (N1) และ 3) ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำ (N2) ผลการศึกษาพบว่าความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำอ้อยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ อย่างไรก็ตามที่อ้อยอายุ 4 เดือน กรรมวิธี N2 ส่งผลให้จำนวนต้นต่อกอและปริมาณคลอโรฟิลล์สูงกว่าในกรรมวิธี N1 และ Control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้กรรมวิธี N2 ส่งผลให้ผลผลิต (9.08 ตันต่อไร่) และจำนวนลำต่อไร่ (14,824 ลำต่อไร่) สูงที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธี N1 และ control ตามลำดับ นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำ (N2) ส่งผลต่ออินทรียวัตถุและปริมาณฟอสฟอรัสในดินหลังการทดลองเพิ่มขึ้นและไม่ส่งผลต่อการเพิ่มกิจกรรมของเอนไซด์ยูรีเอส ในขณะที่สัดส่วนกิจกรรมยูรีเอสต่อปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยในอัตราแนะนำ ดังนั้นการผลิตอ้อยในเขตดินทรายของภาคตะวันออกเฉียงเหนือนั้น หากได้รับปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกเพิ่มขึ้นสองเท่าของอัตราแนะนำสามารถเพิ่มผลผลิตอ้อยและยังคงส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน ดินทราย และ อินทรียวัตถุ

*ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: wanwka@gmail.com

Effect of Nitrogen Fertilizer Level on Yield, Nitrogen Efficiency, Urease Activity and Soil Fertility after Sugarcane Harvesting under Sandy Soil Condition

Nipon Mawan[1] and Wanwipa Kaewpradit[1,2,3*]

[1]Northeast Thailand Cane and Sugar Research Center, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

[2]Department of Plant Science and Agricultural Resources, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

3 Applied engineering for important Crop of the North East Research Group, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

Abstract

The objectives of this research were to study the effects of different nitrogen fertilizer level on growths, yields, nitrogen efficiency, urease activity and soil fertility after sugarcane harvesting under sandy soil condition. The experiment was designed under Randomized Complete Block Design (RCBD) with three treatments and four replications. There were three nitrogen rates i.e. 1) control group (0 kg/rai), 2) N at recommended rate (N1) and 3) double recommended N rate (N2). The results were indicated that plant height and stalk diameter were not significantly different between treatments. However, N2 treatment gave significantly number of tiller and SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) at 4 MAP ($P<0.05$) higher than N1 and control. Moreover, N2 treatment had the highest of cane yield (9.08 tons/rai) and stalk number (14,824 stalks/rai) ($P< 0.01$) compared with N1 and control group respectively. N2 treatment improved soil organic matter and available phosphorus but not soil urease activity while urease activity per N added ratio lower than N1 treatment. Thus, double recommended N rate not only increased cane yield but also nitrogen use efficiency in sugarcane production under sandy soil condition of Northeastern Thailand.

Keywords: Nitrogen use efficiency, Sandy soil and Organic matter

*Corresponding author: E-mail: wanwka@gmail.com

บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย จากการสำรวจพื้นที่ในปี 2560 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อยประมาณ 11 ล้านไร่ แหล่งผลิตอ้อยแหล่งใหญ่ที่สุดของประเทศอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีพื้นที่ประมาณ 4.8 ล้านไร่ คิดเป็น 43 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ (The Office of the Cane and Sugar Board, 2017) เนื่องจากดินในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือนั้นส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและมีลักษณะเป็นดินทรายซึ่งมีกิจกรรมของจุลินทรีย์ค่อนข้างต่ำ เมื่อเกษตรให้ปุ๋ยเคมีแก่อ้อย ธาตุอาหารที่ละลายออกมาจากปุ๋ยนั้นอาจสูญเสียไปจากระบบรากอ้อยได้อย่างรวดเร็วโดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุไนโตรเจนซึ่งมีความสำคัญต่อผลผลิต จึงส่งผลให้อ้อยมีจำนวนลำที่สามารถตัดส่งโรงงานได้ต่อพื้นที่ต่ำ เนื่องจากภายหลังจากที่อ้อยมีการแตกกอเต็มที่แล้วกลับพบว่าหน่ออ้อยทั้งหมดไม่สามารถเจริญเติบโตเป็นลำที่สมบูรณ์เพื่อตัดส่งโรงงานได้ทั้งหมด จำนวนลำต่อพื้นที่ของอ้อยในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือจึงต่ำ ส่งผลให้ผลผลิตต่อพื้นที่ต่ำตามไปด้วย จากการศึกษาของ Koochekzadeh *et al*. (2009) พบว่าไนโตรเจนสามารถช่วยในการแตกหน่อและการยืดยาวของลำอ้อยเพิ่มขึ้น สอดคล้องงานวิจัยของ Lofton and Tubana (2015) พบว่าไนโตรเจนสามารถช่วยเพิ่มให้ผลผลิตอ้อยสูงขึ้น การให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่มากขึ้นอาจจะเป็นแนวทางที่สามารถเพิ่มผลผลิตแก่อ้อยได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากดินทรายนั้นมีกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินต่ำ การเพิ่มอัตราของปุ๋ยไนโตรเจนอาจจะไม่ส่งผลให้พืชนำไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกิจกรรมของเอนไซม์ยูเรียเอสซึ่งเป็นดัชนีที่สำคัญในการประเมินประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพื่อใช้ในการเพิ่มผลผลิตของพืช การให้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนแก่อ้อยในปริมาณที่สูงกว่าอัตราแนะนำในพื้นที่ดินทราย เพื่อให้มีธาตุไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์แก่อ้อยในการเจริญเติบโต อาจสามารถเพิ่มโอกาสให้จำนวนหน่อที่ถูกสร้างขึ้นมาในช่วงระยะแตกกอนั้นสามารถเจริญเติบโตไปเป็นลำที่สมบูรณ์จนสามารถส่งโรงงานได้ ทำให้เกษตรกรสามารถส่งอ้อยเข้าโรงงงานในปริมาณสูงขึ้นมีรายได้มากขึ้น อีกทั้งโรงงานน้ำตาลมีปริมาณอ้อยเข้าหีบมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอิทธิพลของระดับปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้แก่อ้อยปลูกต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต กิจกรรมเอนไซม์ยูรีเอสและคุณสมบัติทางเคมีบางประการของดินที่ระยะเก็บเกี่ยวอ้อย

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ทำการทดลองในสภาพไร่ ณ บ้านวังหว้า อำเภอบ้านแฮด จังหวัดขอนแก่น โดยค่าเฉลี่ยของน้ำฝนรายปีมีปริมาณ 790 มิลลิเมตรต่อปี อุณหภูมิเฉลี่ย 27.67 องศาเซลเซียส (Thai Meteorological Department, 2015) วางแผนงานทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 กรรมวิธี ทำการทดลอง 4 ซ้ำ แปลงทดลองขนาด 9.8 x 6 ตารางเมตรโดยใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (กก./ไร่) ในการใส่ครั้งแรกพร้อมปลูก และครั้งที่สองใช้ปุ๋ยสูตรและอัตราเดียวกันเมื่ออ้อยอายุ 5 เดือนซึ่งเป็นวิธีการใส่ปุ๋ยอ้อยในเขตดินทรายที่กรมวิชาการเกษตรแนะนำ (Department of Agriculture, 2009) ดำเนินการจัดการปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ลงในแปลงทดลองที่ได้รับการจัดการปุ๋ยเคมีตามกรรมวิธีต่างๆ ดัง Table 1

Table 1 Fertilizer application rates of each treatment

Treatments	1st Application			2nd Application		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
	(kg/rai)			(kg/rai)		
Control	-	-	-	-	-	-
N1	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
N2	15	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5

การเก็บข้อมูล

1. ข้อมูลดินก่อนการทดลอง

การเก็บข้อมูลดิน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลอง ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ ลักษณะเนื้อดิน (soil texture) โดยวิธี Hydrometer (Kilmer and Mullins, 1954) ความชื้นในดิน (moisture content in soil) (Land Development Department, 2004) และ

วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด–ด่างของดิน (soil pH) โดยวิธี pH meter (potention metric method) ในสัดส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1: 2.5 (Black, 1965) ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (electrical conductivity; EC) โดยวิธี EC meter ในสัดส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1: 5 (Land Development Department, 2004) ความจุในการแลกเปลี่ยนแคทไอออนของดิน (cation exchange capacity; CEC) โดยวิธี Ammonium acetate extract ของ Schollerger and Simmon (1945) และ Land Development Department (2004) อินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter; OM) โดยวิธี Wet oxidation ของ Walkley and Black (1934) อนินทรีย์ไนโตรเจนในดิน (mineral N in soil; NO_3^-, NH_4^+) เติม 2 N KCl ในอัตราส่วน 1: 5 (ดินเปียก 20 กรัม: 2 N KCl 100 มิลลิลิตร) และนำไปวิเคราะห์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชแบบอัตโนมัติ (Flow Injection Analyzer; FIA) (Land Development Department, 2004) ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (total N in soil) โดยการย่อยตามวิธี Kjeldahl nitrogen method (Jackson, 1967) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (available P in soil) โดยวิธี Murphy and Riley ตามวิธี Bray II ของ Bray and Kurtz (1945) วัดความเข้มข้นสีของสารละลายด้วยเครื่อง spectrophotometer ปริมาณโพแทสเซียมและแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (extractable K, Ca in soil) โดยวิธี Ammonium acetate เป็นตัวสกัด วิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมและแคลเซียมด้วยเครื่อง Flame photometer นอกจากนี้ได้วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอสจากตัวอย่างดินที่ระยะเก็บเกี่ยวโดยวิธีของ Kandeler *et al*. (1999)

2. ข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อย

โดยบันทึกลักษณะต่างๆ ดังนี้ จำนวนต้นต่อกอ ความสูงต้น และขนาดของลำต้น สุ่มนับจำนวน 5 กอต่อแปลง ที่อ้อยอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 เดือนหลังปลูก ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ สุ่มวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ 5 ใบต่อแปลง (วัดจากลำที่สุ่มนับจำนวนต้นต่อกอ) โดยวัดจากใบที่อยู่ส่วนยอดสุดโดยใช้เครื่อง SPAD chlorophyll meter สุ่มวัด 3 จุดต่อใบ บริเวณโคน กลาง และปลายใบ

3. ข้อมูลอ้อยระยะเก็บเกี่ยว

ทำการเก็บข้อมูลเมื่ออ้อยอายุ 12 เดือน โดยเก็บข้อมูลจาก 5 แถวกลาง ยกเว้นต้นหัว-ท้ายแถว และยกเว้น 2 แถวริม บันทึกข้อมูลจำนวนลำเพื่อคำนวณเป็นจำนวนลำต่อพื้นที่ จากนั้นทำการตัดลำต้นอ้อย แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักสดเพื่อคำนวณผลผลิตต้นสดเป็นตันต่อไร่ ค่าความหวาน (องศาบริกซ์) ดำเนินการตรวจวัด 3 จุด โดยวิธีเจาะน้ำหวานจากลำต้นอ้อยบริเวณ ส่วนยอด กลาง และโคนต้น ซึ่งวัดจาก 5 ต้นเดิมที่เก็บบันทึกข้อมูลจำนวนต้นต่อกอ โดยใช้ hand refractometer แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์บริกซ์ ค่า C.C.S. (commercial cane sugar)

4. ข้อมูลปริมาณธาตุอาหารในอ้อยที่ระยะเก็บเกี่ยว

ประกอบด้วย ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) วิเคราะห์โดยวิธี Micro Kjeldahl (Land Development Department, 2004) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ย่อยตัวอย่างพืชด้วยกรดไนตริก (HNO_3) และกรดเปอร์คลอริก ($HClO_4$) แล้ววิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Land Development Department, 2004) และโพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Flame photometer ค่าเฉลี่ยผลผลิตอ้อยหลังการเก็บเกี่ยวและปริมาณไนโตรเจนในต้นพืช นำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและองค์ประกอบของประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (Good *et al*., 2004) จากสูตร

ค่าประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน (nitrogen use efficiency; NUE) = NUpE x NUtE

ค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจน (nitrogen uptake efficiency ; NUpE) = ไนโตรเจนทั้งหมดในอ้อยที่เพิ่มขึ้น (กก./ไร่) / อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ (กก./ไร่)

ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นผลผลิต (nitrogen utilization efficiency; NUtE) = ผลผลิตของอ้อย (กก./ไร่) ที่เพิ่มขึ้น / ไนโตรเจนทั้งหมดในพืชที่เพิ่มขึ้น (กก./ไร่)

5. ข้อมูลดินที่ระยะเก็บเกี่ยว

ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมีบางประการเช่นเดียวกับดินก่อนการทดลอง วิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี

วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองโดยใช้ Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินก่อนการทดลอง

ดินก่อนการทดลองมีคุณสมบัติทางเคมี ที่ดินระดับ 0-15 เซนติเมตร มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 5.14 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 0.02 dS/m ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) เท่ากับ 3.56 c mol/kg อินทรียวัตถุ (OM) เท่ากับ 0.28% อนินทรีย์ไนโตรเจน เท่ากับ 9.05 mg/kg ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) เท่ากับ 0.01% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) เท่ากับ 10.05 mg/kg โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) เท่ากับ 26.43 mg/kg แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Ca) เท่ากับ 79.55 mg/kg ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) เท่ากับ 1.43 g/cm^3

2. องค์ประกอบการเจริญเติบโตของอ้อย

การเจริญเติบโตของอ้อยที่ได้รับอิทธิพลจากอัตราไนโตรเจนที่แตกต่างกัน พบว่าความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นอ้อยในของแต่ละกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างทางสถิติในอ้อยทุกระยะ 4, 6, 8, 10 และ 12 เดือน (Fig. 1) เมื่อพิจารณาอ้อยที่ระยะ 10 และ 12 เดือน พบว่ากรรมวิธีที่ 2 และ 3 สูงกว่ากรรมวิธีที่ 1 แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ อย่างไรก็ตามที่อ้อยระยะ 4 เดือน กรรมวิธีที่ได้รับไนโตรเจนตามคำแนะนำและกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำส่งผลต่อการเพิ่มจำนวนต้นต่อกอและปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจน นอกจากนี้พบว่าที่อ้อยระยะ 4 เดือน กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของอัตราแนะนำ (N2) ส่งผลให้จำนวนต้นต่อกอสูงกว่าในกรรมวิธีที่ใส่ตามคำแนะนำ (N1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ที่อ้อยระยะ 6, 8, 10 และ 12 เดือน พบว่าจำนวนต้นต่อกอและปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ้อยมีแนวโน้มลดลงในทุกกรรมวิธีและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การเพิ่มขึ้นของจำนวนต้นต่อกอของอ้อยแสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนส่งผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อย โดยเฉพาะในช่วงแรกของการเจริญเติบโตเนื่องจากเป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Garside *et al*. (2000) พบว่าในช่วง 100 วันหลังปลูกอ้อยเป็นช่วงที่อ้อยตอบสนองต่อไนโตรเจนและเป็นช่วงที่มีจำนวนต้นต่อกอสูงที่สุด จึงมีความเหมาะสมต่อการทดสอบการตอบสนองไนโตรเจนต่อการแตกกอของอ้อยที่สามารถเจริญเติบโตไปเป็นลำที่สมบูรณ์ในช่วงของการเก็บเกี่ยวอ้อย ดังนั้นจึงทำให้อ้อยที่ระยะ 4 เดือน ในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำมีจำนวนต้นต่อกอของอ้อยมากกว่ากรรมวิธีที่ใส่ตามคำแนะนำและกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน แต่เมื่ออ้อยไม่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มในการใส่ปุ๋ยครั้งที่สองอาจส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารส่งไปยังหน่อที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่เพียงพอจนทำให้หน่อดังกล่าวไม่สามารถเจริญเติบโตไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยวได้ อย่างไรก็ตามงานทดลองของ Khonghintaisong *et al*. (2017) พบว่ารูปแบบดังกล่าวนั้นเป็นลักษณะของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ที่มีการแตกหน่อสูงสุดที่ 165 วันและจำนวนหน่อจะลดลงเมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยว เช่นเดียวกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ้อยในช่วงอ้อยระยะ 4 เดือนพบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด เนื่องจากมีการสะสมไนโตรเจนที่ใบจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน หลังจากนั้นปริมาณคลอโรฟิลล์จะค่อยลดลงตามอายุของอ้อยที่อ้อยระยะ 6, 8, 10 และ 12 เดือน ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Inman-Bamber *et al*. (2011) พบว่าไนโตรเจนและปริมาณคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์ทางบวก ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของอ้อยจะมีความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลงตามช่วงอายุของอ้อย อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำอ้อยในแต่ละกรรมวิธี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hajari *et al*. (2017) ซึ่งพบอัตราไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ส่งผลต่อการเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอ้อย

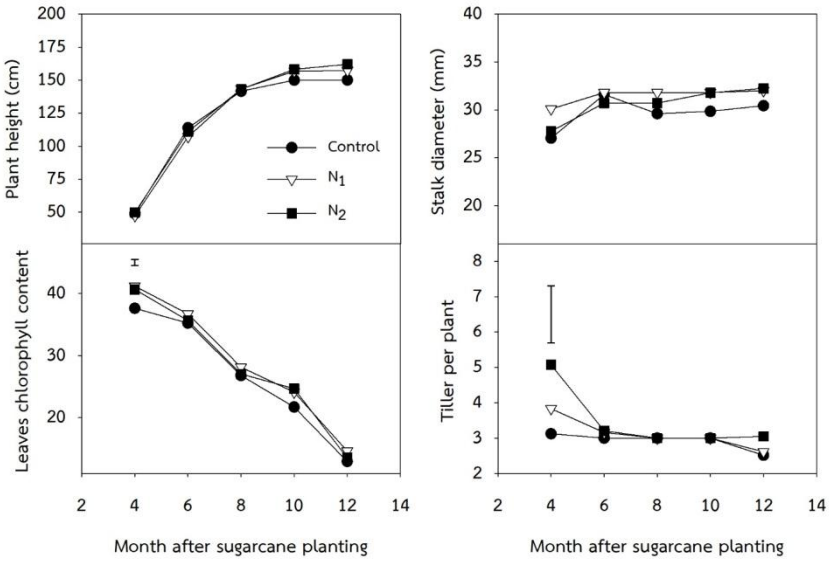

Fig. 1 Effects of different N fertilizer application rates on plant height (a), stalk diameter (b), SPAD chlorophyll meter reading (c) and tiller number (d) of sugarcane at 4, 6, 8, 10 and 12 months after planting (MAP) Vertical bars represent SED

3. องค์ประกอบด้านผลผลิตอ้อยและประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน

ที่ระยะเก็บเกี่ยวพบว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตอ้อยอย่างชัดเจน จากผลการทดลองพบว่าจำนวนลำต่อไร่และผลผลิตของอ้อยสูงในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำ (11,280 ลำ/ไร่ และ 7.17 ตัน/ไร่) และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำ (14,824 ลำ/ไร่ และ 9.08 ตัน/ไร่) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม (9,670 ลำ/ไร่ และ 3.97ตัน/ไร่) (Table 2) และพบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำอัตรา 22.5 กก.ไนโตรเจน/ไร่ ทำให้จำนวนลำต่อไร่และผลผลิตสูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่ตามคำแนะนำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักผลผลิตอธิบายได้จากการเพิ่มขึ้นของจำนวนลำอ้อยต่อพื้นที่ ส่งผลให้น้ำหนักสดผลผลิตสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bologna-Campbell *et al*. (2013) ได้ทำการทดลองในพื้นที่ดินทรายพบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 19.2 กก.ไนโตรเจน/ไร่ ส่งผลให้จำนวนลำต่อพื้นที่และน้ำหนักผลผลิตของอ้อยเพิ่มขึ้น 57 และ 56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน นอกจากนี้จำนวนลำต่อพื้นที่และน้ำหนักผลผลิตของอ้อยยังสูงกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 12.8 และ 6.24 กก.ไนโตรเจน/ไร่ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับงานทดลองในประเทศออสเตรเลียที่พบว่าผลผลิตของอ้อยเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ย 9, 17.1 และ 42.9 กก.ไนโตรเจน/ไร่ ตามลำดับ ในพื้นที่ที่ดินมีลักษณะดินทราย (Muchow *et al.,* 1996) จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในพื้นที่ที่มีลักษณะดินทรายจะช่วยเพิ่มจำนวนลำต่อพื้นที่และผลผลิตของอ้อยเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองครั้งนี้ยังพบว่าค่าซีซีเอสในกรรมวิธีต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

โดยทั่วไปการเพิ่มอัตราไนโตรเจนให้แก่อ้อยจะส่งผลในการลดลงของค่าซีซีเอส (Meyer *et al*., 2007) ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนโดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนจากดินและประสิทธิภาพการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นผลผลิต ผลการทดลองพบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกเป็นสองเท่าของคำแนะนำและกรรมวิธีใส่ตามคำแนะนำมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในอ้อยสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.001$) (Table 3) แต่ทั้งสองกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนจากดินและค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นผลผลิตไม่มีความ

แตกต่างทางสถิติระหว่างกรรมวิธีที่ที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำ (0.90 และ 1630.89) กับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำ (0.110 และ 979.82) อย่างไรก็ตามค่าประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำ (132.28) สูงกว่ากับกรรมวิธีที่ใส่ตามอัตราตามคำแนะนำ (106.75) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยทั่วไปอัตราของไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ทางลบกับค่าประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน จากงานวิจัย Suman *et al*. (2008) พบว่าการเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอ้อยจาก 24 กก.ไนโตรเจน/ไร่ ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน ค่าประสิทธิภาพการดึงไนโตรเจนจากดิน และค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นผลผลิตลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 12 กก. ไนโตรเจน/ไร่ ผลงานวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในพื้นที่ลักษณะดินทรายไม่ได้ส่งผลในการลดค่าประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนจากดินและประสิทธิภาพการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นผลผลิต นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ไนโตรเจนของอ้อยอีกด้วย

Table 2 Cane yield, total nitrogen, total phosphorus and total potassium content in sugarcane at final harvesting

Treatments	Stalk number (stalk/rai)	Cane yield (ton/rai)	C.C.S (%)	Total N (kg/rai)	Total P (kg/rai)	Total K (kg/rai)
Control	9,670[c1/]	3.97[c]	12.43	6.11[b]	0.87[b]	7.38[c]
N1	11,280[b]	7.17[b]	12.31	9.62[a]	1.55[ab]	15.08[b]
N2	14,824[a]	9.08[a]	12.15	10.06[a]	1.94[a]	21.63[a]
F-test	**	**	ns	**	*	**
CV (%)	**7.36**	**36.65**	**3.09**	**25.31**	**50.44**	**41.11**

Note: [ns] not-significant, [*,**] Significant at P < 0.05 and 0.01, respectively, [1/] Means in the same columns with different letters are significant (P<0.05) determined by Least Significant Difference (LSD)

Table 3 N uptake efficiency (NUpE), N utilization efficiency (NUtE) and N use efficiency (NUE) in sugarcane at final harvesting

Treatments	NUpE	NUtE	NUE
N1	0.11	979.82	106.75
N2	0.09	1630.89	132.28
t-test	ns	ns	*
C.V. (%)	**24.84**	**43.78**	**11.42**

Note: [ns] not-significant, * Significant at P < 0.05 determined by unpaired t-test.

4. คุณสมบัติของดินหลังเก็บเกี่ยวอ้อย

ดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร พบว่าค่าการนำไฟฟ้า อินทรียวัตถุของดินและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (0.028 ds/m, 0.34 เปอร์เซ็นต์ และ 29.15 mg/kg) ในกรรมวิธี 3 มีค่าสูงสุดและแตกต่างทางสถิติ (P<0.01) จากกรรมวิธีอื่น (Table 4) ในขณะที่ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (0.0123 เปอร์เซ็นต์) สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในกรรมวิธีที่ 2 แต่ไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ 3 (0.0120 เปอร์เซ็นต์) ปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจนในดินไม่พบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละกรรมวิธี นอกจากนี้ยังพบว่ากรรมวิธีที่ 2 และ 3 ส่งผลให้ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แต่กรรมวิธีที่ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี การเพิ่มขึ้นอินทรียวัตถุของดินในกรรมวิธีที่ใส่ไนโตรเจน อธิบายได้จากการใส่ไนโตรเจนส่งผล

ต่อการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนใต้ดินจากระบบรากอ้อยที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มอัตราปุ๋ยไนโตรเจน ซึ่งรากอ้อยจะปลดปล่อยสารอินทรีย์ (Root exudate) ที่ง่ายต่อการย่อยสลายและไปกระตุ้นกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินในบริเวณรากพืช จากกระบวนการดังกล่าวทำให้เกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์และเพิ่มอินทรียวัตถุในดินมากขึ้นและกรดอินทรีย์ที่ปลดปล่อยออกมาจากรากยังส่งผลต่อการลดลงของความเป็นกรด-ด่างของดิน (Carvalho *et al*., 2017) จากการเพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุของดินในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์หลังจากการใส่ปุ๋ยเคมีมีสูญเสียง่ายจากการชะล้าง (Leaching) โดยเฉพาะในดินที่มีลักษณะดินทราย ดังนั้นอินทรียวัตถุของดินที่เพิ่มขึ้นสามารถดูดยึดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์หลังจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำและป้องกันการสูญเสียโดยการชะล้าง นอกจากนี้กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำและกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ยูเรียเอสสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (Fig. 2) จากงานวิจัยของ Jian *et al*. (2016) พบว่าการเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนส่งผลกิจกรรมของเอนไซม์ยูเรียเอสสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย อย่างไรก็ตามการทดลองครั้งนี้กิจกรรมของเอนไซม์ยูเรียเอสในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยในอัตราตามคำแนะนำ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำไม่ได้ทำให้สูญเสียไนโตรเจนจากการไฮโดรไลซิสของเอมโซม์ยูเรียเอสเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ตามคำแนะนำ

เมื่อพิจารณาจากกิจกรรมของเอนไซม์ยูเรียเอสต่อปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ (Table 5) พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ยูเรียในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าคำแนะนำต่ำกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งกิจกรรมของยูรีเอสนั้นทำให้ยูเรียถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียม ($NH4^+$) อย่างช้าๆ

การปลดปล่อยไนโตรเจนจากปุ๋ยอย่างช้าๆ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ไนโตรเจนของพืชเพื่อใช้ในการเพิ่มผลผลิตและลดการสูญเสียไนโตรเจนจากการเปลี่ยนเป็นก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) (Timilsena *et al*., 2015) ดังนั้นในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสองเท่าของคำแนะนำในดินทรายส่งผลให้ผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนของพืช

Table 4 Soil chemical properties at 0-15 cm depth after harvesting

Treatments	pH	EC (dS/m)	CEC (cmol/kg)	OM (%)	Total N (%)	Mineral N (mg/kg)	Avai.P (mg/kg)	Exch.K (mg/kg)	Exch.Ca (mg/kg)
0-15 cm soil depth									
Control	5.78^{a}	0.013^{b}	2.35	0.26^{b}	0.0090^{b}	6.78	11.68^{c}	45.80	93.25
N1	5.34^{ab}	0.017^{b}	2.36	0.25^{b}	0.0123^{a}	10.88	22.38^{b}	51.50	73.25
N2	5.04^{b}	0.028^{a}	2.06	0.34^{a}	0.0120^{ab}	6.67	29.15^{a}	55.88	56.75
F-test	*	**	ns	**	*	ns	**	ns	ns
C.V. (%)	**8.40**	**42.65**	**25.04**	**18.05**	**19.37**	**40.48**	**39.48**	**19.35**	**34.07**

Note: ^{ns} not-significant, *,** Significant at $P < 0.05$ and 0.01, respectively, $^{1/}$Means in the same columns with different letters are significant ($P<0.05$) determined by Least Significant Difference (LSD)

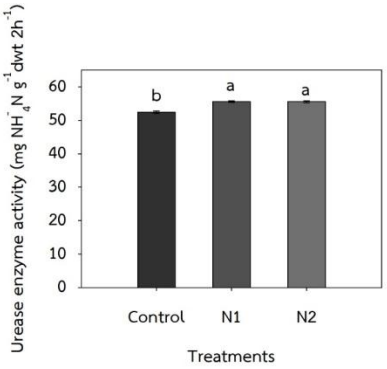

Fig. 2 Soil urease activity at sugarcane final harvesting. The error bars represent standard error (SE)

Table 5 Soil urease enzymes activity per nitrogen applied at sugarcane final harvesting

Treatments	mg $NH^{-4}N$ g^{-1}dwt h^{-1}/kg N
N1	1.8
N2	1.4
t-test	*
C.V. (%)	**4.64**

Note: ^{ns}not-significant, *Significant at P<0.05 determined by unpaired t-test.

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาอิทธิพลของการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนต่อการพัฒนาหน่ออ้อยปลูกให้เป็นลำที่สมบูรณ์ เพื่อหาแนวทางการจัดการปุ๋ยในเขตดินทราย พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกในอัตราสองเท่าของคำแนะนำส่งผลให้จำนวนลำต่อกอเพิ่มขึ้นและสามารถเจริญเติบโตไปเป็นลำที่สมบูรณ์ส่งผลให้ให้จำนวนลำต่อพื้นที่และผลผลิตของอ้อยสูงขึ้น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกสองเท่าของคำแนะนำส่งผลต่ออินทรียวัตถุในดินและปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น และไม่ได้ส่งผลต่อการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างของดินหลังจากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำ นอกจากนี้กิจกรรมของเอนไซม์ยูรีเอสจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนพร้อมปลูกในอัตราสองเท่าของคำแนะนำไม่มีความแตกต่างจากกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนสูงกว่าเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนางสาวชัชรี แอบเสลาที่ช่วยกรุณาเก็บข้อมูลงานทดลอง และขอขอบคุณทุนอุดหนุนทั่วไป มหาวิทยาลัยขอนแก่นปีงบประมาณ 2558 และกลุ่มวิศวกรรมประยุกต์เพื่อพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่สนับสนุนงบประมาณการวิจัย

References

Black, C.A. 1965. Methods of Soil Analysis: Part I Physical and Mineralogical Properties. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.

Bologna-Campbell, I., Franco, H. C.J., Vitti, A.C., Faroni, C.E., Costa, M.C.G. and Trivelin, P.C.O. 2013. Impact of Nitrogen and Sulphur Fertilisers on Yield and Quality of Sugarcane Plant Crop. Sugar Tech. 15(4): 424-428.

Bray, R.H. and Kurtz, L.T. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59: 39-45.

Carvalho, J.L.N., Hudiburg, T.W., Franco, H.C.J. and Delucia, E.H. 2017. Contribution of above-and belowground bioenergy crop residues to soil carbon. Global Change Biology Bioenergy. 9: 1333-1343.

Department of Agriculture. 2009. The document of sugarcane cultivation [online]. [Accessed March 27, 2018]. Available from: URL: http://www.doa.go.th/fcrc/nsn/filedownload/l90sugarcane.pdf.

Garside, A.L., Bell, M.J., Berthelsen, J.E. and Halpin, N.V. 2000. Effects of breaks and nitrogen fertilizer on shoot development, maintenance and crop yield in an irrigated plant crop of Q117. Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol. 22: 61–67.

Good, A.G., Shrawat, A.K. and Muench, D.G. 2004. Can less yield more? Are reducing nutrient inputs into the environment compatible with maintaining crop production? Trends. Plant Sci 9: 597–605.

Hajari, E., Snyman, S.J. and Watt, M.P. 2017. The effect of form and level of inorganic N on nitrogen use efficiency of sugarcane grown in pots. Journal of Plant Nutrition. 40(2): 248-257.

Inman-Bamber, N. G., Jackson, P. A. and Hewitt, M. 2011. Sucrose accumulation in sugarcane stalks does not limit photosynthesis and biomass production. Crop and Pasture Science 62: 848-858.

Jackson, M.L. 1967. Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall of India Pvt. Ltd., New Delhi. 498 pp.

Jian, S., Li, J., Chen, J., Wang, G., Mayes, M. A., Dzantor, K. E. and Luo, Y. (2016). Soil extracellular enzyme activities, soil carbon and nitrogen storage under nitrogen fertilization: A meta-analysis. Soil Biology and Biochemistry, 101: 32-43.

Kandeler, E., Stemmer, M. and Klimanek, E. 1999. Response of soil microbial biomass, urease and xylanase within particle size fractions to long-term soil management. Soil Biology and Biochemistry, 31: 261-273.

Khonghintaisong, J., Songsri, P. and Jangpromma, N. 2017. Growth and Physiological Patterns of Sugarcane Cultivars to Mimic Drought Conditions in Late Rainy Season System. Naresuan University Journal: Science and Technology (NUJST). 25(2): 102-112. (in Thai)

Kilmer, V.J. and Mullins, J.F.1954. Improved stirring and pipetting apparatus for mechanical analysis of soil. Soil Science. 77(6): 437-442.

Koochekzadeh, A., Fathi, G., Gharineh, M.H., Siadat, S.A., Jafari, S. and Alami-Saeid, K. 2009. Impacts of rateand split application of N fertilizer on sugarcane quality. Int. J. Agric. Res. 4(3): 116–123.

Land Development Department. 2004. Manual on soil, plant and water analysis. Office of Science for Land Development. Bangkok. 235 pp. (in Thai)

Lofton, J. and Tubana, B. 2015. Effect of Nitrogen Rates and Application Time on Sugarcane Yield and Quality. Journal of Plant Nutrition. 38(2): 161-176.

Meyer, J.H., Schumann, A.W., Wood, R.A., Nixon, D.J. and Berg, M.V.D. 2007. Recent advances to improve nitrogen use efficiency of sugarcane in the South African sugar industry. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. 26: 238–245.

Muchow, R.C., Robertson, M.J., Wood, A.W. and Keating, B.A. 1996. Effect of nitrogen on the time course of sucrose accumulation in sugarcane. Field Crops Res. 47: 143-153.

Schollenberger, C.J. and Simon, R.H. 1945. Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soils-ammonium acetate method. Soil Sci. 59: 13-24.

Suman, A., Shrivastava, A.K., Gaur, A., Singh, P., Singh, J. and Yadav, R.L. 2008. Nitrogen use efficiency of sugarcane in relation to its BNF potential and population of endophytic diazotrophs at different N levels. Plant Growth Regulation. 54(1): 1-11.

Thai Meteorological Department. 2015. The information of Tha Pha agrometerological station (Khon Khaen) [online]. [Accessed December 5, 2017]. Available from: URL: https://www.tmd.go.th/.

The Office of the Cane and Sugar Board. 2017. The report of sugarcane cultivation area in the 2016/17 season [online]. [Accessed December 5, 2017]. Available from: URL:http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-9999.pdf.

Timilsena, Y.P., Adhikari, R., Casey, P., Muster, T., Gill, H. and Adhikari, B. 2015. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. J. Sci. Food. Agric. 95(6): 1131-1142.

Walkley, A. and Black, I.A. 1934. An examination of Degtjareff method of determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-37.