การจัดการธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมเพื่อการผลิตอ้อยในดินทรายภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

Optimal crop nutrient management for sugarcane production on sandy soil in the Northeast of Thailand

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี[1*], กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ[2], ชยันต์ ภักดีไทย[2], ศรีสุดา ทิพยรักษ์[2] และ วัลลีย์ อมรพล[3]

Suphakarn Luanmanee[1*], Kobkiet Paisancharoen[2], Chayan Pakdeethai[2], Srisuda Thippayarugs[2] and Wanlee Amonpon[3]

บทคัดย่อ: ศึกษาการจัดการธาตุอาหารพืชที่เหมาะสมต่อการผลิตอ้อยในพื้นที่ดินทรายภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับอ้อยปลูกในพื้นที่ดินทรายอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการทดลองกับอ้อยปลูกในชุดดินบ้านไผ่ จ.ขอนแก่น วางแผนการทดลองแบบ split-split plot จำนวน 3 ซ้ำ ปัจจัยหลักประกอบด้วย 1) ไม่ปรับปรุงดิน และ 2) ปรับปรุงดินด้วยโดโลไมท์ 100 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยหมักกากตะกอนหม้อกรองอ้อย 1,000 กก./ไร่ ปัจจัยรองได้แก่ พันธุ์ขอนแก่น 3 และ พันธุ์ LK92-11 และปัจจัยย่อยคืออัตราปุ๋ย ได้แก่ 0-6-18 9-6-18 18-6-18 และ 27-6-18 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ผลการทดลอง พบว่า ดินทรายชุดดินบ้านไผ่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก ดังนั้นเมื่อไม่ปรับปรุงดินจะได้ผลผลิตต่ำเพียง 11.43 ตัน/ไร่ แต่เมื่อทำการปรับปรุงดินด้วยโดโลไมท์และปุ๋ยหมักทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 15.35 ตัน/ไร่ ส่วนการเปรียบเทียบศักยภาพของพันธุ์เมื่อปลูกในดินดังกล่าว พบว่า พันธุ์ขอนแก่น 3 มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ LK92-11 โดยพันธุ์ขอนแก่น 3 ให้ผลผลิต 14.20 ตัน/ไร่ ในขณะที่พันธุ์ LK92-11 ให้ผลผลิต 12.59 ตัน/ไร่ และเมื่อพิจารณาถึงผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์พบว่าการปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ในดินดังกล่าวโดยไม่มีการปรับปรุงดินควรใส่ปุ๋ย 18-6-18 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ส่วนอ้อยพันธุ์ LK92-11 ควรใส่ปุ๋ย 27-6-18 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ และหากปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนลงได้ โดยอ้อยปลูกพันธุ์ขอนแก่น 3 ควรใส่ปุ๋ย 9-6-18 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ กก.N/ไร่ ส่วนอ้อยปลูกพันธุ์ LK92-11 ควรใส่ปุ๋ย 18-6-18 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ จึงได้รับผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุน

คำสำคัญ: อ้อย, การจัดการธาตุอาหาร, ดินทราย (ชุดดินบ้านไผ่), ประสิทธิภาพของปุ๋ยไนโตรเจน, ปุ๋ยหมักกากตะกอน, หม้อกรองอ้อย

[1] ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร ต.สุขสำราญ อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์ 60190
Nakorn Sawan Field Crops Research Center, Field Crops and Energy Renewable Crops Research Institute, Dept. of Agri., Suksamran Subdistrict, Takfa District, Nakhon Sawan Province, 60190

[2] ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร
Khon Kaen Field Crops Research Center, Field Crops and Energy Renewable Crops Research Institute, Dept. of Agri.

[3] ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร
Rayong Field Crops Research Center, Field Crops and Energy Renewable Crops Research Institute, Dept. of Agri.

* Corresponding author: kei_suphakarn@hotmail.com

ABSTRACT: An effective nutrient management for plant cane production on sandy soil was investigated. This aimed to be a guideline of fertilizer recommendation for plant cane production on sandy soil in the Northeast of Thailand. The experiment was conducted in Ban Phai soil series at Khon Kaen Province. The experimental design was split-split plot with 3 replications. Main plots comprised 1) without soil amendment and 2) amendment with 100 kg/rai of dolomite and 1,000 kg/rai of filtercake compost. Subplots consisted of Khon Kaen 3 and LK92-11 sugarcane varieties. Sub-subplots were fertilizer application levels i.e. 0-6-18, 9-6-18, 18-6-18, and 27-6-18 kg N-P_2O_5-K_2O/rai. The results showed that average yield of plant cane grown on infertile Ban Phai soil series without soil improvement was rather low about 11.43 t/rai. When the soil was amended with dolomite and compost, the yield of plant cane increased to 15.35 t/rai. Comparison between both sugarcane varieties showed that Khon Kaen 3 variety was higher production potential than LK92-11 variety, in which average yield of Khon Kaen 3 was 14.20 t/rai whereas that of LK92-11 variety was 12.59 t/rai. As an aspect of economic returns, if the soil was amended with dolomite and compost, nitrogen fertilizer application could be reduced to a lower rate. Without soil amendment, the fertilizer should be applied at 18-6-18 kg N-P_2O_5-K_2O/rai for Khon Kaen 3 variety and 27-6-18 kg N-P_2O_5-K_2O/rai for LK92-11 variety. On the other hand, with compost application, the chemical fertilizer should be applied at a lower level of 9-6-18 kg N-P_2O_5-K_2O/rai for Khon Kaen 3 variety and 18-6-18 kg N-P_2O_5-K_2O /rai for LK92-11 variety, which maximized benefit for economic returns.

Keywords: sugarcane, nutrient management, sandy soil (Ban Phai soil series), nitrogen use efficiency, filtercake compost

บทนำ

ประเทศไทยมีส่วนแบ่งการตลาดโลกในการส่งออกน้ำตาลทรายถึง 11.34% มีการส่งออกน้ำตาลทรายเป็นอันดับสองของโลกรองจากบราซิล โดยในปี พ.ศ. 2553 ส่งออกในรูปของน้ำตาลทรายดิบ 2.069 ล้านตัน และส่งออกในรูปของน้ำตาลทรายขาว 2.432 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 7 หมื่นล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) อ้อยจึงเป็นพืชไร่เศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศ เพราะนอกจากจะเป็นพืชอาหารและใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ แล้ว อ้อยยังมีศักยภาพเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลสูงเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนอีกด้วย ในปี พ.ศ. 2554 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งหมด 7,870,253 ล้านไร่ และคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2555 จะมีพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้นเป็น 8,053,980 ล้านไร่ โดยกระจายอยู่ตามภาคต่างๆ คือภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ปลูกประมาณ 3,208,248 ไร่ หรือ 40.8% ภาคกลางและภาคตะวันออกประมาณ 2,591,208 ไร่ หรือ 32.9% ภาคเหนือประมาณ 2,070,797 ไร่ หรือ 26.3% (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) เมื่อพิจารณาถึงศักยภาพในการผลิตอ้อยในภาพรวมของทั้งประเทศแล้วพบว่าค่อนข้างต่ำ โดยมีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่เพียง 12.2 ตัน/ไร่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยทั้งด้านพันธุ์ การจัดการดิน ปุ๋ย น้ำ โรค แมลง และสภาพแวดล้อม รัชณี และคณะ (2554) พบว่าการใส่มูลไก่ 1 ตัน/ไร่ ในพื้นที่ปลูกอ้อยชุดดินสตึก จ.นครราชสีมา สามารถยกระดับผลผลิตของอ้อยจาก 13.4 ตัน/ไร่ เป็น 15.6 ตัน/ไร่ ส่วน กอบเกียรติ และคณะ (2555) พบว่า การให้น้ำในอัตราเหมาะสมแก่อ้อยที่ระดับความชื้น 25% ของความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช สามารถยกระดับผลผลิตอ้อยจาก 20.13 ตัน/ไร่ เมื่อปลูกโดยอาศัยน้ำฝน เพิ่มเป็น 34.77 ตัน/ไร่

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่รวมประมาณ 105.5 ล้านไร่ มีปริมาณน้ำฝนรวมตลอดปีเฉลี่ย 1,419 มม. จำนวนวันฝนตกตลอดปีเฉลี่ย 119 วัน มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี 71% มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 26 องศาเซลเซียส และศักย์การคายระเหยของน้ำตลอดปีเฉลี่ย1,494 มม. (กรมพัฒนาที่ดิน, 2552) จากการสำรวจพบว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นแหล่งปลูกอ้อยที่ใหญ่ที่สุดของประเทศ ดินที่ใช้ในการปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ประมาณ 84% ของพื้นที่มีอินทรียวัตถุต่ำกว่า 1% โดยมีอินทรียวัตถุต่ำตั้งแต่ 0.24-0.99% นอกจากนี้ดินในไร่อ้อยภาคตะวันออกเฉียงเหนือยังขาดฟอสฟอรัสอย่างรุนแรง โดย 64% ของพื้นที่ มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า 10 มก./กก. ส่วนโพแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงต่ำมากเช่นกัน (ปรีชา และคณะ, 2545ก) เมื่อรัฐบาลมีแนวนโยบายการพัฒนาอ้อยที่ให้รักษาพื้นที่ปลูก 7.0 ล้านไร่ และเพิ่มผลผลิตต่อไร่จาก 9.7 ตัน ในปี 2550 เป็น 15.0 ตัน ในปี 2555 ดังนั้นงานวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอ้อยให้มีศักยภาพสูงขึ้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ถึงแม้ว่างานวิจัยด้านนี้ได้ดำเนินมาบ้างแล้ว แต่ผลงานวิจัยเหล่านี้ไม่สามารถที่จะนำไปใช้ได้กับทุกแหล่งปลูกทั่วประเทศโดยเฉพาะในเขตที่มีความหลากหลายทั้งสภาพภูมิอากาศ (ปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิ) และชนิดของดิน (เนื้อดิน ความเป็นกรด-ด่างของดิน และปริมาณธาตุอาหารในดิน) นอกจากนั้นคำแนะนำการใช้ปุ๋ยที่ใช้อยู่ในปัจจุบันยังเป็นคำแนะนำแบบกว้างๆ ไม่เฉพาะเจาะจงสำหรับพื้นที่ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาการผลิตอ้อยในแต่ละเขตจึงควรดำเนินการวิจัยควบคู่ไปกับงานวิจัยทางด้านพันธุ์ การตอบสนองของพันธุ์และปัจจัยการผลิตที่เหมาะสมในแต่ละแหล่งปลูก จึงได้ดำเนินการวิจัยเพื่อให้ได้วิธีการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการผลิตอ้อยปลูกพันธุ์ดีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับนำไปใช้ในการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยแบบเฉพาะพื้นที่กับอ้อยอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

วิธีการศึกษา

ดำเนินการทดลองในชุดดินบ้านไผ่ (Loamy, siliceous isohyperthermic *Arenic Paleustalfs*) เริ่มทำการวิจัยตั้งแต่เดือนตุลาคม 2553 ถึงเดือน เมษายน 2555 พิกัดแปลงทดลอง UTM 48Q 0263232^{E} 1866091^{N} อ. เขาสวนกวาง จ. ขอนแก่น วางแผนแบบ Split-split plot จำนวน 3 ซ้ำ ปัจจัยหลัก (Main-plot) มี 2 ระดับ ได้แก่ 1) ไม่ปรับปรุงดิน และ 2) ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักกากตะกอนหม้อกรองอ้อยอัตรา 1,000 กก./ไร่ โดยน้ำหนักแห้ง ร่วมกับโดโลไมท์ อัตรา 100 กก./ไร่ ปัจจัยรอง (Subplot) เป็นพันธุ์อ้อย 2 พันธุ์ ได้แก่ 1) พันธุ์ขอนแก่น 3 และ2) พันธุ์ LK92-11 ปัจจัยย่อย (Sub-subplot) เป็นอัตราปุ๋ย 4 ระดับ ได้แก่ 1) 0-6-18 2) 9-6-18 3) 18-6-18 และ 4) 27-6-18 กิโลกรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อไร่ ขนาดแปลงย่อย 7.8x9.0 ม. โดยเว้นแต่ละแปลงย่อยห่างกัน 1.0 ม. เพื่อเป็นร่องระบายน้ำ โรยโดโลไมท์รองก้นร่องแล้วหว่านกากตะกอนหม้อกรองอ้อยทับชั้นของโดโลไมท์จากนั้นจึงใส่ปุ๋ยเคมี (1/2N-P-K) ปลูกอ้อยโดยใช้ระยะแถวปลูก 1.30 เมตร วางลำเหลื่อมสลับโคนและปลาย เมื่ออ้อยอายุ 3-4 เดือน ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (1/2N) โดยโรยข้างแถวปลูกห่างจากแถวอ้อยประมาณ 10-15 ซม. เก็บเกี่ยวอ้อยเมื่ออายุ 12 เดือน พื้นที่เก็บเกี่ยวแต่ละแปลงย่อย 3.9 x 9 ม. (35.1 ตร.ม.)

เก็บตัวอย่างดิน ที่ระดับ 0-20 และ 20-50 ซม. นำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ พีเอช (pH) วัดโดย pH meter ใช้อัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:1 (Peech, 1965). อินทรียวัตถุวิเคราะห์ด้วยวิธีการของ Walkley and Black (1934) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II (Bray and Kurtz, 1945) และวัดการเกิดสีตามวิธี molybdenum blue โดยใช้ spectrophotometer โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยสกัดดินด้วย 1N Ammonium Acetate, pH 7 (Schollenberger and Simon, 1945) และวัดด้วยเครื่อง atomic spectrophotometer วิเคราะห์เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี โดยการสกัดด้วยวิธี DPTA (Lindsay and Norvell, 1978) และวัดด้วยเครื่อง atomic spectrophotometer

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของอ้อย ได้แก่ ความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำ จำนวนและน้ำหนักใบสด จำนวนและน้ำหนักใบแห้ง จำนวนลำต่อกอ จำนวนกอต่อพื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตน้ำหนักสด ความหวาน (Brix) เก็บตัวอย่างอ้อยที่อายุ 12 เดือน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี และวัดด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer คำนวณประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจน (nitrogen use efficiency: NUE) โดยใช้น้ำหนักผลผลิต (ตัน) หารด้วยปริมาณไนโตรเจนที่พืชดูดใช้ทั้งหมด (กก. N) วิเคราะห์

ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) โดยใช้โปรแกรม MSTAT-C แล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ขึ้นไป เปรียบเทียบผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ โดยใช้อัตราผลตอบแทนส่วนเพิ่ม (marginal rate of return, MRR) ตามวิธีของ CIMMYT (1988)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติของดินและวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษา

พื้นที่ทำการทดลองเป็นพื้นที่ดินร่วนปนทรายชุดดินบ้านไผ่ ซึ่งเป็นกลุ่มชุดดินที่ 41 จัดอยู่ในกลุ่มดินที่เป็นดินทรายหนาปานกลางที่เกิดจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่หรือเคลื่อนย้ายมาทับถมของพวกวัสดุเนื้อหยาบ ชุดดินบ้านไผ่ในจังหวัดขอนแก่น มีเนื้อที่ประมาณ 45,772 ไร่ (ปรีชา และคณะ, 2545ข) มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีดังนี้คือ เป็น ดินบนมีเนื้อดินเป็นร่วนปนทราย และดินล่างเป็นทรายปนร่วน มีความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง โดยความหนาแน่นรวมของดินบนและดินล่างเท่ากับ 1.61 และ 1.66 กรัม/ซม.^{3} ตามลำดับ เป็นกรดจัดโดยดินบนและดินล่างมีพีเอช 5.07 และ 5.19 ตามลำดับ ซึ่งอาจทำให้พืชขาดแคลเซียมและแมกนีเซียมได้ และจากการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินพบว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก โดยดินบนมีอินทรียวัตถุ 0.39% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 7.1 มก./กก. โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 19, 77 และ 15 มก./กก. (**Table 1**)

ส่วนปุ๋ยหมักกากตะกอนหม้อกรองอ้อยที่ใช้ในการศึกษามีความชื้น 30.4% มีพีเอชเป็นกลาง ค่าการนำไฟฟ้า 3.8 dS/m อยู่ในระดับที่เค็มน้อย (2-4 dS/m) มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม 1.08, 0.34 และ 0.33% ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยหมักกากตะกอนหม้อกรองอ้อยในอัตรา 1,000 กก.น้ำหนักแห้ง/ไร่ จะทำให้มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมใส่ลงไปในดิน 10.8, 3.4 และ 3.3 กก. /ไร่ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังทำให้พืชได้รับธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริมเพิ่มเติมอีกด้วย (**Table 2**)

Table 1 Characteristics of Ban Phai soil series at Khon Kaen Province before planting sugarcane in 2010/11.

Soil depth (cm)	pH[1/]	OM	P[2/]	K[3/]	Ca[3/]	Mg[3/]	Fe[4/]	Mn[4/]	Cu[4/]	Zn[4/]	B.D.	Clay	Texture
		(%)	◄			(mg/kg)				►	(g/cm^3)	(%)	
0-20	5.07	0.39	7.1	19	77	15	75	14	0.1	0.2	1.61	4.0	Sandy loam
20-50	5.19	0.06	3.2	5	59	9	19	14	0.1	0.2	1.66	4.0	Loamy sand

[1/] pH (soil: water 1:1), [2/] Available P, [3/] Exchangeable form by 1N NH4OAC, pH 7 extraction, [4/] Extractable form by DPPA extraction

Table 2 Nutrient content in filter cake compost

Moisture[1] (%)	$pH_{(1:2)}$	$EC_{(1:10)}$ (dS/m)	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
			◄		(%)		►	◄		(mg/kg)	►
30.4	7.0	3.8	1.08	0.34	0.33	7.23	0.51	5,251	1,851	62	162

[1] Moisture content on fresh weight basis

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของอ้อย

ชุดดินบ้านไผ่เป็นดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก ดังนั้นเมื่อนำพื้นที่ดังกล่าวมาปลูกอ้อยโดยไม่มีการปรับปรุงดินจะทำให้ได้ผลผลิตต่ำเพียง 11.43 ตัน/ไร่ หากปรับปรุงดินด้วยโดโลไมท์และปุ๋ยหมักกากตะกอนหม้อกรองอ้อยทำให้ผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้นเป็น 15.35 ตัน/ไร่ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ และเมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยพบว่าการปรับปรุงดินด้วยโดโลไมท์และปุ๋ยหมักกากตะกอนหม้อกรองอ้อยทำให้อ้อยมีการแตกกอและให้จำนวนลำ ความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำสูงกว่าแปลงที่ไม่มีการปรับปรุงดิน แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ (**Table 3**)

เมื่อเปรียบเทียบศักยภาพในการให้ผลผลิตของอ้อยทั้งสองพันธุ์ที่ปลูกในดินดังกล่าวพบว่าอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 และพันธุ์ LK92-11 มีศักยภาพการให้ผลผลิตและความหวาน (brix) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ LK92-11 โดยพันธุ์ขอนแก่น 3 มีการแตกกอให้จำนวนลำต่อไร่น้อยกว่าพันธุ์ LK92-11 แต่มีความยาวลำและน้ำหนักลำสูงกว่า (**Table 3**)

ในขณะที่อัตราปุ๋ยไนโตรเจนมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตอ้อยอย่างชัดเจน โดยพบว่าอ้อยมีการแตกกอให้จำนวนลำต่อไร่ ความสูงของลำ และผลผลิตสูงสุดที่ระดับปุ๋ยไนโตรเจน 18 กก.N/ไร่ ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 9 และ 27 กก.N/ไร่ แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน แต่อัตราปุ๋ยไนโตรเจนไม่มีผลต่อคุณภาพด้านความหวานของอ้อย (**Table 3**)

การตอบสนองต่อธาตุอาหารของอ้อย

การผลิตอ้อยในดินทรายชุดดินบ้านไผ่โดยไม่ปรับปรุงสภาพของดินด้วยโดโลไมท์และปุ๋ยหมัก ทำให้อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 และพันธุ์ LK 92-11 ให้ผลผลิตสูงสุดที่ระดับอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 18 และ 27 กก.N/ไร่ ตามลำดับ แต่เมื่อมีการปรับปรุงดิน พบว่าอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 และ LK92-11 ให้ผลผลิตสูงสุดที่ระดับอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 9 และ 18 กก.N/ไร่ นั่นคือ เมื่อทำการปรับปรุงดินด้วยโดโลไมท์และปุ๋ยหมัก สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนลงได้ (**Figure 1**)

Table 3 Yield and yield components of sugarcane

Treatments	Yield (t/rai)	Population (No. millable cane/rai)	Stalk weight (kg/stalk)	Height (cm)	Diameter (mm)	Brix (%)
Without soil amendment	11.43	8,037	1.416	260	28.04	18.12
With soil amendment	15.35	8,909	1.713	296	28.34	17.97
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	22.34	33.86	18.41	4.13	16.43	1.08
Khon Kaen 3 variety	14.20	8,231	1.704 a	286	28.12	18.24
LK92-11 variety	12.59	8,715	1.426 b	271	28.26	17.86
F-test	ns	ns	*	ns	ns	ns
CV (%)	9.57	5.19	5.72	5.48	2.54	4.77
0-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	10.29 b	7,499 b	1.359	247 b	27.5	18.14
9-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	13.05 ab	8,513 ab	1.510	276 ab	28.1	18.41
18-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	15.16 a	9,037 a	1.684	296 a	28.2	17.71
27-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	15.07 a	8,843 a	1.706	294 a	29.0	17.95
F-test	*	**	ns	*	ns	ns
CV (%)	20.45	9.31	16.98	9.51	5.66	5.38

Means followed by the same letter within a column are not significantly different at 5% level of probability using Duncan Multiple Range Test (DMRT), * : Significant at 5% level of probability, ** : Significant at 1% level of probability, ns: Not significant

แก่นเกษตร 40 ฉบับพิเศษ 3 : 149-158 (2555).

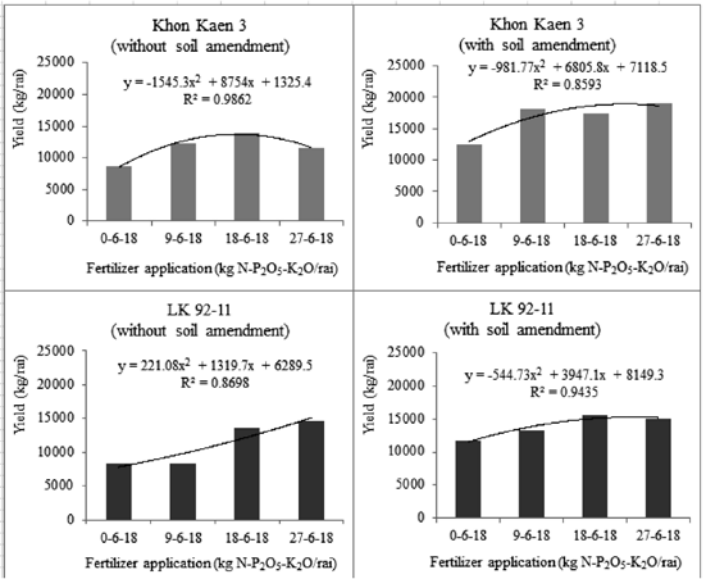

Figure 1 Response of two sugarcane varieties, Khon Kaen 3 and LK92-11, to fertilizer application in Ban Phai soil series

Table 4 Nutrients uptake by sugarcane and nitrogen use efficiency

Varieties	Stalks (kg nutrient/rai)			Leaves (kg nutrient/rai)			Total (kg nutrient/rai)			Yield	NUE
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	(t/rai)	(t/kg N)
Khon Kaen 3	8.37	2.85	19.20 a	7.04	1.16	10.86	15.40	4.01	30.06 a	14.20	0.915
LK92-11	7.67	2.63	16.64 b	6.79	1.06	10.43	14.46	3.69	27.07 b	12.59	0.882
F-test	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
CV (%)	20.00	10.77	4.08	13.75	31.26	18.27	11.67	16.62	6.50	9.57	6.95

Means followed by the same letter within a column are not significantly different at 5% level of probability using Duncan Multiple Range Test (DMRT), * : Significant at 5% level of probability, ** : Significant at 1% level of probability, ns: Not significant, SEM: Standard error of mean, NUE: Nitrogen use efficiency

การดูดใช้ธาตุอาหารของอ้อย

อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 และพันธุ์ LK92-11 มีปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยพันธุ์ขอนแก่น 3 ดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมด 15.40 กก.N/ไร่ และดูดใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมด 4.01 กก.P/ไร่ ส่วนพันธุ์ LK92-11 มีการดูดใช้ไนโตรเจนทั้งหมด 14.46 กก.N/ไร่ และดูดใช้ฟอสฟอรัสทั้งหมด 3.69 กก.P/ไร่ โดยอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 มีประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนเพื่อสร้างผลผลิต 0.915 ตันของผลผลิต/กก.N ส่วนพันธุ์ LK92-11 มีประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนเพื่อสร้างผลผลิต 0.882 ตันของผลผลิต/กก.N ซึ่งต่ำกว่าพันธุ์ขอนแก่น 3 แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ (Table 4)

ในขณะที่การดูดใช้โพแทสเซียมของอ้อยทั้ง 2 พันธุ์แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.01$) ซึ่งพบว่าพันธุ์ขอนแก่น 3 ดูดใช้โพแทสเซียมในการสร้างลำสูงกว่าพันธุ์ LK92-11 โดยพันธุ์ขอนแก่น 3 ดูดใช้โพแทสเซียมไปสะสมอยู่ในส่วนของลำ 19.20 กก.K/ไร่ และมีปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียมทั้งหมด 30.06 กก.K/ไร่ ในขณะที่พันธุ์ LK92-11 ดูดใช้โพแทสเซียมไปสะสมอยู่ในส่วนของลำ 16.64 กก.K/ไร่ และมีปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียมทั้งหมด 27.07 กก.K/ไร่ (Table 4)

ผลของสัดส่วนระหว่างธาตุอาหารที่พืชดูดใช้ต่อการให้ผลผลิตของอ้อย

สัดส่วนระหว่างธาตุอาหารที่พืชดูดใช้มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช ซึ่งหากสัดส่วนระหว่างธาตุไม่เหมาะสมหรือไม่สมดุลอาจทำให้พืชเจริญเติบโตและให้ผลผลิตลดลงได้ จากการศึกษาการให้ผลผลิตของอ้อยในดินทรายชุดดินบ้านไผ่เมื่อมีการจัดการธาตุอาหารโดยวิธีการต่างๆ พบว่า สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ Mg/P ที่อ้อยดูดใช้เข้าสู่ส่วนของลำมีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งต่อการให้ผลผลิตของอ้อย โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.714 ในขณะที่สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ Ca/P, Mg/Zn และ Ca/Zn ในส่วนของลำ และสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ Mg/Mn และ Mg/Zn ในส่วนของใบสดมีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งต่อการให้ผลผลิตของอ้อยรองลงมาตามลำดับ (**Table 5**)

สมดุลธาตุอาหารพืชในพื้นที่ปลูกอ้อย

การจัดการธาตุอาหารพืชอย่างเหมาะสมในพื้นที่ปลูกอ้อย นอกจากพิจารณาจากการตอบสนองต่อธาตุอาหารของอ้อยแล้ว จำเป็นต้องทราบถึงสมดุลของธาตุอาหารในพื้นที่นั้นด้วย ทั้งนี้เพื่อรักษาศักยภาพการผลิตพืชของดินให้ได้อย่างยั่งยืน โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดให้ธาตุอาหารที่สูญเสียออกไปจากพื้นที่มาจากการนำส่วนของลำออกไปจากพื้นที่เท่านั้น ในขณะที่ใบอ้อยจะปล่อยทิ้งคลุมดินไว้ และจากการศึกษาพบว่า ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่สูญเสียไปจากพื้นที่ปลูกอ้อยเฉลี่ย 8.02, 2.74 และ 17.92 กก. N-P-K/ไร่ ตามลำดับ หรือเทียบเท่ากับปุ๋ยเคมี 8-6-22 กก.N-P_2O_5-K_2O/ ไร่ ทำให้มีสมดุลของไนโตรเจนในพื้นที่เกินดุล เฉลี่ย 10.88 กก.N/ไร่ โดยไนโตรเจนที่เกินดุลนี้ก็คือส่วนที่จะตกค้างอยู่ในดิน โดยพบว่าการปลูกอ้อยในดินทรายปนร่วนชุดดินบ้านไผ่

Table 5 Correlation coefficients between nutrient ratios and sugarcane yield

	Mg/P in stalks	Ca/P in stalks	Mg/Zn in stalks	Ca/Zn in stalks	Mg/P in green leaves	Mg/Mn in green leaves
Yield	0.714 **	0.664 **	0.652 **	0.628 **	0.621**	0.590**

Table 6 Nutrient balances in sugarcane fields under different nutrient managements and sugarcane varieties

Treatments	Inputs (kg nutrient/rai)			Losses (kg nutrient/rai)			Balances (kg nutrient/rai)		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Without soil amendment, Khon Kaen 3 variety									
0-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	0	2.62	15.0	6.40	2.45	14.81	-6.40	0.17	0.19
9-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	9	2.62	15.0	7.83	2.43	16.52	1.17	0.19	-1.52
18-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	18	2.62	15.0	7.66	2.16	15.03	10.34	0.46	-0.03
27-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	27	2.62	15.0	7.12	2.17	21.43	19.88	0.45	-6.43
Without soil amendment, LK92-11 variety									
0-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	0	2.62	15.0	4.46	2.12	12.71	-4.46	0.50	2.29
9-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	9	2.62	15.0	5.74	2.19	12.46	3.26	0.43	2.54
18-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	18	2.62	15.0	9.90	2.66	13.14	8.10	-0.04	1.86
27-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	27	2.62	15.0	9.52	3.00	20.39	17.48	-0.38	-5.39
With soil amendment, Khon Kaen 3 variety									
0-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	10.80	6.02	18.30	6.92	3.06	18.80	3.88	2.96	-0.50
9-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	19.80	6.02	18.30	10.09	3.39	21.58	9.71	2.63	-3.28
18-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	28.80	6.02	18.30	9.56	3.03	20.42	19.24	2.99	-2.12
27-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	37.80	6.02	18.30	11.35	4.13	25.03	26.45	1.89	-6.73
With soil amendment, LK92-11 variety									
0-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	10.80	6.02	18.30	7.65	2.97	20.73	3.15	3.15	-2.43
9-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	19.80	6.02	18.30	7.73	2.54	15.77	12.07	3.48	2.53
18-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	28.80	6.02	18.30	8.68	3.14	19.38	20.12	2.88	-1.08
27-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	37.80	6.02	18.30	7.68	2.49	18.53	30.12	3.53	-0.23
Mean	18.90	4.32	16.65	8.02	2.74	17.92	10.88	1.58	-1.27
SEM	2.95	0.44	0.43	0.44	0.14	0.92	2.66	0.37	0.75

SEM : Standard error of mean

หากไม่มีการปรับปรุงดินและไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ทำให้ไนโตรเจนสูญเสียออกไปจากพื้นที่มากกว่าในกรรมวิธีที่มีการปรับปรุงดิน ในขณะที่สมดุลของฟอสฟอรัสมีค่าเกินดุลเล็กน้อย เฉลี่ย 1.58 กก.P/ไร่ ส่วนสมดุลของโพแทสเซียมมีค่าขาดดุล 1.27 กก./ไร่ โดยพบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้นในอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ยิ่งทำให้มีการดูดใช้โพแทสเซียมเข้าไปสะสมในส่วนของลำมากขึ้น และทำให้โพแทสเซียมในพื้นที่มีค่าขาดดุลมากกว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราต่ำ (Table 6)

ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

การผลิตอ้อยในดินทรายชุดดินบ้านไผ่ จ.ขอนแก่น โดยไม่ปรับปรุงดินทำให้ได้ผลผลิตต่ำกว่าการผลิตอ้อยที่ทำการปรับปรุงดินด้วยโดโลไมท์และปุ๋ยหมัก จากการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์พบว่าการปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ในดินดังกล่าวโดยไม่ปรับปรุงดิน

แม้ว่าจะให้อัตราผลตอบแทนส่วนเพิ่ม (Marginal rate of return; MRR) สูงสุดเมื่อใส่ปุ๋ยเคมี 9-6-18 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ แต่ยังคงให้ผลตอบแทนส่วนเพิ่มขึ้นไปอีกจนถึงระดับอัตราปุ๋ย 18-6-18 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ นั่นคือหากใส่ปุ๋ยเคมี 18-6-18 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ก็ยังคงมีความคุ้มค่าในการลงทุน ในขณะที่พันธุ์ LK92-11 แม้ว่าจะให้ผลตอบแทนส่วนเพิ่มสูงสุดที่เมื่อใช้ปุ๋ยเคมี 18-6-18 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ แต่ยังคงให้ผลตอบแทนส่วนเพิ่มขึ้นไปจนถึงระดับอัตราปุ๋ย 27-6-18 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ดังนั้นหากต้องการผลิตอ้อยในดินดังกล่าวโดยไม่มีการปรับปรุงดิน สำหรับอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ควรใส่ปุ๋ยเคมี 18-6-18 กก.N-P_2O_5-K_2O /ไร่ และพันธุ์ LK92-11 ควรใส่ปุ๋ยเคมี 27-6-18 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ (Table 7)

Table 7 Analysis of marginal rate of return of sugarcane production under different nutrient managements

Treatments	Yield (t/rai)	Cost (Baht/rai)	Income (Baht/rai)	Benefit (Baht/rai)	MRR (%)
Without soil amendment, Khon Kaen 3 variety					
0-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	8.64	4,314	10,795	6,481	-
9-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	12.35	5,621	15,433	9,811	255
18-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	13.99	6,327	17,481	11,154	190
27-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	11.52	5,842	14,394	8,552	D[1/]
Without soil amendment, LK92-11 variety					
0-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	8.30	4,217	10,376	6,159	-
9-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	8.40	4,477	10,501	6,024	D
18-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	13.65	6,230	17,063	10,832	274
27-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	14.64	6,747	18,294	11,547	138
With soil amendment, Khon Kaen 3 variety					
0-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	12.52	7,591	15,650	8,059	-
9-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	18.07	9,432	22,590	13,158	277
18-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	17.43	9,477	21,789	12,312	D
27-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	19.06	10,179	23,820	13,641	189
With soil amendment, LK92-11 variety					
0-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	11.71	7,357	14,641	7,285	-
9-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	13.38	8,071	16,726	8,655	192
18-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	15.57	8,937	19,465	10,528	216
27-6-18 kgN-P_2O_5-K_2O/rai	15.06	9,020	18,826	9,806	D

[1/] indicates to the dominated treatment.

แต่เมื่อทำการปรับปรุงดินด้วยโดโลไมท์และปุ๋ยหมัก พบว่าอ้อยทั้งสองพันธุ์ให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นทุกระดับอัตราปุ๋ยไนโตรเจน โดยอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ให้ผลตอบแทนส่วนเพิ่มสูงสุดเมื่อใส่ปุ๋ยเคมี 9-6-18 กก. $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่ แต่หากใส่ปุ๋ยเคมีมากกว่านี้จะไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน ในขณะที่พันธุ์ LK92-11 ให้ผลตอบแทนส่วนเพิ่มสูงสุดเมื่อใส่ปุ๋ยเคมี 18-6-18 กก.$N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่ นั่นคือหากทำการปรับปรุงดินด้วยโดโลไมท์และปุ๋ยหมัก ในการผลิตอ้อยปลูกพันธุ์ขอนแก่น 3 ควรใส่ปุ๋ยเคมี 9-6-18 กก.$N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่ และอ้อยพันธุ์ LK92-11 ควรใส่ปุ๋ยเคมี 18-6-18 กก.$N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่ จึงจะคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด (**Table 7**)

สรุป

การเพิ่มผลผลิตของอ้อยปลูกในดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเช่น ชุดดินบ้านไผ่ควรปรับปรุงดินด้วยโดโลไมท์ เพื่อปรับสภาพพีเอชของดินและเป็นการเพิ่มเติมแมกนีเซียมสำหรับให้พืชนำไปใช้ และควรใส่ปุ๋ยอินทรีย์เช่นปุ๋ยหมักกากตะกอนหม้อกรองอ้อยเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินและเป็นแหล่งของธาตุอาหารให้กับพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลธาตุ นอกจากนี้ควรทำการคัดเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ ซึ่งพบว่าพันธุ์ขอนแก่น 3 มีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ LK92-11 เมื่อปลูกในชุดดินดังกล่าว แต่เนื่องจากปริมาณและประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารของอ้อยทั้งสองพันธุ์แตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรมีคำแนะนำการจัดการธาตุอาหารที่มีความเฉพาะเจาะจงสำหรับพันธุ์ที่ปลูกในดินทรายในพื้นที่ดังกล่าวดังนี้คือ สำหรับอ้อยปลูกพันธุ์ขอนแก่น 3 ในดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำเช่นชุดดินบ้านไผ่ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยไม่มีการปรับปรุงดิน ควรใส่ปุ๋ย 18-6-18 กก.$N\text{-}P_2O5\text{-}K_2O$/ไร่ ส่วนอ้อยปลูกพันธุ์ LK92-11 ควรใส่ปุ๋ย 27-6-18 กก.$N\text{-}P_2O5\text{-}K_2O$ /ไร่ แต่ถ้ามีการปรับปรุงดินด้วยโดโลไมท์และปุ๋ยหมักก็สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนลงได้ โดยในอ้อยปลูกพันธุ์ขอนแก่น 3 ควรใส่ปุ๋ย 9-6-18 กก.$N\text{-}P_2O5\text{-}K_2O$ /ไร่ ส่วนอ้อยปลูกพันธุ์ LK92-11 ควรใส่ปุ๋ย 18-6-18 กก. $N\text{-}P_2O5\text{-}K_2O$ /ไร่ จึงจะคุ้มค่าต่อการลงทุน

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2552. เขตการใช้ที่ดินพืชเศรษฐกิจ อ้อยโรงงาน. เอกสารวิชาการเลขที่ 173/13/52 สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ ทักษิณา ศันสยะวิชัย ศุภกาญจน์ ล้วนมณี ศรีสุดา ทิพยรักษ์ เกษม ชูสอน จินดารัตน์ ชื่นรุ่ง และชยันต์ ภักดีไทย. 2555. ศึกษาวิจัยค่าสัมประสิทธิ์ความต้องการน้ำของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3. น.47-59. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการประจำปี 2555 สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน ณ ห้องประชุมโรงแรมภูริมาศ จังหวัดระยอง 18-20 มิถุนายน 2555.

ปรีชา พราหมณีย์ ประพันธ์ ประเสริฐศักดิ์ สุมาลี โพธิ์ทอง และเฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง. 2545ก. ความต้องการธาตุอาหารของอ้อยเพิ่มเติมเมื่อพิจารณาคุณสมบัติของแต่ละชุดดิน. น. 43-60 ใน: รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 3 โครงการพัฒนาระบบคำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตอ้อยโดยใช้โปรแกรม CaneFert 1.0. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

ปรีชา พราหมณีย์ ประพันธ์ ประเสริฐศักดิ์ สุมาลี โพธิ์ทอง และเฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง. 2545ข. การจำแนกชุดดินหลักของพื้นที่ปลูกอ้อยต่อเนื่องจากโปรแกรมการจำแนกชุดดิน (Canesoil 1.0). น. 23-41 ใน: รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 3 โครงการพัฒนาระบบคำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตอ้อยโดยใช้โปรแกรม CaneFert 1.0. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

รัชณี ชำเดช ศุภิฌา ธนะจิตต์ สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม และอัญชลี สุทธิประการ. 2554. การตอบสนองของอ้อยที่ปลูกในดินเนื้อหยาบต่อการใส่มูลไก่และการให้ปุ๋ยสังกะสีกับเหล็กทางใบ. แก่นเกษตร. 39: 197-208.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2553. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2553. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2554. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร.

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

CIMMYT. 1988. From Economic Data to Farmer Recommendations. Economics Training Manual. Completely revised edition. Mexico.

Lindsay, W.L., and W.A. Norvell. 1978. Development of a DPTA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:421-428.

Peech, M. 1965. Hydrogen Ion Activity. pp. 914-926. In C. A. Black, D. D. Evans, L. E. Ensminger, and F.E. Clark (eds.). Method of Soil Analysis. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin. USA.

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

Walkley, A., and I. A. Black. 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.