ธาตุอาหารและการเจริญเติบโตของอ้อย

รองศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ โอสถสภา
อาจารย์พิเศษ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. คำนำ

อ้อยเป็นพืชในวงศ์ Gramineae สกุล Saccharum ที่ปลูกเป็นการค้าในปัจจุบัน ได้แก่ *Saccharum officinarum* L และอ้อยลูกผสม (hybrid cane) ซึ่งเป็นลูกผสมระหว่างชนิด คือ ระหว่าง *Saccharum officinarum* L กับอ้อยชนิดอื่น เช่น *Saccharum robustum*, *Saccharum sinensis* และ *Saccharum barberi* ที่ปลูกกันแพร่หลายที่สุดคือ *Saccharum officinarum* L อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภูมิภาคแถบร้อนชื้นและกึ่งร้อนชื้น เนื่องจากมีน้ำตาลซูโครสสูงจึงเป็นวัตถุดิบสำคัญของอุตสาหกรรมน้ำตาลมาอย่างยาวนาน นอกจากนี้ อ้อยยังมีศักยภาพสูงในด้านพลังงานชีวภาพด้วย (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2541)

อ้อยที่ปลูกในดินซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์สูงและได้รับปัจจัยอันจำเป็นต่อการเจริญเติบโตครบถ้วนย่อมให้ผลผลิตสูงทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงสำหรับอ้อยหมายถึงดินที่สามารถในการสนองธาตุอาหารแก่อ้อยได้ครบทุกธาตุแต่ละธาตุเพียงพอและสมดุลกันตามความต้องการของอ้อยในแต่ระยะของการเจริญเติบโต ดังนั้นเรื่องของธาตุอาหารอ้อยจึงมีสำคัญมาก และเป็นปัจจัยที่จะนำไปสู่ความสำเร็จของการผลิตให้ได้ผลผลิตลำอ้อยและผลผลิตน้ำตาลสูง (ยงยุทธ และคณะ, 2554 ; Johnson and Richards, 2005)

2. ดิน

อ้อยเจริญเติบโตได้ในดินที่มีสมบัติแตกต่างกัน กล่าวคือทนได้ในช่วง pH ของดินที่กว้าง (pH 4-9) แต่อาจมีปัญหาการขาดแคลนธาตุอาหารบางธาตุในดินที่มีสภาพกรดหรือสภาพด่างสูงมาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2542) อ้อยบางพันธุ์สามารถทนต่อสภาพความเค็มระดับปานกลางและการท่วมขังของน้ำในบางช่วงเวลา แต่ดินที่ปลูกอ้อยได้ผลดีต้องไม่มีปัญหาด้านความเค็ม เนื่องจากค่าความเค็มอันเป็นจุดเริ่มเปลี่ยน (salinity threshold) สำหรับอ้อย คือ 1.7 เดซิซีเม็น/เมตร (dS/m) ซึ่งหมายความว่าเมื่อระดับความเค็มของดินเกิน 1.7 เดซิซีเม็น/เมตร ผลผลิตอ้อยจะเริ่มลดลง และมีอัตราการลดลงของผลผลิต 5.9% ต่อการเพิ่มความเค็มของดิน 1 เดซิซีเม็น/เมตร ผลผลิตลดลงอย่างรุนแรงที่ระดับความเค็ม 4-8 เดซิซีเม็น/เมตร และหยุดการเติบโตหรือตายเมื่อความเค็มของดินสูงกว่า 10 เดซิซีเม็น/เมตร (FAO, 1985; Sexena *et al*., 2010)

สภาพแวดล้อมและสมบัติดินมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตอ้อย กรมพัฒนาที่ดิน (2542) จึงกำหนดสมบัติดินที่เหมาะสมกับการปลูกอ้อยดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สภาพแวดล้อมและสมบัติดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกอ้อย

สภาพแวดล้อม/สมบัติดิน	ปัจจัยบ่งชี้	ค่าที่เหมาะสม
อุณหภูมิ	อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดฤดูปลูก (°C)	24-27
ปริมาณฝน	ปริมาณฝนรวมตลอดฤดูปลูก (มม.)	1,600-2,500
ความเป็นประโยชน์ของออกซิเจน	การระบายน้ำของดิน	ดินระบายน้ำดี
ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช	P ที่เป็นประโยชน์ (มก.P/กก.) K ที่แลกเปลี่ยนได้ (มก.K/กก.) อินทรียวัตถุ (%)	มากกว่า 25 มากกว่า 90 มากกว่า 3.5
ความจุในการดูดยึดธาตุอาหาร	CEC (mol_c/kg) BS (%)	มากกว่า 15 มากกว่า 35
สภาวะการหยั่งลึกของราก	ความลึกของดิน (ซม.) ปริมาณกรวดปน (%) เนื้อดิน โครงสร้าง การเกาะตัวของดิน	มากกว่า 100 น้อยกว่า 15 ร่วนทราย-เหนียว แบบก้อนเหลี่ยมกลม เกาะกันอย่างหลวมๆ
ความเค็มของดิน	ECe (dS/m)	ต่ำกว่า 2
สภาพกรดของดิน	ความลึกของจาโรไซต์ (ซม.) (กรณีดินเปรี้ยวจัด) pH	มากกว่า 150 ซม. 5.6-7.3

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2542)

3. การเจริญเติบโตของอ้อย

เนื่องจากพันธุ์อ้อยที่ปลูกเป็นการค้าไม่ค่อยออกดอกในช่วงของการปลูกโดยทั่วไป จึงอาจแบ่งการเจริญเติบโตของอ้อยเป็น 4 ระยะ คือ ระยะงอก ระยะแตกกอ ระยะย่างปล้อง ระยะแก่และสุก (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2542)

สำหรับองค์ประกอบผลผลิตของอ้อยด้านน้ำหนักมี 2 อย่าง คือ 1) จำนวนลำอ้อยต่อไร่ และ 2) น้ำหนักเฉลี่ยของลำอ้อย ดังนี้

ผลผลิตอ้อย (กก./ไร่) = จำนวนลำอ้อย/ไร่ x น้ำหนักเฉลี่ยของลำอ้อย (กก./ลำ)

น้ำหนักเฉลี่ยของลำอ้อยขึ้นอยู่กับความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางของลำ ส่วนความยาวของลำอ้อยขึ้นอยู่กับจำนวนปล้องและความยาวของแต่ละปล้อง ดังนั้นทุกระยะการเจริญเติบโตของอ้อยจึงเกี่ยวข้องกับผลผลิตอ้อยทั้งสิ้น (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2541)

การเจริญเติบโตของอ้อยในระยะงอก ระยะแตกกอ ระยะย่างปล้อง ระยะแก่และสุก ตลอดจนความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระยะต่างๆ กับผลผลิตอ้อยมีดังนี้ (Fageria, *et al*., 1997; Fageria, *et al*., 2011)

1) ระยะงอก เริ่มตั้งแต่วันปลูกจนหน่อแรกโผล่พ้นผิวดิน ใช้เวลา 2-3 สัปดาห์ หากอ้อยมีความงอกดี มีแน้วโน้มจะได้จำนวนกอต่อไร่สูง

2) ระยะแตกกอ เริ่มตั้งแต่อายุ 2-4 เดือน หรือนับจากปลูกจนอายุ 150 วัน เป็นระยะแตกกอ โดยตาที่อยู่โคนของหน่อแรกเจริญเป็นหน่อชุดที่สอง และตาที่อยู่โคนของหน่อชุดที่สองเจริญเป็นหน่อชุดที่สามตามลำดับ ใน 100 วันแรก มีการสะสมน้ำหนักแห้งช้ามาก แต่จะสะสมได้มากขึ้นใน 50 วันต่อมาเนื่องจากเริ่มเข้าสู่ระยะย่างปล้อง อ้อยเป็นพืชที่แตกกอได้เร็ว ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสามารถเพิ่มจำนวนต้นในกอได้ถึง 20-30 ต้น/ตารางเมตร ภายในเวลา 4-6 เดือน แต่โดยทั่วไปจะมี 10-20 ต้น/ตารางเมตร

3) ระยะย่างปล้อง มีความต่อเนื่องกับระยะแตกกอ เริ่มตั้งแต่อายุประมาณ 150 วันจนถึง 290 วัน เป็นระยะที่มีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจึงเรียกว่าช่วงเติบโตมโหฬาร (grand growth period, GGP) เนื่องจากเป็นระยะที่ปล้องยืดตัวและสะสมมวลชีวภาพมาก ในช่วงนี้มีอัตราการเพิ่มน้ำหนักแห้ง 24 กก./ไร่/วัน (150 กก./เฮกตาร์/วัน) ร้อยละ 64 ของน้ำหนักแห้งทั้งหมดสะสมได้ในระยะย่างปล้อง นอกจากนี้ดรรชนีพื้นที่ใบ (leaf area index, LAI คือ พื้นที่ใบต่อหน่วยพื้นที่ดิน) ก็เพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วงนี้ เช่นเดียวกันหากดัชนีพื้นที่ใบมีค่า 2.0-3.0 ตารางเมตร (ใบ)/ตารางเมตร (พื้นที่ปลูก) เมื่ออายุ 120-180 วัน ต้นอ่อนในกอจะเริ่มตายเนื่องจากถูกใบแก่บังแสงแดด จึงมักเหลือจำนวนต้น 10-20 ต้นต่อตารางเมตร การใส่ปุ๋ยแต่งหน้าควรดำเนินการในช่วงนี้ เนื่องจากอ้อยต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงมากในระยะย่างปล้อง

การศึกษาดรรชนีพื้นที่ใบ (LAI) แสดงว่าค่าสูงสุดสำหรับอ้อย คือ 7 จนถึง 8 ตารางเมตร (ใบ)/ตารางเมตร (พื้นที่ปลูก) แต่ค่าโดยทั่วไปค่า LAI ของอ้อยอยู่ระหว่าง 4-5 ตารางเมตร/ตารางเมตร

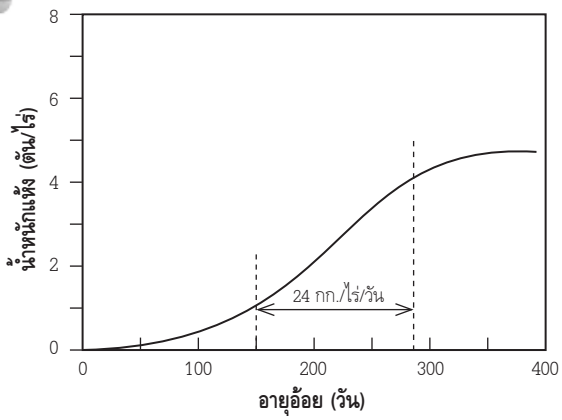
4) ระยะแก่และสุก เป็นช่วงสุดท้ายซึ่งอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งช้าลง เมื่ออ้อยเข้าสู่ระยะแก่และสุก LAI จะลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อลดปุ๋ยไนโตรเจนและลดความชื้นในดินเพื่อจำกัดการเติบโตและเพิ่มการสะสมน้ำตาลในลำต้น

การสุก (ripening) ของอ้อย หมายถึงการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลซูโครสซึ่งสะสมในลำอ้อยทีละน้อยจนถึงวันเก็บเกี่ยว ปัจจัยที่เร่งให้อ้อยสุกคืออุณหภูมิต่ำ ความเข้มแสงสูง ไนโตรเจนปานกลาง และ/หรือภาวะขาดน้ำ ความเครียดหลายชนิดข้างต้นช่วยลดทอนช่วงการเจริญเติบโตของอ้อยลงก่อน จากนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงของอ้อยจึงลดตามมา ซูโครสที่สังเคราะห์ได้ในช่วงเวลาดังกล่าวจึงเหลือมาก เพราะใช้ในการหายใจน้อยและไม่ถูกใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่อีกต่อไป ซูโครสเหล่านี้จึงเคลื่อนย้ายไปเก็บในเซลล์สะสมซูโครสของลำอ้อยโดยเฉพาะ ทำให้ความหวานของอ้อยในช่วงสูงขึ้นมาก

อย่างไรก็ตาม การเจริญเติบโตของอ้อยในช่วงเวลาของทั้ง 4 ระยะดังกล่าวขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมด้วย กล่าวคือ การงอก การแทงหน่อ การแตกกอ การย่างปล้อง และการเจริญเติบโตของร่มใบจะช้า ถ้าอุณหภูมิต่ำหรือแห้งแล้ง แต่ในสภาพที่ความชื้นดินสูงและธาตุอาหารที่อ้อยได้รับมาก ทำให้ระยะสุกและแก่ยืดออกไป

หากพิจารณาการสะสมมวลชีวภาพหรือน้ำหนักแห้งของอ้อยตั้งแต่วันปลูกจนเก็บเกี่ยวอาจแบ่งได้เป็น 3 ช่วงคือ 1) นับจากปลูกจนอายุ 150 วัน อ้อยมีการเพิ่มน้ำหนักแห้งอย่างช้าๆ 2) ช่วงอายุ 150-290 วัน น้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และ 3) นับจากอายุ 290 วันจนถึงเก็บเกี่ยวเป็นช่วงที่น้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังภาพที่ 1

หากแยกต้นและรากอ้อยในช่วงการเก็บเกี่ยวโดยคิดเป็นน้ำหนักแห้งจะได้ 3 ส่วนดังนี้ เป็นลำอ้อยที่ส่งโรงงาน 50-60% ใบและลำต้นส่วนที่อ่อน 30-40%



ภาพที่ 1 การสะสมน้ำหนักแห้งของอ้อยที่ปลูกในดินอินทรีย์ที่ประเทศบราซิล
ที่มา: ปรับปรุงจาก Fageria *et al*. (2011)

รากและตอ 10% สำหรับลำอ้อยสดส่วนที่ส่งโรงงานนั้นมีน้ำ 70% อย่างไรก็ตามเมื่อคิดด้วยเกณฑ์น้ำหนักแห้งลำอ้อยมีซูโครสถึง 50% สำหรับน้ำอ้อยซึ่งคั้นได้จากลำอ้อยมีซูโครสอยู่มาก โรงงานน้ำตาลที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถสกัดเอาซูโครสที่มีในลำอ้อยออกไปได้ถึง 85%

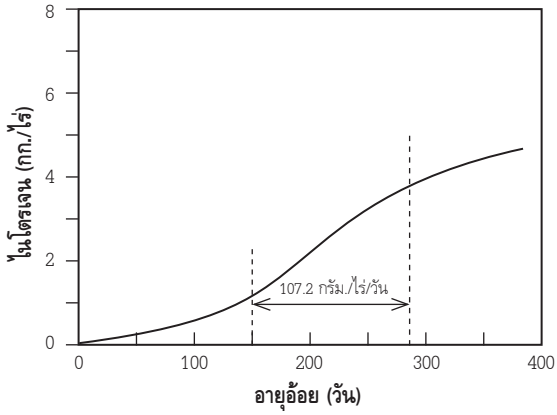
4. ความต้องการธาตุหลักของอ้อย

อ้อยเป็นพืชที่มีช่วงการเจริญเติบโตยาวและมีอัตราการเติบโตสูง จึงต้องการธาตุอาหารต่างๆ ในปริมาณค่อนข้างมาก แต่เนื่องจากเป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีผลตอบแทนทางเศรษฐกิจดี ชาวไร่จึงใส่ปุ๋ยเพื่อบำรุงดินกันโดยทั่วไปเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง

อ้อยมีความต้องการธาตุอาหารและสะสมแต่ละธาตุในปริมาณที่แตกต่างกัน การสะสมธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียม เพิ่มขึ้นตามอายุ ทำนองเดียวกันกับการสะสมน้ำหนักแห้ง และเมื่อถึงวันเก็บเกี่ยวประมาณ 70% ของน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน กับ 55% ของไนโตรเจน 63% ของฟอสฟอรัส 64% ของโพแทสเซียม 25% ของแคลเซียม และ 38% ของแมกนีเซียมที่สะสมได้ทั้งหมด ติดไปกับอ้อยที่ตัดออกจากแปลง เนื่องจากดินที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงและสภาพดินเหมาะแก่การปลดปล่อยไนโตรเจนของอินทรียวัตถุมาก ปริมาณปุ๋ยที่ใส่จึงมีอัตราต่ำ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทชอัตราดังกล่าว เมื่อคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมซึ่งติดไปกับอ้อยที่เก็บเกี่ยวมาเปรียบเทียบกับปริมาณปุ๋ยที่ใส่ในดิน พบว่าฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่อ้อยดูดไปสะสมทั้งหมดมากกว่าปริมาณปุ๋ยสองธาตุนี้ที่ใส่ในดินเกือบเท่าตัว กล่าวคือ 179% สำหรับฟอสฟอรัส และ 201% สำหรับโพแทสเซียม (Coale *et al*., 1993)

4.1 ไนโตรเจน

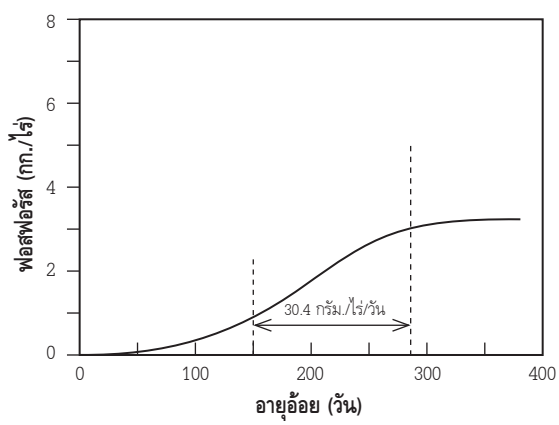
ปริมาณไนโตรเจนที่อ้อยสะสมในส่วนเหนือดินจะสูงขึ้นตามน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2) ในช่วง GGP โดยเฉพาะอย่างยิ่งอายุ 150-290 วัน อัตราการสะสมไนโตรเจนสูงถึง 107.2 กรัม N / ไร่ / วัน (0.67 กก. N / เฮกตาร์ / วัน) และสามารถสะสมในช่วงนี้ได้ประมาณร้อยละ 54 ของไนโตรเจนที่สะสมได้ทั้งหมด เนื่องจากการเจริญเติบโตของอ้อยในช่วง GGP นั้นรวดเร็วและการดูดไนโตรเจนก็มีอัตราสูงด้วย หลังจากอายุ 290 วันไปแล้วยังมีการสะสมไนโตรเจนในอ้อยเพิ่มขึ้นแม้ว่าอัตราการดูดจะลดลง สำหรับดินที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณอินทรียวัตถุสูง และสภาพดินเหมาะแก่การปลดปล่อยไนโตรเจนของอินทรียวัตถุมากดังที่ได้กล่าวแล้ว ดังนั้นปริมาณไนโตรเจนที่อ้อยดูดไปสะสมในระยะ GGP จึงเป็นเพียงร้อยละ 15-20 ของปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนของอินทรียวัตถุในดินเท่านั้น แต่ถ้าดินมีอินทรียวัตถุต่ำ ไนโตรเจนส่วนมากที่อ้อยดูดใช้ในระยะ GGP จึงมาจากปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ การปลูกอ้อยในระบบปลูกพืชที่มีพืชตระกูลถั่ว ช่วยให้ดินปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ให้อ้อยมากขึ้น (Ruschel and Vose, 1982; Suman *et al*., 2006)



ภาพที่ 2 การสะสมไนโตรเจนของอ้อยที่ปลูกในดินอินทรีย์ที่ประเทศบราซิล
ที่มา: ปรับปรุงจาก Fageria *et al.* (2011)

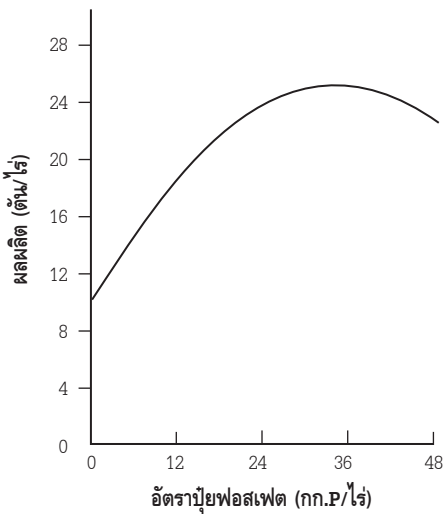
4.2 ฟอสฟอรัส

ในช่วง 100 วันแรกของการเจริญเติบโต อ้อยดูดฟอสฟอรัสจากดินไปสะสมอย่างช้าๆ และการสะสมธาตุนี้สูงมากในช่วง GGP โดยเฉพาะอย่างยิ่งอายุ 150-290 วัน อ้อยมีการสะสมฟอสฟอรัสได้ 30.4 กรัมP/ไร่/วัน (0.19 กก.P/เฮกตาร์/ไร่/วัน) เฉพาะช่วงนี้สะสมได้ 67% ของที่สะสมได้ทั้งหมด (ภาพที่ 3) หลังจากอายุ 290 วันไปแล้วมีการสะสมฟอสฟอรัสในอ้อยเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเท่านั้น (Glaz *et al*., 2000)



ภาพที่ 3 การสะสมฟอสฟอรัสของอ้อยที่ปลูกในดินอินทรีย์ที่ประเทศบราซิล
ที่มา: ปรับปรุงจาก Fageria *et al.* (2011)

แม้ว่าอ้อยจะสะสมฟอสฟอรัสในปริมาณที่น้อยกว่าไนโตรเจนและโพแทสเซียม แต่ถ้าปลูกในดินที่มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ [ดินเวอติโซล (Vertisol) ในประเทศบราซิล] จะตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตอย่างมาก (ภาพที่ 4) ในกรณีดังกล่าวแปลงอ้อยที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟตให้ผลผลิต 10.4 ตัน/ไร่ (65 ตัน/เฮกตาร์) เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟต 9.6 กก.P/ไร่ (60 กก.P/เฮกตาร์) ให้ผลผลิต 17.6 ตัน/ไร่ (110 ตัน/เฮกตาร์) หรือเพิ่มเกือบสองเท่า และผลผลิตสูงสุด 25.6 ตัน/ไร่ (160 ตัน/เฮกตาร์) ได้รับเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตอัตรา 28.8 กก.P/ไร่ (180 กก.P/เฮกตาร์)

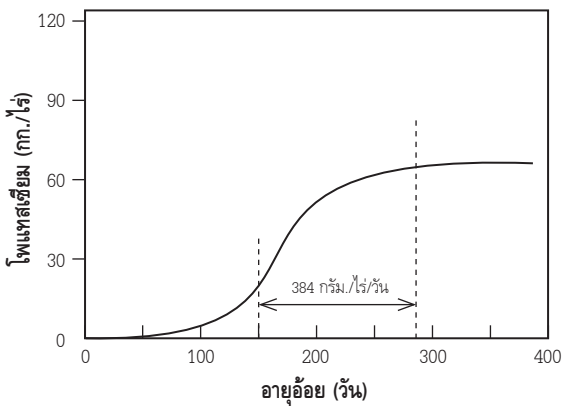


ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตอ้อยกับอัตราปุ๋ยฟอสเฟตที่ใส่ในดินเวอติโซล ทดลองในประเทศบราซิล
ที่มา: ปรับปรุงจาก Fageria *et al.* (2011)

4.3 โพแทสเซียม

ในช่วง GGP โดยเฉพาะอย่างยิ่งอายุ 150-290 วัน อ้อยมีการสะสมโพแทสเซียมสูงกว่าฟอสฟอรัสประมาณ 10 เท่าคือ 384 กรัมK/ไร่/วัน (2.40 กก.K/เฮกตาร์/วัน) ดังภาพที่ 5 เฉพาะช่วงนี้สะสมได้ 68% ของที่สะสมได้ทั้งหมด อ้อยมีการสะสมโพแทสเซียม

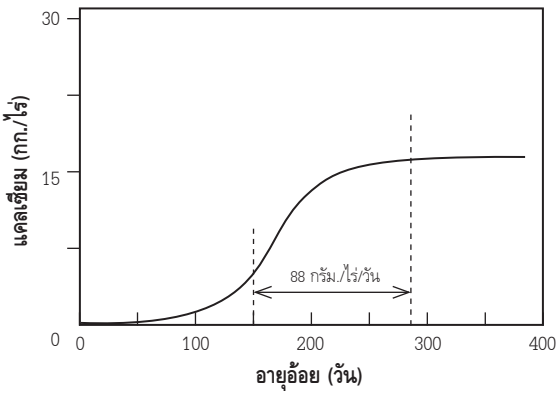
เร็วที่สุดใน 60 วันแรกของช่วง GGP คือมีอัตราการสะสม 662 กรัมK/ไร่/วัน หรือ 4.14 กก.K/เฮกตาร์/วัน หลังจากอายุ 290 วันไปแล้วมีการสะสมโพแทสเซียมในอ้อยเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งคล้ายกับการสะสมฟอสฟอรัส แต่แตกต่างจากไนโตรเจนซึ่งการสะสมยังสูงขึ้นต่อไป



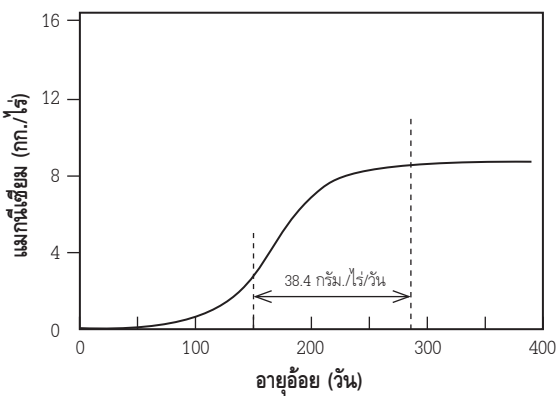
ภาพที่ 5 การสะสมโพแทสเซียมของอ้อยที่ปลูกในดินอินทรีย์ที่ประเทศบราซิล
ที่มา: ปรับปรุงจาก Fageria *et al*. (2011)

5. ความต้องการธาตุรองของอ้อย

ธาตุรองที่จะกล่าวนี้มี 2 ธาตุคือแคลเซียมและแมกนีเซียม ในช่วง GGP โดยเฉพาะอย่างยิ่งอายุ 150-290 วัน อ้อยมีการอัตราการสะสมแคลเซียมโดยเฉลี่ย 88 กรัมCa/ไร่/วัน (0.55 กก.Ca/เฮกตาร์/วัน) และแมกนีเซียม 38.4 กรัมMg/ไร่/วัน (0.24 กก.Mg/เฮกตาร์/วัน) เฉพาะช่วงนี้อ้อยสามารถสะสมแมกนีเซียมได้ 62% ของที่สะสมได้ทั้งหมด (ภาพที่ 6 และ 7) หลังจากอายุ 290 วันไปแล้วมีการสะสมแคลเซียมในอ้อยเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งคล้ายกับการสะสมไนโตรเจน แต่แตกต่างจากแมกนีเซียมซึ่งมีการสะสมเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง



ภาพที่ 6 การสะสมแคลเซียมของอ้อยที่ปลูกในดินอินทรีย์ที่ประเทศบราซิล
ที่มา: ปรับปรุงจาก Fageria *et al*. (2011)



ภาพที่ 7 การสะสมแมกนีเซียมของอ้อยที่ปลูกในดินอินทรีย์ที่ประเทศบราซิล
ที่มา: ปรับปรุงจาก Fageria *et al*. (2011)

6. ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในลำอ้อย

ปริมาณของธาตุอาหารในลำอ้อยที่ปลูกในแต่ละประเทศอาจแตกต่างกันบ้าง เช่น การเก็บเกี่ยวอ้อยในไอวอรี โคสต์ ลำอ้อยหนัก 1 ตันมีธาตุหลักติดไปดังนี้ 0.7-0.9 กก.N, 0.22-0.26 กก.P, 1.28 กก.K แต่ในฮาวาย ลำอ้อยหนัก 1 ตัน มี 0.44 กก.N, 0.09-0.33 กก.P, 0.75 กก.K ส่วนในเอเชีย อ้อยหนัก 1 ตัน มี 1.1 กก.N, 0.2 กก.P, 1.1 กก.K, 0.2 กก.Ca,

0.3 กก.Mg และ 0.2 กก.S สำหรับความเข้มข้นของธาตุหลัก ธาตุรองและจุลธาตุ ซึ่งอยู่ในลำอ้อยและใบอ้อยพันธุ์เวสต้าที่ปลูกในประเทศไทยแสดงไว้ในตารางที่ 2 ความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหารที่ติดไปกับการเก็บเกี่ยวอ้อย อาจเนื่องมาจากปริมาณใบที่ติดไป อายุอ้อยที่เก็บเกี่ยว และพันธุ์อ้อยที่แตกต่างกัน

7. ความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนต่างๆ ของต้นอ้อย

ในข้อนี้จะกล่าวถึงความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบที่จัดว่าเพียงพอและความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหารในแต่ละส่วนของอ้อย

ตารางที่ 2 ปริมาณธาตุอาหารพืชที่ถูกดูดเข้าไปไว้ในส่วนเหนือดินของอ้อยพันธุ์เวสต้า

ธาตุ	อ้อยปลูก[1]		อ้อยตอ[2]	
	ลำอ้อย	ใบอ้อย	ลำอ้อย	ใบอ้อย
N (กก.)	8.5	10.1	6.6	8.6
P (กก.)	3.7	1.9	3.8	1.7
K (กก.)	43.8	14.4	57.9	15.5
Ca (กก.)	2.8	2.7	5.5	8.1
Mg (กก.)	2.3	1.7	3.3	2.3
S (กก.)	5.6	2.9	6.6	3.5
Fe (ก.)	1338.6	288.2	981.6	342.0
Mn (ก.)	285.4	293.6	429.1	408.4
Zn (ก.)	162.0	47.5	49.1	18.1
Cu (ก.)	50.8	14.3	12.0	6.1
B (ก.)	22.3	9.9	37.0	11.9

[1] ลำอ้อยและใบอ้อยมีน้ำหนักสด 22 ตันและ 2.8 ตันตามลำดับ
[2] ลำอ้อยและใบอ้อยมีน้ำหนักสด 15.4 ตันและ 2.6 ตันตามลำดับ
ที่มา: สุรเดชและคณะ (2542)

7.1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบที่จัดว่าเพียงพอ

สำหรับความเข้มข้นของธาตุต่างๆ ในใบอ้อยที่จัดว่าเพียงพอ แสดงไว้ในตาราง 3 ข้อมูลในตารางนี้ตามแนวตั้งมี 4 ช่อง คือ ช่องที่ 1 ระบุชื่อธาตุอาหารที่วิเคราะห์จำนวน 12 ธาตุ ช่องที่ 2 ระยะการเจริญเติบโตของต้นอ้อย บอกอายุนับจากวันปลูก ช่องที่ 3 ส่วนของอ้อยที่ใช้เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ คือใบซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐานเรียกใบที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีว่าใบดรรชนี (index leaves) และช่องที่ 4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่จัดว่าเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตตามปกติ ธาตุหลักและธาตุรองใช้หน่วยกรัม/กิโลกรัม ส่วนจุลธาตุใช้หน่วยมิลลิกรัม/กิโลกรัม

ดังนั้นในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยการวิเคราะห์ใบอ้อย จึงต้องเก็บตัวอย่างใบตามอายุ เช่นอายุ 3 เดือนหรือ 6 เดือน และตำแหน่งของใบที่เก็บมาก็ถูกต้องด้วย จึงจะนำผลการวิเคราะห์มาเทียบกับตารางนี้ได้

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของธาตุต่างๆ ในใบอ้อยที่จัดว่าเพียงพอ

ธาตุ	ระยะการเจริญเติบโต	ส่วนของพืช	ความเข้มข้น
N (ก./กก.)	อายุ 3 เดือน (อ้อยปลูก)	TVD*	24-25
	อายุ 6 เดือน (อ้อยปลูก)	TVD	19
	อายุ 4-5 เดือน (อ้อยตอ)	TVD	19
	ช่วงแรกที่มีการเติบโตรวดเร็ว	ใบที่ 3-6	15-27
P (ก./กก.)	อายุ 3-6 เดือน (อ้อยปลูก)	TVD	2.1-3.5
	อายุ 10.3 เดือน (อ้อยปลูก)	แผ่นใบที่ 3 ใต้ใบยอด	2.1-3.0
	อายุ 2-4.5 เดือน (อ้อยตอ)	TVD	2.1-3.5
	อายุ 7 เดือน (อ้อยตอ)	แผ่นใบที่ 3 ใต้ใบยอด	2.1-3.0
	ช่วงแรกที่มีการเติบโตรวดเร็ว	กาบใบที่ 3-6	0.5-2.0
K (ก./กก.)	อายุ 3-6 เดือน (อ้อยปลูก)	TVD	12.5-20.0
	อายุ 10.3 เดือน (อ้อยปลูก)	แผ่นใบที่ 3 ใต้ใบยอด	13.0-20.0
	อายุ 2-4.5 เดือน (อ้อยตอ)	TVD	12.5-20.0
	อายุ 6-7 เดือน (อ้อยตอ)	TVD	11.0-18.0
	อายุ 7-14 เดือน (อ้อยปลูก)	ข้อปล้องที่ 8-10	10.0
	ช่วงแรกที่มีการเติบโตรวดเร็ว	กาบใบที่ 3-6	22.5-60.0
Ca (ก./กก.)	อายุ 3 เดือน (อ้อยปลูก)	TVD	1.4-1.8
	อายุ 4.5-6 เดือน (อ้อยปลูก)	TVD	1.5-2.0
	อายุ 2-3 เดือน (อ้อยตอ)	TVD	1.6-2.0
	อายุ 5 เดือน (อ้อยตอ)	TVD	2.0-2.4
	ช่วงแรกที่มีการเติบโตรวดเร็ว	กาบใบที่ 3-6	1.0-2.0
Mg (ก./กก.)	อายุ 3 เดือน (อ้อยปลูก)	TVD	0.9-1.2
	อายุ 4.5-6 เดือน (อ้อยปลูก)	TVD	1.2-1.8
	อายุ 2-3 เดือน (อ้อยตอ)	TVD	1.0-1.8
	อายุ 5 เดือน (อ้อยตอ)	TVD	1.2-1.8
	ช่วงแรกที่มีการเติบโตรวดเร็ว	กาบใบที่ 3-6	1.5-10.0
S (ก./กก.)	35 วันหลังจากปลูก	กาบใบที่ 3-6	6.1
	70 วันหลังจากปลูก	กาบใบที่ 3-6	0.8
	อายุ 7 เดือน (อ้อยปลูก)	TVD	1.3

ธาตุ	ระยะการเจริญเติบโต	ส่วนของพืช	ความเข้มข้น
Cu (มก./กก.)	อายุ 6-7 เดือน (อ้อยตอ)	TVD	4.2-12.2
	ช่วงที่มีการเติบโตรวดเร็ว	TVD	4.0-15.0
	ช่วงที่มีการเติบโตรวดเร็ว	แผ่นใบที่ 3-6	5.0-100.0
Zn (มก./กก.)	อายุ 6-7 เดือน (อ้อยตอ)	TVD	12-50
	ช่วงที่มีการเติบโตรวดเร็ว	TVD	20-100
	ช่วงที่มีการเติบโตรวดเร็ว	แผ่นใบที่ 3-6	5.0-100.0
Mn (มก./กก.)	อายุ 6-7 เดือน (อ้อยตอ)	TVD	15-200
	ช่วงที่มีการเติบโตรวดเร็ว	TVD	20-200
	ช่วงที่มีการเติบโตรวดเร็ว	แผ่นใบที่ 3-6	20-400
Fe (มก./กก.)	ช่วงที่มีการเติบโตรวดเร็ว	TVD	5-100
	ช่วงที่มีการเติบโตรวดเร็ว	แผ่นใบที่ 3-6	20-600
	อายุ 7 เดือน	TVD	49-915
B (มก./กก.)	อายุ 7 เดือน	TVD	1.6-10
	ช่วงที่มีการเติบโตรวดเร็ว	TVD	2-10
	ช่วงที่มีการเติบโตรวดเร็ว	แผ่นใบที่ 3-6	2-30
Mo (มก./กก.)	ช่วงเจริญเติบโตรวดเร็ว	TVD	0.05-4.0
	ช่วงที่มีการเติบโตรวดเร็ว	แผ่นใบที่ 3-6	0.05-4.0

* TVD = top visible dewlap ประมาณใบที่ 3 ใต้ใบยอด
ที่มา : Reuter *et al*. (1997), Fageria *et al*. (2011)

7.2 ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหารในแต่ละส่วนของอ้อย

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบอ้อยที่จัดว่าเพียงพอนั้นแตกต่างกันได้ หากใช้ตัวอย่างจากต้นที่มีอายุต่างกัน หรือเป็นตัวอย่างจากส่วนของพืชที่ต่างกัน สำหรับความเข้มข้นของแต่ละธาตุในส่วนต่างๆ ของอ้อยเป็นดังนี้

7.2.1 ไนโตรเจน ในส่วนเหนือดินของต้นอ่อนจะมีความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนมากที่สุด และลดลงเมื่ออายุของต้นมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากลำต้นได้เพิ่มจำนวนปล้อง และปล้องเป็นส่วนที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนต่ำ (ตารางที่ 4) ใบอ้อยก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน กล่าวคือเมื่ออายุใบมากขึ้นความเข้มข้นของไนโตรเจนก็ลดลง เนื่องจากอ้อยได้พัฒนาโครงสร้างเซลล์ที่ทำให้ใบแข็งแรง และเคลื่อนย้ายธาตุนี้ไปใช้ในส่วนที่มีการเจริญเติบโตรวดเร็ว ได้แก่ใบอ่อนและยอดอ่อน จึงพบว่าใบอ่อน ใบแก่เต็มที่แต่ยังเขียว และใบแก่ช่วงวาย (senescence) แต่ยังติดอยู่กับลำต้น มีความเข้มข้นของไนโตรเจนร้อยละ 1.2, 0.4 และ 0.2 ตามลำดับ นอกจากนี้ต้นอ้อยที่อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมซึ่งทำให้การเติบโตลดลงเช่นอากาศชื้นและเย็นก็ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในต้นอ้อยสูงกว่าสภาพปกติ

ตารางที่ 4 ความเข้มข้นของไนโตรเจนในอ้อย (ปลูกที่ฮาวาย) อายุ 12 เดือน

ส่วนของพืช	ความเข้มข้น (ก.N/กก.)
ยอดอ่อน	17.7
แผ่นใบอ่อน	11.8
แผ่นใบแก่	8.9
กาบใบอ่อน	4.5
กาบใบแก่	3.1
ปล้องที่ 10-12	1.7
ปล้องที่ 7-9	1.1
ปล้องที่ 4-6	1.4
ปล้องที่ 1-3	1.5

ที่มา : Clements (1980)

การขาดไนโตรเจนมีผลกระทบต่อการเติบโตของอ้อยหลายด้าน เช่น ลดการขยายขนาดใบ อายุของใบสั้นลง และใบเข้าสู่ภาวะวายเร็วขึ้น ดังนั้นต้นอ้อยที่ขาดไนโตรเจน แต่ละหน่อในกอจะมีใบเพียง 4-6 ใบเท่านั้น ในขณะที่หน่อของต้นอ้อยปกติมี 12-14 ใบ

ในช่วงท้ายก่อนการเก็บเกี่ยว หากอ้อยเริ่มขาดไนโตรเจนจะมีผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสงน้อยกว่าผลต่อการเติบโต ดังนั้นอ้อยที่ขาดไนโตรเจนจึงสะสมน้ำตาลในใบและปล้อง ด้วยเหตุนี้ชาวไร่จึงมักจะงดปุ๋ยไนโตรเจนในช่วงใกล้เก็บเกี่ยว เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลในลำต้น

7.2.2 ฟอสฟอรัส โดยปกติส่วนยอดอ่อนของอ้อยมีความต้องการฟอสฟอรัสอยู่ตลอดเวลา เพื่อใช้ในการแบ่งเซลล์และขยายขนาดเซลล์ อันเป็นขั้นตอนของการพัฒนาเนื้อเยื่อและอวัยวะใหม่ (ยงยุทธ, 2552) แต่โดยข้อเท็จจริงแล้วดินไม่สามารถสนองฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์แก่ต้นอ้อยได้อย่างเพียงพอและสม่ำเสมอ ทั้งนี้เนื่องจากความแปรปรวนของความชื้นในดิน หรือระบบรากพัฒนาไม่ทันกับภาระของการดูดธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นอ้อยจึงสร้างกลไกสำหรับสะสมสารฟอสเฟตอนินทรีย์ในลำต้นช่วงที่ดูดได้มาก เพื่อสำรองไว้ใช้ในยามที่ดูดจากดินได้น้อย โดยในช่วงดังกล่าวฟอสเฟตไอออนจะเคลื่อนย้ายจากแหล่งสำรองไปยังยอดอ่อนทันที การที่ปล้องเป็นส่วนซึ่งสะสมฟอสเฟตในรูปอนินทรีย์อันเป็นรูปที่เคลื่อนย้ายง่ายมาก ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในปล้องจึงแปรปรวนอยู่เสมอ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณที่รากดูดได้และปริมาณที่เคลื่อนย้ายไปยังยอดอ่อน ต่างจากความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบซึ่งแปรปรวนน้อยกว่า เนื่องจากที่สะสมในใบส่วนมากอยู่ในรูปสารอินทรีย์ฟอสฟอรัส

เมื่ออวัยวะของส่วนเหนือดินมีอายุมากขึ้น ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสจะลดลง เนื่องจากในอวัยวะดังกล่าวมีสัดส่วนของเนื้อเยื่ออ่อนที่มีฟอสฟอรัสสูงน้อยลง แต่เพิ่มเซลล์ประเภทสร้างความแข็งแรงซึ่งมีฟอสฟอรัสต่ำในสัดส่วนที่มากขึ้น เช่นเดียวกับกรณีของไนโตรเจน

7.2.3 โพแทสเซียม ธาตุนี้ในพืชอยู่ในสารละลายของเซลล์ มิได้อยู่ในโครงสร้างของโปรตีนหรือแมกโครโมเลกุลใดๆ (ยงยุทธ, 2552) ส่วนความเข้มข้นของโพแทสเซียมในต่างอวัยวะหรืออวัยวะเดียวกันที่อายุต่างกันก็แตกต่างกันไป (ตารางที่ 3 และ 5) สำหรับปริมาณของโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินของอ้อยเป็นดังนี้คือ เพิ่มตามอายุและลำต้นมีมากกว่าใบสีเขียว ดังนั้นการเก็บเกี่ยวลำอ้อยจึงได้นำเอาโพแทสเซียมติดไปปริมาณมาก และในกระบวนการผลิตน้ำตาล โพแทสเซียมส่วนใหญ่จะอยู่ในโมลาส (molasses) เหลือเพียงเล็กน้อยในกากตะกอนหม้อกรอง (filter mud หรือ filter cake) บากาส (bagasse) หรือเถ้า (furnace ash) เมื่อนำโมลาสมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล โพแทสเซียมเกือบทั้งหมดในโมลาสจึงมาสะสมอยู่ในวีแนส (vinasse) อันเป็นผลพลอยได้จากการผลิตเอทานอล

7.2.4 แคลเซียม ความเข้มข้นของแคลเซียมในอ้อยแตกต่างกันตามอายุของต้นอ้อย กล่าวคือใบอ่อนสุดซึ่งขยายตัวเต็มที่แล้ว (youngest fully expanded leaf, YFEL) จากต้นอายุ 1 เดือน มีแคลเซียม 0.37% แต่ YFEL จากต้นอายุ 5 เดือน มีแคลเซียมเพียง 0.25% สำหรับกาบใบของ YFEL จากต้นอ้อยอายุ 4 เดือนมีแคลเซียม 0.3% ส่วนของต้นอายุ 18 เดือนมีเพียง 0.2% ในกรณีที่อ้อยมีปัญหาการขาดน้ำ พบว่ามีผลให้ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบสูงขึ้น

ตารางที่ 5 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในส่วนต่างๆ ของต้นอ้อยก่อนเก็บเกี่ยว

ส่วนของพืช	ความเข้มข้น (ก.N/กก.)
ยอดอ่อน	35.5
แผ่นใบอ่อน	16.5
แผ่นใบแก่	13.1
กาบใบอ่อน	24.8
กาบใบแก่	20.5
ปล้องที่ 45-47	10.7
ปล้องที่ 24-26	7.5
ปล้องที่ 1-3	7.2

ที่มา : Clements (1980)

8. ซิลิคอน : ธาตุเสริมประโยชน์ (beneficial element) ที่มีความสำคัญต่ออ้อย

ในข้อนี้จะอธิบายความสำคัญของซิลิคอนต่อการเติบโตของอ้อยและพืชอื่นรูปและปริมาณซิลิคอนที่พืชดูดได้จากดิน (Elawad *et al.,* 1982 (a), 1982 (b); Shinya and Yoshihiro, 2000; Narayanaswamy and Prakash, 2009)

1) ซิลิคอนเป็นธาตุเสริมประโยชน์ของพืช หมายความว่าซิลิคอนเป็นธาตุที่ช่วยส่งเสริมการเติบโตของพืชบางชนิด เช่น ข้าวและอ้อย หรือ เป็นธาตุอาหารของพืชบางชนิดเท่านั้น เช่น อีควิซีตัม (Equisetum arvense) แต่มิได้เป็นธาตุอาหารของพืชทั่วไป แม้ว่าซิลิคอนจะมีในชั้นผิวโลกมากเป็นที่สองรองจากออกซิเจน แต่ส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบของแร่ซึ่งละลายยาก ส่วนรูปของธาตุนี้ในสารละลายดิน คือ กรดโมโนซิลิซิก (monosilicic acid, H_4SiO_4) ความเป็นประโยชน์ของซิลิคอนต่อพืชจะลดลงเมื่อ pH ของดินสูงกว่า 7 สารประกอบที่ใช้เป็นปุ๋ยซิลิคอน คือ แคลเซียมซิลิเกต (calcium silicate, $CaSiO_3$) และ โซเดียมซิลิเกต (sodium silicate, Na_2SiO_3) (ยงยุทธ, 2552)

2) ระดับความเป็นประโยชน์ของซิลิคอนในดิน การวิเคราะห์ซิลิคอนที่เป็นประโยชน์ในดินมีหลายวิธี และแต่ละวิธีจะให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ในการวิจัยเกี่ยวกับข้าวพบว่าหากใช้วิธีสกัดด้วย 0.5 M acetic acid ได้ 6 มก.Si/กก. แสดงว่าดินมีธาตุนี้ไม่เพียงพอและต้องใช้ปุ๋ยซิลิเกต แต่ถ้าได้ 24 มก.Si/กก. จัดว่าเพียงพอ สำหรับดินปลูกอ้อยที่มีซิลิคอนซึ่งสกัดได้ด้วยน้ำ (water extractable Si) 8-15 มก.Si/กก. พืชจะตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยซิลิเกตอย่างมาก และการใส่ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตจากแหล่งต่างๆ อัตราสูงขึ้น (0.8-3.2 ตัน/ไร่) อาจเพิ่มความเข้มข้นของซิลิคอนซึ่งสกัดได้ด้วยน้ำเป็น 24-52 มก.Si/กก.

3) ความเข้มข้นของซิลิคอนในพืช ข้าวที่มีซิลิคอนในตอซัง 1.7-2.4%Si แสดงว่าเพียงพอ ส่วนระดับวิกฤติ (ให้ผลผลิต 90% ของผลผลิตสูงสุด) ในตอซัง คือ 2.9% และในเมล็ด 1.2% สำหรับอ้อยที่ปลูกในดินซึ่งขาดซิลิคอนและแสดงอาการขาดธาตุนี้ มีความเข้มข้นของซิลิคอนในแผ่นใบของใบบนที่มองเห็นดิวแลป (top-visible dewlap, TVD) ของอ้อยปลูก 0.83% การใส่ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตอัตราสูงขึ้น คือ 0.8, 1.6, 2.4 และ 3.2 ตัน/ไร่ ได้ความเข้มข้นของ

ซิลิคอนในแผ่นใบ TVD 1.23, 1.46, 1.52 และ 1.40% ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่าความเข้มข้นของซิลิคอนใบใบอ้อยตอต่ำกว่าอ้อยปลูก กล่าวคือ ความเข้มข้นของซิลิคอนในแผ่นใบอ้อยตอที่ขาดธาตุนี้มีค่า 0.31% การใส่ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตอัตราสูงขึ้นคือ 0.8, 1.6, 2.4 และ 3.2 ตัน/ไร่ ได้ความเข้มข้นของซิลิคอนในแผ่นใบ TVD 0.55, 0.68, 0.76 และ 0.76% ตามลำดับ

4) ซิลิคอนในโครงสร้างของเซลล์อ้อย รากอ้อยดูดซิลิคอนรูปที่เป็นประโยชน์ ซึ่งเป็นสารประกอบซิลิเกตที่ละลายได้ (soluble silicate) มาจากดิน แล้วสะสมในผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อต่างๆ ในรูปโอปาล (opal, $SiO_2.nH_2O$) ช่วยให้ผนังเซลล์แข็งแรง ความเข้มข้นของซิลิคอนในแผ่นใบและกาบใบอ้อยสูงขึ้นตามอายุ และมีในกาบใบมากกว่าแผ่นใบ สำหรับแผ่นใบนั้นส่วนที่มีมากที่สุดคือขอบและปลายใบ

5) อาการขาดซิลิคอนของอ้อย การปลูกอ้อยในดินซึ่งมีซิลิคอนรูปที่เป็นประโยชน์ต่ำ อ้อยจะขาดธาตุนี้โดยแสดงอาการ คือ ใบเล็ก เรียว เกิดจุดสีเหลืองตามแผ่นใบทำให้ใบลายพร้อย (fr จุดเหล่านี้จะขยายจนติดกันเป็นวงใหญ่และทำให้ใบตาย อาการดังกล่าวเกิดขึ้นจากการขาดซิลิคอนและถูกเร่งให้อาการพัฒนาเร็วขึ้นด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต (ultraviolet-B, 280-320 nm) การใส่แคลเซียมซิลิเกต ช่วยให้อ้อยเจริญเติบโตดีขึ้นและมีผลผลิตเพิ่มขึ้นด้วย

6) ผลการใช้ซิลิคอนต่ออ้อยในดินที่มีซิลิคอนเป็นประโยชน์ต่ำ เนื่องจากซิลิคอนเป็นธาตุเสริมประโยชน์ของอ้อย การใช้ปุ๋ยซิลิคอนในดินที่มีความเป็นประโยชน์ของธาตุนี้ต่ำ จะช่วยให้รากอ้อยดูดไปใช้แก้ไขความบกพร่องของกระบวนการสรีระที่ได้รับผลกระทบ จึงทำให้การเติบโตและผลผลิตอ้อยสูงขึ้น

สำหรับผลต่อการสังเคราะห์แสงนั้น การทดลองกับอ้อยที่ปลูกในกระถางที่ประเทศญี่ปุ่น โดยใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมซิลิเกต (potassium silicate, K_2SiO_3) อัตรา 12 กรัม/กระถาง (2.4 กรัมK/กระถาง) เปรียบเทียบกับการใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) อัตรา 2.4 กรัมK/กระถางเท่ากัน ผลการทดลองสรุปได้ว่าโพแทสเซียมซิลิเกตให้ผลดีกว่าโพแทสเซียมคลอไรด์หรือไม่ใส่ปุ๋ย คือ ช่วยเพิ่มการสังเคราะห์แสงของอ้อยในสภาพอุณหภูมิสูง (39˚C) ลดอัตราการคายน้ำ เพิ่มความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในแผ่นใบและความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบก็สูงขึ้น ทำให้ใบอ้อยวายช้าลง ลำอ้อยที่ได้จากการใส่โพแทสเซียมซิลิเกตมีค่า %Brix สูงกว่าด้วย (Shinya and Yoshihiro, 2000)

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2542. **คู่มือการประเมินคุณภาพที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ.** กองวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2542. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา. 2541. **พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา. 2542. **พืชเศรษฐกิจ.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2552. **ธาตุอาหารพืช.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2554. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

สุรเดช จินตกานนท์ เกษม สุขสถาน และ ผกาทิพย์ จินตกานนท์. 2542. การศึกษาผลผลิตและองค์ประกอบธาตุอาหารพืชของอ้อย. **วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย.)** 33: 10-20.

Clements, H.F. 1980. **Sugarcane Crop Logging and Crop Control: Principle and Practice.** University of Hawaii, Honolulu.

Coale, F.J., C.A. Sanchez, F.T.Izuno and A.B. Bottcher. 1993. Nutrient accumulation and removal by sugarcane grown on Everglades Histosols. **Agronomy Journal.** 85: 310-315.

Elawad, S.H., G.J. Gascho and J.J. Street. 1982 (a). Response of sugarcane to silicate sources and rate. I. Growth and yield. **Agronomy Journal.** 74: 481-484.

Elawad, S.H., J.J. Street and G.J. Gascho. 1982 (b). Response of sugarcane to silicate sources and rate. II. Leaf freckling and nutrient content. **Agronomy Journal.** 74: 484-487.

Fageria, N.K., V.C.Baliga and C.A.Jones.1997. **Growth and Mineral Nutrition of Field Crops** (2nd Edition). Marcel Dekker, Inc. New York.

Fageria, N.K., V.C.Baliga and C.A.Jones.2011. **Growth and Mineral Nutrition of Field Crops** (3rd Edition). Marcel Dekker, Inc. New York.

FAO. 1985. Crop Salt Tolerance Data. *In* **Irrigation and Drainage.** Paper No. 29 Rome. http:// www.fao.org/

Glaz, B., G. Powell, R. Perdomo and M.F. Ulloa. 2000. Sugarcane genotype response to phosphorus fertilizer in the Everglades. **Agronomy Journal.** 92: 887-894.

Johnson, R.M. and E.P. Richards Jr. 2005. Sugarcane yield, sugar quality, and soil variability in Louisiana. **Agronomy Journal.** 97: 706-771.

Narayanaswamy, C and N.B. Prakash. 2009. Calibration and categorization of plant available silicon in rice soils of South India. **Journal of Plant Nutrition.** 32: 1237-1254.

Reuter, D.J, D.G. Edwards and N.S. Wilhelm.1997. Temperate and tropical crops. *In* **Plant Analysis: an Interpretation Manual** (Reuter *et al.* eds.). CSIRO, Australia.

Ruschel, A.P. and P.B. Vose. 1982. Nitrogen cycle in sugarcane. **Plant and Soil.** 67: 139-146.

Shinya, Y. and H. Yoshihiro. 2000. Some effect of potassium silicate application on photosynthesis of sugarcane. **Journal of Agricultural Science.** 45 (2): 115-121.

Sexena, P., R.P. Srivastava and M.L. Sharma. 2010. Studies on salinity stress tolerance in sugarcane varieties. **Sugar Tech.** 12 (1): 59-63.

Suman, A., M. Lal, A.K. Singh and A. Gaur. 2006. Microbial biomass turnover in Indian subtropical soils under different sugarcane intercropping systems. **Agronomy Journal.** 98: 698-704.