



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พฤกษศาสตร์)

ปริญญา

พฤกษศาสตร์

พฤกษศาสตร์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของกรดฮิวมิกที่สกัดจากลีโอนาร์ไต์ต่อการเติบโตและปริมาณธาตุอาหารของอ้อย

Effect of Humic Acid Extracted from Leonardite on Growth and Nutrient
Contents of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.)

نامผู้วิจัย นางสาวจณิศา สุกิจปาณีนิจ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์คณพล จุฑามณี, D.Agr.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์แสงดาว เขาแก้ว, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์สรวิศ รุ่งเมฆารัตน์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฉัตรชัย เงินแสงสรวย, ป.ด.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของกรดฮิวมิกที่สกัดจากลีโอนาร์ไดต์ต่อการเติบโตและปริมาณธาตุอาหารของอ้อย

Effect of Humic Acid Extracted from Leonardite on Growth
and Nutrient Contents of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.)

โดย

นางสาวจณิตตา สุกิจปาณีนิจ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤษศาสตร์)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จณิตตา สุกิจปาณินิจ 2557: ผลของกรดฮิวมิกที่สกัดจากลีโอนาร์โดต์ต่อการเติบโตและ
ปริมาณธาตุอาหารของอ้อย ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษศาสตร์)
สาขาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์คณพล จุฑามณี, D.Agr. 111 หน้า

การปลูกอ้อยติดต่อกันเป็นเวลานานโดยไม่มีการปรับปรุงดิน เป็นสาเหตุที่ทำให้ดินมี
ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เสื่อมสภาพลง และส่งผลทำให้ปริมาณผลผลิตอ้อยมีแนวโน้มลดลงด้วย
กรดฮิวมิกเป็นสารปรับปรุงดิน ซึ่งมีรายงานว่าสามารถช่วยเพิ่มการดูดซึมธาตุอาหารของพืช
ปรับปรุงสมบัติของดินได้ การศึกษาผลการใช้กรดฮิวมิกที่สกัดได้จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัด
ลำปาง ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณธาตุอาหารและการเติบโตของอ้อยพันธุ์ LK92-11 พบว่าในดิน
ก่อนปลูกมีปริมาณธาตุอาหารหลักไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย ในดินระหว่างปลูก 3
เดือน พบว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่มีปริมาณแคลเซียมมากกว่า
ตำรับการทดลองอื่นๆ และการใช้ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่มีปริมาณเหล็ก
มากกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ ในดินระหว่างปลูก 6 เดือนพบว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรด
ฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่มีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมากกว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมี 100%
และใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว การศึกษาปริมาณธาตุอาหารในใบพบว่า ตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมี
75% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่มีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุด ในอ้อยอายุ 3 เดือน ใน
ระยะที่อ้อยอายุ 6 เดือนพบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับกรดฮิวมิกทำให้อ้อยมีปริมาณไนโตรเจน
มากกว่าตำรับที่ใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว ศึกษาการเติบโตด้านลำต้นของอ้อยพบว่า ตำรับที่
ใส่กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีมีความสูงและค่าดัชนีความเขียวของอ้อยมากกว่าตำรับที่ใส่กรดฮิวมิ
กเพียงอย่างเดียวหรือใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว เก็บข้อมูลผลผลิตของอ้อยพบว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ยเคมี
100% มีปริมาณผลผลิตและคุณภาพน้ำตาลสูงกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ

Janitta Sukijpaneenij 2014: Effect of Humic Acid Extracted from Leonardite on Growth and Nutrient Contents of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.).

Master of Science (Botany), Major Botany, Department of Botany.

Thesis Advisor: Associate Professor Kanapol Jutamanee, D.Agr. 111 pages.

Soil used for sugarcane cultivation over a period of time had a low nutrient fertility and it caused the decrease of sugarcane productivity. Humic acid, a soil conditioner was reported to increase plant nutrients absorption and improve soil properties. The study on humic acid (HA) extracted from leonardite Mae Moh Mine, Lampang province, application with chemical fertilizer (NPK) on nutrients uptake and growth of sugarcane var. LK92-11 was determined. The results showed that soil nutrient contents before planting were inadequate level for sugarcane. On the 3rd month, treatment of NPK 75% application with HA 25 kg/rai gave calcium content in soil higher than the other treatments while treatment of NPK 75% with HA 50 kg/rai gave iron content in soil higher than the treatments only HA or NPK. On the 6th month, treatment of NPK 75% application with HA 50 kg/rai gave phosphorus and potassium contents higher than the treatment with NPK 100% and the treatment with only HA. The study on nutrient contents in sugarcane leaves found that NPK 75% with HA 50 kg/rai gave phosphorus content higher than the treatments of HA or NPK on the 3rd month. On the 6th month, the combination of NPK with HA gave nitrogen contents more than the treatment of only HA. The study on vegetative growth found that the height and SPAD index of the treatments combination of HA with NPK were higher than only HA or NPK treatments. The harvest data showed that the treatment of NPK 100% gave yield and sugar quality higher than treatments of only HA or combination of HA with NPK.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. คณพล จุฑามณี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก สำหรับ คำปรึกษา แนะนำในด้านการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนความเอาใจใส่ ให้คำสั่งสอน ตักเตือน และปลูกฝังข้าพเจ้าในการทำงาน ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบ ขอบพระคุณ ดร.แสงดาว เขาแก้ว และ ดร. สราวุธ รุ่งเมฆารัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำ ปรึกษา และช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ ทำให้ วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย แม่ฮ่องสอน จังหวัดลำปางสำหรับ ความอนุเคราะห์ตัวอย่างลิโอรไรด์ ตลอดจนเงินทุนสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคุณวิวัฒน์ ไตรธิกุล และ ดร. พลยุทธ สุขสมบัติ รวมทั้งสำนักงาน อุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 3 จังหวัดเชียงใหม่ สำหรับความรู้เกี่ยวกับกรดฮิวมิก และความกรุณาต่างๆ ตลอดระยะเวลา 6 เดือน ขอขอบพระคุณภาควิชาปฐพีวิทยา และเจ้าหน้าที่ ทุกท่านสำหรับความช่วยเหลือต่างๆ ความกรุณาในการวิเคราะห์ทางเคมีต่างๆ จนวิทยานิพนธ์เล่ม นี้มีข้อมูลครบถ้วน สมบูรณ์ และขอขอบพระคุณคุณสุเมศ ทับเงิน สำหรับความช่วยเหลือด้านพื้นที่ ทำการทดลอง ตลอดจนการลงแรงช่วยแก้ไขปัญหา กระทั่งทุกอย่างลุล่วงผ่านไปได้ด้วยดี

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ นางสาวสุภาณันท์ เงินน้อย สำหรับความช่วยเหลือ กำลังใจที่ดี และ คอยร่วมฝ่าฟันทุกอย่างมาด้วยกันจนสำเร็จดังที่ตั้งใจไว้ ขอขอบคุณนางสาวจุติภรณ์ ทัสสกุลพนิช และนายวีรศิลป์ สอนจรรยา สำหรับความช่วยเหลือในการทำงาน คำปรึกษาที่มีประโยชน์ และ สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณป้า คุณแม่ ตลอดจนญาติผู้ใหญ่สำหรับกำลังใจที่ยิ่งใหญ่ ความห่วงใยที่คอยส่งผ่านเรื่อยมา จนทำให้ข้าพเจ้าสามารถก้าวผ่านอุปสรรคต่างๆ ได้ และแหล่ง กำลังใจเล็กๆ จากพี่ของมินและโอซิด

จณิตตา สุกิจปาณินิจ

พฤษภาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	26
ผลและวิจารณ์	35
สรุปและข้อเสนอแนะ	81
สรุป	81
ข้อเสนอแนะ	82
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	83
ภาคผนวก	92
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	111

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 สมบัติทางเคมีบางประการ ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณโลหะหนัก ในตัวอย่างลีโอนาร์โดต์จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และกรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอนาร์โดต์	38
2 สมบัติทางเคมีบางประการ ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณโลหะหนัก ของดินก่อนปลูกอ้อย	41
3 ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินที่ใช้ปลูกอ้อยอายุ 3 เดือน	43
4 ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินที่ใช้ปลูกอ้อยอายุ 6 เดือน	45
5 ปริมาณธาตุอาหารรองในดินที่ใช้ปลูกอ้อยอายุ 3 เดือน	48
6 ปริมาณธาตุอาหารรองในดินที่ใช้ปลูกอ้อยอายุ 6 เดือน	50
7 ปริมาณจุลธาตุในดินที่ใช้ปลูกอ้อยอายุ 3 เดือน	52
8 ปริมาณจุลธาตุในดินที่ใช้ปลูกอ้อยอายุ 6 เดือน	53
9 ปริมาณธาตุอาหารหลักในใบอ้อยที่อายุ 3 เดือน	56
10 ปริมาณธาตุอาหารหลักในใบอ้อยที่อายุ 6 เดือน	58
11 ปริมาณธาตุอาหารรองในใบอ้อยที่อายุ 3 เดือน	60
12 ปริมาณธาตุอาหารรองในใบอ้อยที่อายุ 6 เดือน	61
13 ปริมาณจุลธาตุในใบอ้อยที่อายุ 3 เดือน	63
14 ปริมาณจุลธาตุในใบอ้อยที่อายุ 6 เดือน	64
15 อัตราการงอกของอ้อยอายุ 3 สัปดาห์และ 4 สัปดาห์	67
16 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ โพลีไฟเบอร์ และ CCS เมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยอายุ 10 เดือน	79
17 ความบริสุทธิ์ และผลผลิตน้ำตาลเมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยอายุ 10 เดือน	80

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548	93
2	ค่ามาตรฐานความเหมาะสมของดินที่ปลูกอ้อย	94
3	มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม	95
4	มาตรฐานปริมาณโลหะหนักในดิน	96
5	ความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ ในใบอ้อย	97
6	ความสูงจากพื้นดินถึงคอบีสูงสุดของอ้อยอายุ 2-8 เดือน	98
7	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของอ้อยอายุ 2-8 เดือน	100
8	ค่าดัชนีความเขียวของอ้อยอายุ 2-8 เดือน	102
9	ผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยที่อายุ 10 เดือน	104
10	อัตราการเติบโตสัมพันธ์ความสูงอ้อยจากฐานถึงคอบีสูงสุด (ชม. /เดือน)	109
11	อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และความชื้นสัมพัทธ์ของเดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 ในจังหวัดฉะเชิงเทรา	110

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างของกรดฮิวมิก	16
2 วิธีการสกัดกรดฮิวมิกจากลิกโนคาร์โบเนต	19
3 ที่ตั้งกองลิกโนคาร์โบเนตทั้ง 6 กองในเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง	26
4 ความสูงจากพื้นดินถึงคอบีสูงสุดของอ้อยอายุ 2 เดือนถึง 8 เดือน	70
5 อัตราการเติบโตสัมพันธ์กับความสูงอ้อยจากฐานถึงคอบีสูงสุด (ซม. /เดือน)	70
6 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของอ้อยอายุ 2 เดือนถึง 8 เดือน	71
7 ค่าดัชนีความเขียวของอ้อยที่อายุ 2 เดือนถึง 8 เดือน	74
8 ผลผลิตต่อไร่เมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยอายุ 10 เดือน	76
9 จำนวนลำต่อไร่เมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยอายุ 10 เดือน	76
10 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยอายุ 10 เดือน	77
11 จำนวนปล้องเมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยอายุ 10 เดือน	77
12 ความยาวลำเมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยอายุ 10 เดือน	78
13 ความยาวปล้องเมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยอายุ 10 เดือน	78
ภาพผนวกที่	
1 การเตรียมแปลงและการเติบโตของอ้อยระยะต่างๆ	106
2 อ้อยเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 10 เดือน	108

ผลของกรดฮิวมิกที่สกัดจากลีโอนาร์ไดต์ต่อการเติบโต และปริมาณธาตุอาหารของอ้อย

Effect of Humic Acid Extracted from Leonardite on Growth and Nutrient Contents of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.)

คำนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีการส่งออกในรูปแบบของน้ำตาลทรายมากเป็นอันดับสองของโลก รองจากประเทศบราซิล (กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ, 2556) และยังมีทิศทางการเพิ่มมากขึ้นของผลผลิตในแต่ละปีอีกด้วย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) อ้อยเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ โดยใช้ในการบริโภคในรูปแบบของน้ำตาล อีกทั้งเกษตรกรผู้ปลูกอ้อยจะมีรายได้จากการจำหน่ายอ้อยคิดเป็นร้อยละ 4 ของรายได้ภาคการเกษตรทั้งหมดและยังมีความสำคัญในด้านพลังงาน โดยนำกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลเพื่อใช้ผสมในน้ำมันเบนซิน ซึ่งสามารถใช้ได้ดีเทียบเท่าน้ำมันเบนซิน 95 แต่ปริมาณผลผลิตอ้อยในแต่ละปีไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับผลผลิตต่อไร่และพื้นที่ปลูก (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

ดินที่ใช้ปลูกอ้อยซ้ำติดต่อกันเป็นเวลานานมักมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีการเสื่อมสภาพลงมากอันเนื่องมาจากการไถพรวนบ่อยครั้งโดยไม่ถูกวิธี การตัดอ้อยเข้าโรงงานทำให้ธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุลดลง การเผาอ้อย การใช้รถบรรทุกไปเหยียบย่ำในแปลง การใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ทำให้คุณสมบัติของดินเลวลง การจะปลูกอ้อยให้ได้ผลผลิตดีนั้น จะต้องปลูกในดินดี สภาพของดินที่ดีที่เหมาะสมสำหรับปลูกอ้อยจะต้องประกอบด้วยสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีววิทยาที่ดีร่วมกัน (กรมวิชาการเกษตร, 2547) การใช้ประโยชน์ที่ดินโดยขาดการบำรุงรักษาเป็นสาเหตุทำให้ผลผลิตอ้อยลดต่ำลงทุกปี จึงจำเป็นต้องรักษาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินให้คงที่หรือเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาระดับผลผลิตอ้อย (สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน, 2550)

กรดฮิวมิก คือสารฮิวมิกที่ทำหน้าที่เป็นสารปรับปรุงดิน มีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ สามารถละลายได้ในสารละลายต่าง แต่ไม่ละลายในสารละลายกรดและในน้ำ กรดฮิวมิกสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของดินทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพได้ (Hatcher *et al.*, 1981; Tan, 2003) การศึกษาถึงบทบาทของกรดฮิวมิกที่มีผลต่อพืชด้านธาตุอาหาร ผลผลิตและคุณภาพผลผลิต มีรายงานการศึกษาว่า กรดฮิวมิกสามารถปรับปรุงคุณภาพของดิน เพิ่มคุณภาพผลผลิต และการดูดซึมธาตุอาหารของพืช (Katkut, 2009) อีกทั้งยังเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้พืชโดยการเปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์และพืชสามารถดูดซึมนำไปใช้ได้ (Virgine and Singaram, 2005; Prakash *et al.*, 2011)

ในประเทศไทยพบว่า มีการทำเหมืองเพื่อขุดเอาถ่านลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะในแหล่งถ่านหินลิกไนต์ที่เหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง พบว่าคือลีโอนาไดต์ (Leonardite) ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบผลิตกระแสไฟฟ้าได้ (วิวัฒน์ และคณะ, 2552) ลีโอนาไดต์เป็นชั้นดินปนถ่านหินที่ถูกออกซิไดซ์ตามธรรมชาติ เป็นถ่านหินเกรดต่ำ ลักษณะนุ่มไม่แข็งตัว มีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงดำและสามารถนำมาสกัดได้กรดฮิวมิก กรดฟุลวิกและฮิวมิน (วิวัฒน์ และคณะ, 2552; Ricca *et al.*, 2000; International Humic Substances Society [IHSS], 2554)

การใช้ที่ดินสำหรับปลูกอ้อยเป็นระยะเวลายาวนานโดยไม่มีการปรับปรุงดิน เป็นสาเหตุที่ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง ส่งผลถึงปริมาณผลผลิตที่มีแนวโน้มลดลงด้วย กรดฮิวมิกซึ่งทำหน้าที่เป็นสารปรับปรุงดิน สามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของดินและการดูดซึมธาตุอาหารได้ ดังนั้นจึงทำการศึกษาลักษณะของการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการดูดซึมธาตุอาหารและการเติบโตของอ้อยพันธุ์ LK92-11

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณโลหะหนักของลีโอนาโดต์ และกรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอนาโดต์
2. เพื่อศึกษาผลของกรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอนาโดต์ต่อการเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารของอ้อย
3. เพื่อเปรียบเทียบกรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอนาโดต์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยต่อการเติบโตและผลผลิตของอ้อย
4. เพื่อศึกษาผลของกรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอนาโดต์ต่อสมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณโลหะหนักของดินที่ใช้ปลูกอ้อย

การตรวจเอกสาร

อ้อยเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์หญ้า (Gramineae) สกุล *Saccharum* จำแนกได้เป็นชนิด (species) ต่างๆ โดยนักพฤกษศาสตร์หลายคน แต่ที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป คือ การจำแนกเป็น 4 ชนิด โดยแต่ละชนิดมีถิ่นกำเนิดและลักษณะทั่วไป ดังนี้ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

1. อ้อยปลูกดั้งเดิม (*Saccharum officinarum* L.) เป็นอ้อยที่เกิดในแถบเกาะนิวกินี อ้อยชนิดนี้มีลักษณะที่สำคัญ คือ ลำใหญ่ ใบยาวและกว้าง มีน้ำตาลมาก เปลือกและเนื้อนิ่ม โดยทั่วไปมักเรียกว่า อ้อยเคี้ยว เถามีอยู่ในประเทศไทย คือ อ้อยมอริเชียส (Mauritius) และอ้อยบาติลา (Batila) ในอดีตชาวต่างชาติที่อยู่ในชวาเรียกอ้อยชนิดนี้ว่า noble cane ต่อมาเรียกว่า native garden sugarcane หรือ native sugarcane เพราะชาวเกาะนิวกินีปลูกไว้ในสวนเพื่อใช้รับประทานสด ในสมัยแรกเริ่มอ้อยชนิดนี้มีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรมน้ำตาลทรายของโลกเป็นอย่างมาก อ้อยที่ปลูกเป็นการค้าในปัจจุบันก็มักมีพันธุกรรมที่มาจากอ้อยชนิดนี้ ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงประวัติและถิ่นกำเนิดดั้งเดิมของอ้อยจึงหมายถึงอ้อยชนิดนี้เสมอ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

2. อ้อยป่าแถบร้อน (*Saccharum spontaneum* L.) พบทั่วไปในแถบร้อนและเขตร้อน มีอยู่หลายร้อยชนิดแตกต่างกันตามแหล่งกำเนิด แต่มีลักษณะที่สำคัญคล้ายคลึงกันคือ มีอายุหลายปี ขึ้นอยู่เป็นกอ มีลำต้นใต้ดิน ลำต้นเหนือดินพอมและแข็ง ใ้กลวง มีความหวานน้อย ในประเทศไทยเรียกว่า เขมพงหรืออ้อยป่า (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

3. อ้อยอินเดีย (*Saccharum barberi* Jeswiet) เป็นอ้อยที่มีถิ่นกำเนิดในอินเดียตอนเหนือ นักวิชาการเชื่อกันว่าเป็นอ้อยที่เกิดจากการผสมตามธรรมชาติ ระหว่างอ้อยปลูกและอ้อยป่าแถบร้อน อ้อยพวกนี้มีลำต้นเล็ก ใบเล็ก ช่อโป่ง มีความหวานสูง เปลือกและเนื้อนิ่ม อ้อยชาไก่ในประเทศไทยอาจจัดเป็นอ้อยจำพวกนี้ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

4. อ้อยป่านิวกินี (*Saccharum robustum* Brandes et Jeswiet Ex Grassl) เป็นอ้อยป่าแถบเกาะนิวกินี เปลือกแข็ง ใ้ฟ้าม มีลำต้นใหญ่ แข็งแรง อาจสูงถึง 10 เมตร มีความหวานต่ำ

ชาวเกาะใช้ปลูกทำรั้ว อ้อยชนิดนี้ไม่พบว่ามีในประเทศไทย นักวิชาการเชื่อว่าเป็นต้นตระกูลของ อ้อยปลูกดั้งเดิม (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

นอกจากนี้ยังมีอ้อยจีน (*S. sinense* Roxb. Amend, Jeswist) ที่มีลำต้นแข็ง ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม น้ำตาลซูโครสค่อนข้างสูงและต้านทานโรคบางชนิด แต่ผลผลิตมักต่ำมาก อ้อยจีนเป็นอ้อยที่ออกดอกน้อยและมักเป็นหมัน (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

แต่ทั้งนี้พันธุ์อ้อยที่ปลูกเป็นการค้าเพื่ออุตสาหกรรมน้ำตาลส่วนใหญ่ในปัจจุบันเป็นพันธุ์ลูกผสมที่เกิดจากการผสมระหว่าง *S. officinarum* กับชนิดอื่นๆ ในสกุล *Saccharum* ที่เป็นอ้อยป่า เช่น *S. spontaneum* และ *S. robustum* และในสกุลใกล้เคียง (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

อ้อยเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว จัดอยู่ในวงศ์หญ้า การจำแนกทางซีพจักรจัดเป็นพืชที่มีอายุหลายฤดู พันธุ์อ้อยที่ใช้ปลูกในปัจจุบันเกิดจากการผสมข้ามระหว่างพันธุ์ปลูกกับพันธุ์ที่เป็นเครือญาติกัน (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

ราก มีระบบรากฝอย (fibrous root system) ในระยะแรกที่ลำต้นอ้อยงอกจะได้รับน้ำและอาหารส่วนใหญ่จากท่อนพันธุ์ รากชุดแรกของท่อนพันธุ์ (sett root) เกิดขึ้นจากปุ่มรากในบริเวณเกิดราก ซึ่งจะช่วยให้ดูดน้ำและธาตุอาหารจากดินให้แก่ต้นอ่อน เมื่อต้นอ่อนเจริญขึ้นจะเกิดข้อและปล้องสั้นๆ เป็นจำนวนมากใต้ดิน บริเวณข้อของลำต้นใต้ดินจะปรากฏปุ่มรากที่จะเกิดเป็นรากของต้นอ้อย (shoot root) ส่วนตาของลำต้นใต้ดินจะเจริญเติบโตแทงโผล่พ้นเหนือดินเป็นหน่อชุดที่ 2 และหน่อชุดที่ 3 ซึ่งเกิดจากตาของหน่อชุดที่ 2 ตามลำดับ รากของหน่ออ้อยเหล่านี้จะเจริญเติบโตขึ้นมาทดแทนรากของท่อนพันธุ์ รากจะเจริญเติบโตแตกสาขามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพของดิน และรากจะหยั่งลึกลงดินได้มากขึ้นในกรณีที่หน้าดินลึกหรือการไถดินทำได้ลึกเพียงพอ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

รากย่อยแบ่งตามหน้าที่ได้ 3 ชนิด ได้แก่

1. Superficial root เกิดจากปุ่มรากของข้อที่อยู่บริเวณใกล้ผิวดิน เป็นรากที่มีขนาดเล็ก และแตกแขนงมาก ทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหารให้แก่ต้นอ้อยเป็นส่วนใหญ่ มีความยาวระหว่าง 50-250 เซนติเมตร รากชนิดนี้ช่วยพยุงลำต้นได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ฯ, 2547)

2. Buttress root เป็นรากที่เกิดจากปุ่มรากของข้อที่อยู่ต่ำกว่ารากชนิดแรก มีสีขาวอวบ ขนาดใหญ่กว่ารากชนิดอื่นๆ ทำหน้าที่ดูดน้ำ ธาตุอาหาร และพยุงลำต้น แข็งแรงมากกว่า superficial root รากชนิดนี้มักงอกทำมุม 45-60 องศากับผิวดิน มีความยาว 50-150 เซนติเมตร แตกแขนงน้อย แต่เมื่ออายุรากมากขึ้นมักจะแตกแขนงที่บริเวณปลายราก (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ฯ, 2547)

3. Deep root หรือ rope system เป็นรากที่เกิดบริเวณเดียวกับ buttress root หรือ บริเวณที่ต่ำกว่า รากชนิดนี้จะหยั่งลึกลงไปตามแนวดิ่ง มักสานรวมกันเป็นกลุ่มๆ ละ 15-20 ราก ในแต่ละกลุ่มสามารถทนน้ำหนักได้ 2.5-12 กิโลกรัม จึงมีหน้าที่หลักในการช่วยพยุงลำต้น แต่ละรากอาจมีความยาวได้มากถึง 4-6 เมตร ภายใต้อสภาพแล้งรากนี้ช่วยดูดน้ำจากดินชั้นล่างได้มาก และรวดเร็ว พันธุ์อ้อยที่มีรากชนิดนี้มากจึงทนต่อสภาพแล้งได้ดี (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ฯ, 2547)

ลำต้น อ้อยสามารถขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยใช้ส่วนของลำต้น (cutting, set หรือ seed cane) ลำต้นอ้อยมีอยู่ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่อยู่ใต้ดินและเหนือดิน ส่วนที่อยู่ใต้ดินเรียกว่า ตอ หรือเหง้า ส่วนที่อยู่เหนือดินมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เป็นส่วนที่รองรับใบและช่อดอก บริเวณ ลำต้นเหนือดินจะสังเกตเห็นข้อและปล้องอย่างชัดเจน จำนวนข้อและปล้องจะแตกต่างกันตาม พันธุ์ อายุ สภาพดินและอากาศ ข้อเป็นส่วนรองรับใบ เมื่อใบหลุดจะปรากฏรอยกาบใบให้เห็น ความยาวระหว่างปล้องจากรอยกาบใบหนึ่งถึงรอยกาบใบถัดไป เรียกรวมกันว่า ข้อปล้อง (joint) อ้อยแต่ละพันธุ์มีรูปร่างปล้องและการจัดเรียงแตกต่างกัน (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ฯ, 2547)

บริเวณใต้ออยกาบใบมีวงแหวนที่มีซี่ซี่หรือไขเกาะอยู่หนากว่าส่วนอื่นของลำต้น เรียกว่า วงไข เหนือรอยกาบใบมีวงแหวนที่มีปุ่มซึ่งเป็นแหล่งให้กำเนิดรากเรียกว่า ปุ่มราก (root primodia) ปกติจะเกิดเป็นแถวแต่บางพันธุ์อาจไม่เรียงเป็นแถว เรียกววงแหวนของปุ่มรากนี้ว่า บริเวณเกิดราก (root ring หรือ root band) เหนือบริเวณเกิดรากเป็นวงเจริญหรือวงแหวน การตั้งของลำต้นอ้อย ภายหลังจากล้ม เกิดจากวงเจริญของลำต้นด้านล่างและด้านบนยึดตัวไม่เท่ากัน โดยด้านล่างยึด ตัวมากกว่าด้านบนทำให้ลำต้นตั้งตรงขึ้นมาได้อีกครั้งหนึ่ง ในแต่ละข้อมี 1 ตา เกิดสลับกันตามข้อ ด้านบนลำต้น บางครั้งอาจไม่มีตาหรือมีมากกว่าหนึ่งตาก็ได้ เมื่อปลูกอ้อยด้วยท่อนพันธุ์ตาอ้อยจะ เจริญเป็นส่วนของลำต้น ในอ้อยบางพันธุ์ที่บริเวณเหนือตาอาจปรากฏร่องเรียกว่า ร่องตา (bud furrow หรือ eye groove) การเกิดร่องตาอาจยาวหรือสั้น ลึกหรือตื้น ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของ พันธุ์อ้อย (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ฯ, 2547)

ที่ผิวลำต้นอาจปรากฏรอยแตกตื้นหรือรอยลายงา และรอยแตกลึก การเกิดรอยแตกตาม ลำต้นขึ้นอยู่กับพันธุ์อ้อย แต่สภาพแวดล้อมก็มีผลต่อการเกิดรอยแตกนี้ด้วย รอยแตกตื้นมักเกิดถัด ลงมาจากวงไข มักเป็นรอยเชื่อมต่อกันเป็นแผ่นเรียกว่า รอยตกละเอียด (corky patch) ส่วนรอย แตกลึกเป็นรอยแตกที่เกิดลึกลงไปในเรื่องของส่วนลำต้น บางพันธุ์ที่มีรอยแตกนี้มากๆ จะแตก ตลอดปล้อง สภาพแวดล้อมมีส่วนส่งเสริมการเกิดรอยแตกชนิดนี้มาก โดยเฉพาะเมื่ออ้อย เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ฯ, 2547)

ใบ เกิดเรียงสลับกันบนลำต้น บางพันธุ์อาจเกิดเวียนรอบลำต้น ใบติดกับข้อของลำต้นตรง ส่วนของฐานใบ โครงสร้างของใบประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ กาบใบ และแผ่นใบ กาบใบไม่มี เส้นกลางใบ มักมีสีเขียวอ่อนหรือม่วงแดง การที่กาบใบมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณ เม็ดสีในกาบใบของอ้อยแต่ละพันธุ์ สีของแผ่นใบมีตั้งแต่สีเขียวแกมเหลืองจนถึงเขียวเข้มแตกต่า กันตามพันธุ์และความอุดมสมบูรณ์ของดิน ขอบแผ่นใบมีลักษณะเป็นฟันเลื่อยเล็กทำให้ใบอ้อยมี ความคมมาก รอยต่อระหว่างกาบใบและแผ่นใบด้านในมีลิ้นใบ (ligule) เป็นแผ่นบางยื่นออกมา จากกาบใบ และมีหูใบ (auricle) ยื่นแหลมออกมาเหนือส่วนของกาบใบ ด้านหลังรอยต่อระหว่าง กาบใบกับแผ่นใบมีพื้นที่คล้ายสามเหลี่ยมทั้งสองด้านเรียกว่า dewlap (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ฯ, 2547)

ดอก ช่อดอกย่อยเรียกว่า arrow หรือ tassel เป็นแบบ panicle เกิดที่ปลายยอดของลำต้น ลักษณะช่อดอกมีแกนกลาง ก้านแขนงแรกแตกออกจากแกนกลาง และก้านแขนงที่สองแตกออกจากก้านแขนงแรก ก้านแขนงที่สองนี้เป็นตำแหน่งของกลุ่มดอกย่อย (floret) 2 ดอก อับเกสรจะแตกออกมีละอองเกสรตัวผู้สีเหลือง (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

เนื่องจากอ้อยเป็นพืชที่ไวต่อช่วงแสง ถูกจัดเป็นพืชวันสั้น (short day plant) จะออกดอกเมื่อเวลากลางวันสั้นกว่ากลางคืน อ้อยที่ปลูกในประเทศไทยจึงมักจะออกดอกในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม อ้อยบางพันธุ์ต้องการเวลากลางคืนที่ยาวมากจึงไม่ออกดอกเลย นอกจากปัจจัยด้านพันธุ์อ้อยและช่วงแสงแล้วยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับการออกดอกของอ้อย ได้แก่ อายุอ้อย อุณหภูมิ และความชื้น การชักนำของปัจจัยสภาพแวดล้อมเหล่านี้ จะทำให้ตาส่วนยอดของอ้อยที่ปกติเจริญเป็นใบและลำต้นเปลี่ยนแปลงเป็นตาที่ให้กำเนิดดอก ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ต้องใช้เวลาเตรียมการหลายสัปดาห์ก่อนที่จะช่อดอกจะแทงโผล่พ้นจากยอดออกมาให้เห็น ปล้องและกาบใบส่วนที่เป็นฐานของช่อดอกมีความยาวมากกว่าปกติ ในระยะสุดท้ายจะมีใบที่ห่อหุ้มช่อดอกมีขนาดเล็กและสั้นกว่าใบอื่นๆ เรียกว่า ใบธง (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

ระยะการเจริญเติบโต

อ้อยมีระยะการเจริญเติบโตที่แต่ละระยะต้องการปัจจัยที่จำเป็นต่อการเติบโตแตกต่างกัน ระยะการเจริญเติบโตของอ้อยแบ่งได้เป็น 4 ระยะ ดังนี้

1. ระยะงอก (germination phase) เริ่มตั้งแต่ปลูกจนถึงหน่อโผล่พ้นดิน ใช้เวลา 2-3 สัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ สภาพของท่อนพันธุ์และสภาพแวดล้อม ปัจจัยภายนอกที่เหมาะสมต่อการงอก เช่น มีแสงแดดพอประมาณ ควรได้รับน้ำน้อยแต่บ่อยครั้ง และได้รับปุ๋ยพอประมาณ โดยเฉพาะไนโตรเจนและโพแทสเซียม ความสมบูรณ์ของท่อนพันธุ์มีความสัมพันธ์กับความงอก ท่อนพันธุ์ที่ได้รับน้ำและธาตุอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจนอย่างสมบูรณ์จะงอกได้ดีกว่า ทำให้ต้นอ่อนเติบโตเร็ว และตั้งตัวได้ดีกว่าท่อนพันธุ์ที่ขาดธาตุอาหาร ระยะงอกเป็นตัวกำหนดจำนวนกอต่อไร่ ถ้าความงอกดีก็จะมีจำนวนกอต่อไร่มาก ซึ่งมีผลต่อผลผลิตอ้อยเมื่อเก็บเกี่ยว (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

2. ระยะแตกกอ (tillering phase) เป็นลักษณะพิเศษของอ้อย เริ่มตั้งแต่อายุ 2-4 เดือน การแตกกอเกิดจากตาอ้อยที่อยู่บริเวณลำต้นใต้ดิน ทำให้ลำต้นหรือหน่อที่เกิดขึ้นภายหลังอยู่ใกล้ผิวดินหรือลอยขึ้น ดังนั้นลักษณะตอลอยจะปรากฏเด่นชัดขึ้นในอ้อยต่อหลังๆ การเจริญเติบโตในระยะนี้ต้องการแสงแดดจัด อุณหภูมิสูงและต้องการน้ำมากกว่าระยะงอก ในระยะนี้อ้อยต้องการปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมากขึ้น ดังนั้นการใส่ปุ๋ยแต่งหน้าควรทำในช่วงนี้ จำนวนหน่ออ้อยที่แตกในระยะนี้จะเหลือลำต้นที่สามารถเก็บเกี่ยวเป็นผลผลิตได้เพียงครั้งเดียวโดยประมาณเมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยว ระยะนี้เป็นตัวกำหนดจำนวนลำต่อกอ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ฯ, 2547)

3. ระยะย่้างปล้อง (elongation phase) เป็นระยะที่ต่อเนื่องจากระยะแตกกอ เริ่มตั้งแต่อายุ 3-4 เดือนเป็นต้นไป อ้อยเจริญเติบโตได้เร็วที่สุดเมื่ออายุ 6-7 เดือน ต้องการแสงแดดจัดเพื่อการสังเคราะห์แสงให้ได้มากขึ้น อุณหภูมิสูง มีความต้องการน้ำมากกว่าระยะอื่นๆ และต้องการปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมากที่สุด การขาดน้ำและปุ๋ยในระยะนี้จะทำให้ปล้องสั้น น้ำหนักต่อลำอ้อยลดลง ทำให้ผลผลิตของอ้อยทั้งหมดลดลงด้วย การเจริญเติบโตในช่วงนี้จะมีมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ฯ, 2547)

4. ระยะแก่และสุก (maturity and ripening phase) ระยะแก่ คือ ระยะที่อ้อยมีการเจริญเติบโตช้ามาก สังเกตได้จากใบที่ส่วนยอดจะอยู่ชิดกันมากขึ้น จนกระทั่งดูลำอ้อยออกมาจากจุดเดียวกัน ปล้องที่อยู่ส่วนยอดของลำต้นสั้นลง ใบมีสีเหลืองอมเขียว ปริมาณน้ำตาลที่สังเคราะห์แสงได้จะสะสมไว้ในลำต้นมากขึ้นจนกระทั่งเข้าสู่ระยะสุก เป็นระยะที่อ้อยมีการสะสมน้ำตาลสูงสุด ระยะนี้ต้องการแสงแดดจัดเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงหรือสร้างน้ำตาลสะสมในลำต้น และต้องการอุณหภูมิต่ำหรืออากาศหนาวเย็นซึ่งจะช่วยส่งเสริมการสร้างน้ำตาลและเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากใบไปยังลำต้น ถ้าอากาศหนาวติดต่อกันเป็นเวลานานจะส่งเสริมให้อ้อยหวานยิ่งขึ้น ระยะนี้ต้องการน้ำน้อยกว่า 3 ระยะแรก สภาพน้ำน้อยจะช่วยทำให้อ้อยมีความหวานมากขึ้น อ้อยไม่ต้องการปุ๋ยไนโตรเจนในระยะนี้ หากมีปุ๋ยไนโตรเจนเหลืออยู่ในดินมากจะทำให้ความหวานน้อยลง (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ฯ, 2547)

อ้อยพันธุ์ LK92-11

อ้อยพันธุ์ LK92-11 เป็นพันธุ์อ้อยที่เกิดจากการคัดเลือกหาพันธุ์อ้อยที่สามารถปรับตัวได้ดีในสภาพการปลูกต่างๆ เป็นลูกผสมที่ได้จากแม่พันธุ์ K84-200 และพ่อพันธุ์อ้อยเขียว มีลักษณะประจำพันธุ์ คือแตกกอมาก (6-8 ลำ/กอ หรือ 13,000 ลำ/ไร่) มีขนาดลำปานกลาง เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.6-2.8 เซนติเมตร ลักษณะลำสีเขียว ทรงกระบอก เนื้อใล้จุด การเติบโตเร็ว แต่จะเจริญเติบโตช้าในช่วงแรก ทรงกอกว้างปานกลาง หักล้มปานกลาง ออกดอกปานกลาง ทนแล้งปานกลาง กาบใบหลุดร่วงง่าย ใบสีเขียว ให้ผลผลิต 16-19 ตันต่อไร่ มีความหวาน 11-13 CCS เหมาะกับปลูกในดินร่วน ดินร่วนทราย และดินเหนียว และปลูกข้ามแล้ง ต้านทานปานกลางต่อโรคเหี่ยวเน่าแดง โรคกอตะไคร้ โรคเส้ดำ โรคใบจุดเหลือง โรคราสนิม ต้านทานปานกลางต่อหนอนเจาะลำต้นและแมลงหิวข้าว (จิรวัดน์, 2549; วิทยุ, ม.ป.ป.)

บทบาทของธาตุอาหารพืชที่มีต่ออ้อย

อ้อยมีความต้องการธาตุอาหารที่อยู่ในดินอย่างมากและมีโอกาสสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ได้จากการทำการเกษตรเพียงแค่ครั้งเดียว ทำให้ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ ธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่ออ้อย ได้แก่

ไนโตรเจน (Nitrogen; N) ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นส่วนใหญ่ เป็นธาตุอาหารหลักที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของอ้อย ไนโตรเจนช่วยเพิ่มความสามารถในการสร้างแหล่งสะสมอาหาร เช่น พื้นที่ใบ ดัชนีพื้นที่ใบ การปิดปากใบและอัตราการสังเคราะห์แสง การเพิ่มปริมาณไนโตรเจนทำให้เกิดหน่อใหม่และผลผลิตที่มีลักษณะเพิ่มขึ้น เช่น ความยาวลำ เส้นผ่านศูนย์กลาง และจำนวนที่ตัดส่งโรงงาน อาการขาดธาตุไนโตรเจนทำให้ใบมีสีเหลือง การเจริญเติบโตช้า เส้นผ่านศูนย์กลางลำลดลง แตกกอน้อย การหลุดร่วงของใบเร็วขึ้น พืชดูดไนโตรเจนในรูปของ NH_4^+ และ NO_3^- พืช C_4 เช่นอ้อยสามารถดูดซึมไนโตรเจนได้ดีกว่าพืช C_3 และในสภาวะที่มีน้ำเพียงพอพืชจะดูดไนโตรเจนในรูป NO_3^- อ้อยที่กำลังเจริญเติบโตมีความต้องการไนโตรเจนอย่างสม่ำเสมอ แต่เมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยวถ้าอ้อยได้รับไนโตรเจนมากเกินไป จะทำให้อ้อยยังคงเจริญเติบโตต่อไป ซึ่งเป็นผลทำให้มีน้ำตาลซูโครสในน้ำอ้อยน้อย การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระยะแรกของการปลูกอ้อย (อายุไม่เกิน 3 เดือน) จะไม่กระทบกระเทือนถึงความหวานของอ้อยเมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยวขณะอ้อยอายุ 11-12 เดือน (กรมวิชาการเกษตร, 2523; Hunsigi, 1993)

ฟอสฟอรัส (Phosphorus; P) เป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อพืชอีกชนิดหนึ่ง ฟอสฟอรัสในอ้อยมีมากในส่วนที่มีการเจริญเติบโตและพบว่ามีอยู่ในใบแห้งน้อยกว่าใบสด ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สำคัญอย่างยิ่งในด้านการงอกของอ้อย ถ้ามีฟอสฟอรัสในดินเพียงพอ รากและหน่อจะเจริญอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าดินขาดฟอสฟอรัสอย่างรุนแรงจะพบว่า หน่ออ่อนที่แทงขึ้นมาจะตายก่อนที่จะพ้นผิวดิน ฟอสฟอรัสช่วยให้รากและลำต้นอ้อยแข็งแรง และการขาดฟอสฟอรัสทำให้การแตกหน่อและการหยั่งรากไม่ดี รากจะเล็ก รากแขนงมีน้อยและไม่แข็งแรง การปิดปากใบช้าและปล้องมีขนาดหดสั้นและเล็กลงอย่างรวดเร็วในระยะของการเจริญเติบโต ใบหดแคบลงและที่บริเวณปลายใบมีสีเขียวม่วงเน้นไปทางค่อนข้างแดง หรือมีสีเขียวอมน้ำเงินซึ่งเกิดจากการสะสมของแอนโทไซยานิน ฟอสเฟตที่สะสมอยู่ในพืชจะเรียกว่า energy currency มีความเกี่ยวข้องกับการสะสมพลังงาน ฟอสเฟต การขาดฟอสฟอรัสทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง และยังไปลดความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรต ฟอสฟอรัสมีความจำเป็นอย่างมากในการสร้างเนื้อเยื่อเจริญ ฟอสฟอรัสที่อยู่ในปล้องของอ้อยจะเคลื่อนย้ายในรูปสารอนินทรีย์และในลำของอ้อยจะมีความไวต่อธาตุฟอสฟอรัส พืชสามารถดูดฟอสฟอรัสในรูปของ H_2PO_4 และ HPO_4 ปุ๋ยฟอสเฟตจะช่วยเพิ่มผลผลิตของอ้อยโดยดูจากจำนวนของหน่อและความสูงของอ้อยเมื่อถูกตัดแล้ว (กรมวิชาการเกษตร, 2523; Hunsigi, 1993)

โพแทสเซียม (Potassium; K) เป็นธาตุพื้นฐานของอ้อยที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงและเคลื่อนย้ายโปรตีนรวมถึงคาร์โบไฮเดรต อ้อยเป็นพืชที่ต้องการโพแทสเซียมและยังจำเป็นในการสะสมน้ำตาลซูโครส การเคลื่อนย้ายน้ำตาล เพิ่มน้ำตาลน้ำอ้อยทำให้อ้อยมีคุณภาพดี ในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโต โพแทสเซียมจะเคลื่อนย้ายจากส่วนที่แก่ไปยังส่วนที่กำลังเจริญเติบโตซึ่งจะเป็นผลให้โพแทสเซียมที่มีอยู่ในใบแก่มีน้อยกว่าในใบอ่อน ดังนั้น ใบแก่จะแสดงอาการขาดโพแทสเซียมก่อน ใบอ่อนจะเป็นส่วนสุดท้ายที่จะแสดงอาการขาดโพแทสเซียม พบว่าการขาดโพแทสเซียมทำให้อ้อยแคะแกร็น ลำเล็ก เกิดการลดลงของการสังเคราะห์แสง โดยอาการขาดจะพบที่ใบแก่ก่อน โดยที่ขอบใบและปลายใบจะเป็นสีน้ำตาลและมีรอยไหม้เป็นจุดๆ ตรงกลางเป็นจุดแห้งตายจากปลายใบและขอบใบเข้ามาแกนกลางใบ ผิวของแกนกลางใบแก่ ด้านบนจะเป็นสีแดง และจะเป็นเฉพาะผิวชั้นบนเท่านั้น แตกต่างจากการเป็นโรคไส้แดง ซึ่งสีแดงจะเป็นในชั้นต่ำลงไปจากชั้นผิวใบอ่อนของอ้อยที่ขาดโพแทสเซียมจะเป็นสีเขียวเข้ม และใบอยู่ถัดลงมาจะเป็นสีเขียวอมเหลือง อ้อยถ้าขาดโพแทสเซียมโดยปกติจะมีน้ำตาลซูโครสในน้ำอ้อยน้อย (กรมวิชาการเกษตร, 2523; Hunsigi, 1993)

แคลเซียม (Calcium; Ca) แคลเซียมเป็นธาตุอาหารที่พบมากในส่วนที่กำลังเจริญเติบโต ทำหน้าที่ช่วยให้เซลล์ทำงานเป็นปกติ แคลเซียมมีบทบาทหลักในการทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ การสร้างแคลเซียมเพคเตต (calcium pectate) สามารถต่อต้านความเป็นพิษจากไฮดรอกไซด์อื่นๆ มีผลต่อความเป็นกรดต่างของดิน ส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ การขาดแคลเซียมจะปรากฏในใบ โดยใบจะมีลักษณะของการขาดคลอโรฟิลล์เป็นจุดๆ สีเขียวอ่อนหรือสีขาว และจะกลายเป็นสีน้ำตาลแดง การเจริญเติบโตลดลง ในอ้อยจะพบว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำของอ้อยเล็กลงที่ระยะของการเจริญเติบโต เปลือกน้มนุ่มและเปราะ ในรากที่ขาดธาตุนี้พบว่ามีการเปลี่ยนสีอย่างรวดเร็ว ถ้าขาดอย่างรุนแรงจะทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงักแล้วแห้งตาย (กรมวิชาการเกษตร, 2523; Hunsigi, 1993)

แมกนีเซียม (Magnesium; Mg) แมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ในใบ แมกนีเซียมมีการดูดซึมและเคลื่อนย้ายในพืชด้วยวิธีการไหลของมวล การขาดแมกนีเซียมคล้ายกับการขาดแคลเซียม คือทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง ใบอ่อนเป็นสีเขียวจาง ใบแก่มีจุดเขียวอ่อนและจุดนี้จะกลายเป็นสีน้ำตาล และเมื่อเป็นมากขึ้นดูคล้ายเป็นสนิมเหล็ก และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำของอ้อยลดลง ปล้องมีขนาดสั้นลงและมีสีน้ำตาล (กรมวิชาการเกษตร, 2523; Hunsigi, 1993)

กำมะถัน (Sulphur; S) กำมะถันเป็นส่วนประกอบในปุ๋ยหลายชนิด พืชดูดกำมะถันไปใช้ในรูปของ SO_4 กำมะถันมีความเกี่ยวข้องกับการสร้างคลอโรฟิลล์ การขาดกำมะถันมักจะเกิดในบริเวณที่ไม่มีการให้น้ำชลประทาน ดินมีอินทรีย์วัตถุน้อย มีการชะล้างมากและไม่ได้ใส่ปุ๋ยที่มีกำมะถัน การขาดกำมะถันมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต กำมะถันมีผลโดยตรงต่อการใช้ประโยชน์ของธาตุไนโตรเจน กำมะถันช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ไนเตรตรีดักเตส (Nitrate reductase) การขาดกำมะถันจะให้ผลคล้ายกันกับการขาดไนโตรเจนด้วย โดยสังเกตได้ที่ใบจะหดสั้นลง เป็นสีเหลืองอมเขียว ลำของอ้อยเล็กลงและลดการแตกหน่อของอ้อย (กรมวิชาการเกษตร, 2523; Hunsigi, 1993)

จุลธาตุ (Micronutrients) เป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อย ซึ่งโซเดียมเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับพืช C_4 รวมทั้งอ้อยด้วย โซเดียมช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ฟอสโฟอินอลไพรูเวตคาร์บอกซีเลส (Phosphoenolpyruvate carboxylase) คลอโรฟิลล์มีบทบาทเกี่ยวกับน้ำ การขาดธาตุ

สังกะสี ทองแดง โมลิบดีนัม และโบรอนทำให้ปล้องสั้นลง เกิดอาการคลอโรซิส (Chlorosis) ในใบ การขาดโมลิบดีนัมมีผลอย่างมากในกิจกรรมของเอนไซม์คะตะเลส (Catalase) และการขาดโบรอนจะมีผลต่อปริมาณซูโครสในลำอ้อย

เหล็ก (Iron; Fe) พืชใบเลี้ยงเดี่ยวตอบสนองต่อการขาดธาตุเหล็กได้ง่ายกว่าพืชใบเลี้ยงคู่ เหล็กเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างในคลอโรพลาสต์และยังเป็นโคแฟกเตอร์ การขาดเหล็กในอ้อยนั้นไม่ค่อยพบเนื่องจากมีปริมาณธาตุเหล็กอย่างเพียงพอในระยะเริ่มแรกของการปลูก การขาดเหล็กจะเกิดที่ใบอ่อนก่อน เกิดลักษณะของใบเหลืองระหว่างเส้นใบ เส้นใบเขียว (interveinal chlorosis) เนื่องจากการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ไม่เพียงพอและยังสัมพันธ์กับสารประกอบฮีมอีกด้วย (กรมวิชาการเกษตร, 2523; Hunsigi, 1993)

สังกะสี (Zinc; Zn) บทบาทของสังกะสีเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของฮอร์โมน ออกซินและเอนไซม์อื่นๆ การขาดสังกะสีทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของใบอ่อนโดยใบจะมีสีน้ำตาลอ่อนและม้วนงอปิดเป็นเกลียว มีผลต่ออ้อยและผลผลิตของน้ำตาลลดลงอย่างมาก การสะสมของฟอสฟอรัสที่มากเกินไปมีผลต่อการขาดสังกะสี และเหล็ก แมงกานีส โดยเฉพาะทองแดงความเข้มข้นสูงของเป็นสาเหตุของการขาดสังกะสี (กรมวิชาการเกษตร, 2523; Hunsigi, 1993)

แมงกานีส (Manganese; Mn) อ้อยต้องการแมงกานีสน้อยมาก ในอ้อยที่ขาดแมงกานีสจะพบอาการใบเหลืองระหว่างเส้นใบ เส้นใบเขียว (interveinal chlorosis) ถ้าขาดอย่างรุนแรงใบจะเป็นสีขาวซีดและต่อจากนั้นจะมีจุดสีน้ำตาลปนแดงในส่วนที่เป็นแนวยาวนั้นแล้วอ้อยจะแห้งตาย อัตราส่วนของ Mn/SiO_2 มีความสำคัญในการกำหนดผลผลิตและคุณภาพของอ้อย คือ ผลผลิตจะลดลงเมื่ออัตราส่วน Mn/SiO_2 เพิ่มขึ้น แม้ว่าอ้อยจะมีปริมาณน้ำตาลสูงก็ตาม (กรมวิชาการเกษตร, 2523; Hunsigi, 1993)

ทองแดง (Copper; Cu) การขาดทองแดงมักไม่ค่อยพบในดินที่เป็นด่างหรือมีปูนขาวมากเกินไป อาการขาดทองแดงในอ้อยจะเกิดอาการ droopy top คือ ใบจะบิดเป็นเกลียว อ่อนนุ่ม ไม่แข็งกระด้างและจะลู่ลงดิน ใบยอดที่ยังไม่คลี่ตามปกติเมื่อเอาใบสองดูจะเห็นสีเขียวเข้มๆ เป็นขีดสั้นๆ ตามทางยาวของใบ ลำของอ้อยจะนิ่มและเนื้อเป็นยางเคี้ยวยาก (กรมวิชาการเกษตร, 2523; Hunsigi, 1993)

โบรอน (Boron; B) โบรอนพบมากในส่วนยอดสุดของลำอ้อยซึ่งเป็นส่วนที่กำลังเจริญเติบโต บทบาทหลักของโบรอนเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายน้ำตาลผ่านไปยังเยื่อหุ้มเซลล์ในรูปของ sugar-borate และช่วยในเรื่องของคุณภาพของอ้อย เพิ่ม pol ในน้ำอ้อย ถ้าขาดโบรอนใบอ้อยจะม้วนงอและมีหยดน้ำเล็กๆ ออกจากผิวใบด้านบน ใบอ้อยมีจุดสีขาวเล็กๆ เรียงกันเป็นแนวนานกับแกนกลางใบ ส่วนยอดหยุดการเจริญเติบโต (กรมวิชาการเกษตร, 2523; Hunsigi, 1993)

ซิลิกอน (Silicon; Si) พบการสะสมซิลิกอนในชั้นเอนโดเดอร์มิส ลำต้น และราก มีการดูดซึมซิลิกอนในรูปของกรดซิลิซิก $[Si(OH)_4]$ ซึ่งเป็นรูปที่แอคทีฟ มีโครงสร้างที่ช่วยป้องกันโรคและแมลง ซิลิกอนช่วยเพิ่มความแข็งแรงของผนังเซลล์ และยังมีความเกี่ยวข้องกับน้ำและประสิทธิภาพในการใช้น้ำ พบว่าซิลิกอนที่ความเข้มข้นต่ำยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อินเวอร์เทส (Invertase) และระดับความเป็นกรดของเอนไซม์ฟอสฟาเตส (Phosphatase) และยังช่วยเพิ่มพื้นที่ใบในสังเคราะห์แสง การแตกหน่อของอ้อยได้ดีกว่าฟอสฟอรัสและช่วยลดความเป็นพิษของ Al อ้อยที่ขาดซิลิกอนใบจะตกกระ (leaf freckle) ทำให้อ้อยได้ผลผลิตและน้ำตาลต่ำลง (กรมวิชาการเกษตร, 2523; Hunsigi, 1993)

โมลิบดีนัม (Molybdenum; Mo) การขาดโมลิบดีนัมของอ้อยยังไม่ทราบเป็นที่แน่ชัดนัก แต่อ้อยที่ขาดโมลิบดีนัมใบแก่จะมีทางสีเหลืองกว้าง 1-3 มิลลิเมตร ยาว 2-10 มิลลิเมตร และจะมีมากที่ปลายใบ ต่อมารอยนี้จะกลายเป็นสีแดงอ่อน และเป็นแผลแห้งตายไป มีการค้นพบว่าช่วยเพิ่มปริมาณน้ำตาลโดยไปยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ ATPase และ glucose-6-phosphatase (กรมวิชาการเกษตร, 2523; Hunsigi, 1993)

อะลูมิเนียม (Aluminum; Al) อ้อยที่ปลูกในดินที่เป็นกรดจัด ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมเป็นสิ่งสำคัญอันดับหนึ่งในการเจริญเติบโตของอ้อย (กรมวิชาการเกษตร, 2523; Hunsigi, 1993)

สารฮิวมิก

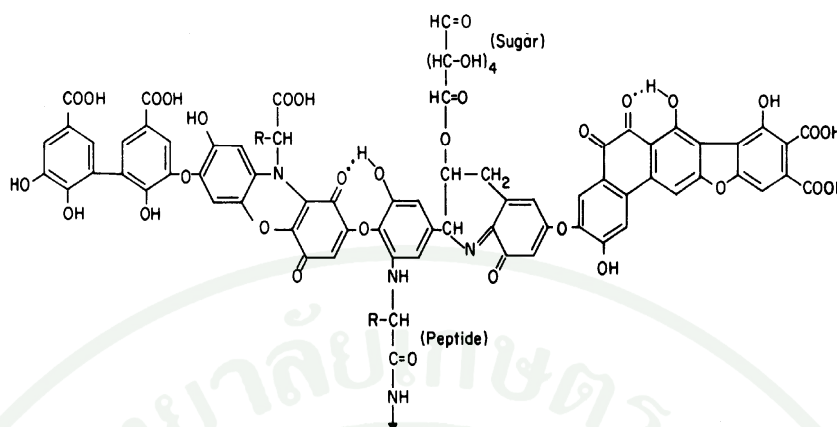
อินทรีย์วัตถุในดินอาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่เป็นสารฮิวมิก (humic substances) กับส่วนที่ไม่ใช่สารฮิวมิก (nonhumic substances)

ในส่วนของสารฮิวมิกนั้น เป็นส่วนที่มีโครงสร้างซับซ้อน รูปร่างไม่แน่นอน (amorphous) และคงทนต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มาก โครงสร้างหลักประกอบขึ้นมาจากด้วยสารประกอบ aromatic compound เป็นแกนทำให้สลายตัวได้ยาก บางส่วนก็มีสารประกอบพวกโปรตีน เพปไทด์ กรดอะมิโนและพอลิแซ็กคาไรด์เข้ามาเกาะเป็นอีกส่วนหนึ่งของโมเลกุล สารฮิวมิกมีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลดำ มีสมบัติเป็นคอลลอยด์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโมเลกุลประมาณ 30×10^{-10} ถึง 100×10^{-10} เมตร สารฮิวมิกนี้ยังอาจแบ่งย่อยออกเป็น 3 ส่วนคือ ฮิวมิน (humic) กรดฟุลวิก (fulvic acid) และกรดฮิวมิก (humic acid) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพี, 2548)

ฮิวมิน เป็นสารฮิวมิกที่ไม่ละลายทั้งในสารละลายเบสและกรด มีความหนาแน่นมากและจับกับดินเหนียวด้วยพันธะที่แข็งแรง (Stevenson, 1994)

กรดฟุลวิก เป็นสารฮิวมิกที่ละลายได้ทั้งในสารละลายเบส กรดและน้ำ มีรูปร่างไม่แน่นอน สีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ (Tan, 2003)

กรดฮิวมิก เป็นสารฮิวมิกที่สามารถละลายได้ในสารละลายเบส แต่ไม่ละลายในสารละลายกรดและในน้ำ กรดฮิวมิกมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีดำ (Hatcher *et al.*, 1981; Tan, 2003) จัดเป็นส่วนที่มีโครงสร้างซับซ้อนมากและย่อยสลายได้ยาก มีขนาดโมเลกุลค่อนข้างใหญ่ โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 10,000-100,000 สารประกอบพวกนี้มักรวมตัวขึ้นมาโดยกระบวนการ condensation ของสารประกอบต่างๆ ที่หลากหลาย ทำให้ลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลผันแปรไปได้มากไม่ค่อยซ้ำกัน สารฮิวมิกเป็นส่วนของอินทรีย์วัตถุในดินที่ทำปฏิกิริยาได้ดีในธรรมชาติ สารนี้มักเกาะยึดอยู่กับเซลล์จุลินทรีย์ หรืออนุภาคของสารอนินทรีย์ต่างๆ เช่น ดูดซับอยู่กับอนุภาคดินเหนียว โดยอาศัยพวก polyvalent cation เป็นตัวเชื่อมโยง เช่น Ca^{2+} หรือ Fe^{3+} หรือเกาะยึดกับสารประกอบพวก hydrous oxide เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพี, 2548)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของกรดฮิวมิก (Stevenson, 1994)

จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของกรดฮิวมิก (ภาพที่ 1) ภายในโมเลกุลของกรดฮิวมิกประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญคือ หมู่ฟีนอลิกไฮดรอกซิล (phenolic OH groups) และโครงสร้างควิโนน (quinine structures) โดยมีไนโตรเจน (N) และออกซิเจน (O) เป็นสะพาน (bridge) เชื่อมส่วนต่างๆ และมีหมู่คาร์บอกซิลิก (COOH groups) กระจายอยู่ในอะโรมาติกที่มีโครงสร้างแบบวงแหวน (aromatic rings) หลายๆ แห่งด้วย (ปิยะ, 2553)

องค์ประกอบที่สำคัญของกรดฮิวมิก ประกอบด้วยคาร์บอน (C) ร้อยละ 27.2 ไฮโดรเจน (H) ร้อยละ 4.4 ไนโตรเจน (N) ร้อยละ 2.4 ความเป็นกรดทั้งหมด (total acidity) หมู่คาร์บอกซิลิก (COOH) และฟีนอลิกไฮดรอกซิล (phenolic OH) คีโตนิก (ketonic C=O) และควิโนนอยด์ (quinoid C=O) จำนวน 8.1 4.8 3.3 2.2 และ 2.1 มิลลิสมมูลต่อกรัมตามลำดับ และส่วนที่เป็นขี้เถ้า (ash) หลังการเผาร้อยละ 7.9 (ปิยะ, 2553)

กรดฮิวมิกเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน ทั้งสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยาและสภาพสิ่งแวดล้อมในดินได้ไม่มากนัก

1. สมบัติทางกายภาพของดิน

กรดฮิวมิกทำให้ดินที่มีสีจางมีสีคล้ำมากขึ้นจึงทำให้ดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดีขึ้น ดินที่มีโครงสร้างดินไม่ดีมีโครงสร้างดีขึ้น โดยช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินทำให้ดินที่มีความ

หนาแน่นมีความแน่นที่บ้น้อยลง เนื้อดินร่วนซุยอุ้มน้ำได้มากขึ้นและถ่ายเทอากาศได้ดีขึ้นด้วย ปรับปรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์โดยสลายตัวของกรดฮิวมิก ป้องกันการพังทลายของดินจากการไหลบ่าของน้ำจากการมีสมบัติเป็นคอลลอยด์ และป้องกันการสูญเสียธาตุอาหารจากการถูกชะล้างโดยเฉพาะในดินทราย (ปิยะ, 2553)

2. สมบัติทางเคมีของดิน

กรดฮิวมิกช่วยเพิ่มความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity; CEC) ของดิน ทั้งนี้เพราะกรดฮิวมิกเป็นสารอินทรีย์คอลลอยด์ (organic colloids) ที่มีประจุลบสูง (หรือมีค่า CEC สูง) ทำให้ดินบางชนิดที่มี CEC ต่ำ เช่น ดินเหนียวที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินต่ำ สามารถดูดซับธาตุในรูปไอออนบวกไว้ได้ในปริมาณมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ประจุบวกของไอออนในรูปธาตุอาหารพืชชนิดต่างๆ เช่น NH_4^+ K^+ Ca^{2+} Mg^{2+} Fe^{2+} Mn^{2+} ฯลฯ ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียไปโดยกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการชะละลายในดิน และพืชยังสามารถดูดใช้ประโยชน์ได้โดยง่าย (ปิยะ, 2553)

กรดฮิวมิกช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงระดับ pH (buffering capacity) ของดิน มิให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเร็วเกินไป จนถึงระดับที่อาจมีผลในทางลบต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น การใช้ปุ๋ยในปริมาณมากไป เพื่อยกระดับ pH ของดินกรดที่มี CEC ต่ำ อาจทำให้ดินมีค่า pH สูงขึ้นมากเกินไปและหรือสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และยังคงทำให้พืชดูดใช้ธาตุอาหารพืชบางชนิด เช่น เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ได้น้อยลงจนอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการได้ด้วย นอกจากนั้น การใช้กรดฮิวมิก ยังพบว่าสามารถแก้ปัญหาดินเค็มบางชนิดได้ไม่มากนัก (ปิยะ, 2553)

กรดฮิวมิกยังช่วยลดความเป็นกรดและความเป็นด่างของดิน ทำหน้าที่เป็นตัวคีเลต (chelator) ตามธรรมชาติสำหรับไอออนโลหะภายใต้สภาพที่เป็นด่างและส่งเสริมการดูดซึมผ่านทางราก อุดมไปด้วยสารอินทรีย์และแร่ธาตุต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช กักเก็บปุ๋ยอินทรีย์ที่ละลายได้ด้วยน้ำไว้บริเวณรากและลดการชะละลายได้ เพิ่มการดูดซึมธาตุไนโตรเจน ลดการเกิดปฏิกิริยาของฟอสฟอรัสกับแคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม และอะลูมิเนียมและปลดปล่อยออกมาในรูปที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้และเป็นประโยชน์ต่อพืช ปลดปล่อยก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์จากแคลเซียมคาร์บอเนตในดินซึ่งจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของพืช ลดการเกิดคลอโรซิสเนื่องจากการขาดธาตุเหล็กในพืช และช่วยลดความเป็นพิษในดิน (ปิยะ, 2553; HuminTech, 2011)

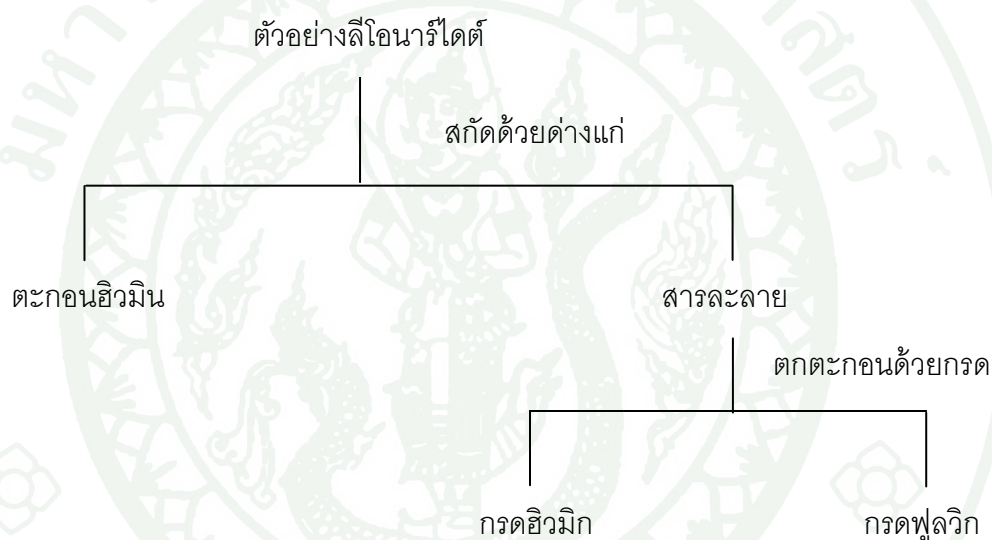
3. สมบัติทางจุลชีววิทยา

กรดฮิวมิกในดินหรือที่ใส่ลงไปในดิน จะมีผลต่อการปรับปรุงคุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของดินโดยเพิ่มจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ และช่วยให้จุลินทรีย์ดินมีกิจกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากยิ่งขึ้น เพราะกรดฮิวมิกเป็นสารอาหารของจุลินทรีย์หลายชนิด โดยเฉพาะเป็นแหล่งที่มาที่สำคัญของฟอสฟอรัส และคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์ดิน จึงมีผลทางอ้อมต่อการเกิดกิจกรรมโดยกระบวนการต่างๆ ของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการแปรสภาพของสารประกอบในรูปอินทรีย์ในโตรเจนและอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน นอกจากนั้นการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ดินยังทำให้เกิดการขับเอนไซม์บางชนิดที่จะช่วยละลายแคลเซียม เหล็ก และฟอสฟอรัสให้แตกตัวออกมาจากสารประกอบในรูปแคลเซียมฟอสเฟตและเหล็กฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งต่อมาจะถูกกรดฮิวมิกดูดซับไว้โดยกระบวนการคีเลชัน (chelation) ในรูปที่พืชสามารถดูดใช้ได้ง่ายกว่าในรูปสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อนดังกล่าว (ปิยะ, 2553)

ช่วยกระตุ้นเอนไซม์พืชและเพิ่มผลผลิต โดยทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอินทรีย์ในหลากหลายกระบวนการทางชีววิทยา กระตุ้นการเจริญเติบโตของรากโดยเฉพาะการดูดซึมธาตุอาหาร เพิ่มกระบวนการหายใจของรากและพัฒนาการของราก ส่งเสริมการพัฒนาของคลอโรฟิลล์ น้ำตาลและกรดอะมิโนในพืชซึ่งจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสง เพิ่มความหนาของผนังเซลล์ของผลและยืดเวลาในการเก็บรักษา เพิ่มอัตราการงอกและควมมีชีวิตของเมล็ด กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชโดยการเร่งการพัฒนาของเซลล์ เพิ่มอัตราการพัฒนาระบบราก และเพิ่มน้ำหนักแห้งของผล เพิ่มคุณภาพผลผลิต ปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของผลและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลผลิต (HuminTech, 2011)

การสกัดกรดฮิวมิก

การสกัดกรดฮิวมิก (ภาพที่ 2) ทำได้โดยใช้สารละลายต่างแก่ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ซึ่งจะสกัดได้สารละลายผสมของกรดฮิวมิกและกรดฟุลวิกออกมา หลังจากนั้นจึงตกตะกอนกรดฮิวมิกด้วยสารละลายกรดแก่ โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ปรับ pH เป็น 1 ก็จะได้ตะกอนของกรดฮิวมิกออกมา ซึ่งตะกอนกรดฮิวมิกที่ได้มานี้จะอยู่ในรูปของเกลือฮิวเมต (Humate) และสารละลายสีเหลืองคือ กรดฟุลวิก ส่วนฮิวมินจะไม่สามารถละลายได้ทั้งในสารละลายต่างและกรด (IHSS, 2008)



ภาพที่ 2 วิธีการสกัดกรดฮิวมิกจากลีโอนาร์ไต์ (IHSS, 2008)

ฮิวมิกถูกพบในหลายแหล่ง เช่น ปุ๋ย ฟิท ถ่านหินลิกไนต์ โดยเฉพาะพบในลีโอนาร์ไต์ ซึ่งลีโอนาร์ไต์เป็นแหล่งที่มีปริมาณกรดฮิวมิกมากที่สุดแหล่งหนึ่ง พบมากถึง 85% (IHSS, 2008)

ลีโอนาร์ไต์

ลีโอนาร์ไต์ (Leonardite) เป็นถ่านหินเกรดต่ำที่ถูกออกซิไดต์ตามธรรมชาติ มีลักษณะนุ่ม ไม่แข็งตัว มีสีน้ำตาลอ่อน ถูกค้นพบในปี 1919 โดย Leonard Dave จากมหาวิทยาลัย North Dakota ลีโอนาร์ไต์ถูกพบใน North Dakota, Utah และ New Mexico โดยพบเหนือผิวดินขึ้นมาในชั้นของลิกไนต์ (Lignite) (IHSS, 2008; Dailey, 1999)

มีสองทฤษฎีที่พูดถึงเกี่ยวกับการเกิดแร่ลิโอนาไดต์ ทฤษฎีแรกเกิดจากถ่านหินลิกไนต์ที่ถูกออกซิไดต์ พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับลิกไนต์ ลิโอนาไดต์มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ 30-35% ในขณะที่ลิกไนต์มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบเพียง 25-30% และทฤษฎีที่สองเกิดจากการผุพังตามธรรมชาติของถ่านหินพีท ลิกไนต์ และสับบิทูมินัสที่ถูกยกตัวขึ้นมา แล้วถูกออกซิไดต์ตามธรรมชาติ และต่อมาเกิดทับถมกันเป็นชั้นๆ (Dailey, 1999; วิวัฒน์ และคณะ, 2552) และพบว่าในลิโอนาไดต์มี กรดฮิวมิก กรดฟุลวิกและฮิวมิน (IHSS, 2008; Dailey, 1999)

ในประเทศไทยพบว่ามีการทำเหมืองเพื่อขุดเอาถ่านลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะในแหล่งถ่านหินลิกไนต์ที่เหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และมีผลพลอยได้จากการผลิตซึ่งไม่สามารถนำมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าได้ ภายหลังพบว่าคือลิโอนาไดต์ (Leonardite) (วิวัฒน์ และคณะ, 2552) และสามารถนำมาสกัดเป็นกรดฮิวมิกได้

บทบาทของสารฮิวมิกที่มีต่อพืช

Govindasmy and Chandrasekaran (1992) รายงานว่าการให้กรดฮิวมิกที่ 6 g/m^2 สามารถเพิ่มผลผลิตของอ้อยและปริมาณน้ำตาลได้เมื่อเปรียบเทียบกับอ้อยที่ไม่ได้ใส่กรดฮิวมิก และเมื่อนำแผ่นใบและกาบใบมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพบว่าปริมาณธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้น

ในข้าวสาลีพบว่าการให้สารฮิวมิกทางใบสามารถเพิ่มการดูดซึมธาตุอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม ทองแดง และสังกะสี อีกทั้งยังเพิ่มมวลน้ำหนักแห้งได้ (Asik *et al.*, 2009; Katkat *et al.*, 2009; Shaaban *et al.*, 2009) และให้ผลเช่นเดียวกันในข้าวบาร์เลย์ กล่าวคือ สารฮิวมิกสามารถเพิ่มการดูดซึมไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมได้ (Ayuso *et al.*, 1996)

การศึกษาลดผลผลิตและคุณภาพของแตงโม พบว่าการให้กรดฮิวมิกที่ 6 L/fedden ($1 \text{ fedden} = 4,200 \text{ m}^2$) ช่วยเพิ่มผลผลิตของแตงโมและปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมในใบได้ (Salman *et al.*, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ferrara and Brunetti (2010) ที่รายงานว่าผลของกรดฮิวมิกช่วยเพิ่มขนาดและน้ำหนักของผลเบอร์รี่

Tan and Nopamornbodi (1979) รายงานว่าการรดฮิวมิกที่ความเข้มข้น 640 ppm สามารถเพิ่มความยาวของรากและยอดในเมล็ดข้าวโพดที่เพาะไว้เป็นเวลา 5 วันได้ และยังพบปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในยอดอีกด้วย เช่นเดียวกับการศึกษาของ Khaled and Fawy (2011) ในข้าวโพดที่พบว่า การให้กรดฮิวมิกในรูปของแข็งทางดินเพิ่มการดูดซึมไนโตรเจน และในรูปของเหลวโดยพ่นทางใบพบการดูดซึมของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม ทองแดง และสังกะสีที่เพิ่มขึ้น

Virgine and Singaram (2005) รายงานผลการศึกษาราดูอาหารที่เป็นประโยชน์และผลผลิตของมะเขือเทศโดยการใส่กรดฮิวมิก พบว่าพืชสามารถดูดซึมไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสีได้มากขึ้น และพบเหล็กที่อยู่ในรูป Fe^{2+} มีการสร้างเหล็กคีเลตที่พืชนำไปใช้ได้ง่ายและผลผลิตของมะเขือเทศที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

Ece *et al.* (2007) ได้ศึกษาผลของลิโอนาไดต์ต่อผลผลิตของถั่ว (Climbing bean) และสมบัติของดิน พบว่าลิโอนาไดต์สามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุฟอสฟอรัสในดิน และยังช่วยเพิ่มผลผลิตของถั่วอีกด้วย

สารปรับปรุงดิน

สารปรับปรุงดิน (Soil conditioners) คือ สารที่ได้จากธรรมชาติหรือจากสารสังเคราะห์ที่นำมาใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติของดินทางกายภาพหรือทางเคมีอย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่าง เพื่อให้เหมาะสมต่อการเติบโตของพืช สารปรับปรุงดินโดยทั่วไปเป็นสารปรับปรุงสมบัติดินที่เน้นการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพหรือสมบัติทางฟิสิกส์ของดินมากกว่าสมบัติทางด้านอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สมบัติที่เกี่ยวกับโครงสร้างของดินให้มีสัดส่วนและความเหมาะสมต่อการเจริญของพืชมากยิ่งขึ้น เช่น การระบายน้ำ การแทรกซึมน้ำ การอุ้มน้ำ การถ่ายเทอากาศของดิน ฯลฯ ซึ่งจะมีผลทำให้พืชสามารถใช้น้ำ อากาศ และธาตุอาหารพืชในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ปิยะ, 2553)

การจำแนกประเภทของสารปรับปรุงดินขึ้นกับเกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนกเป็นสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสมบัติของสาร ที่มา และวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์ ทำให้จำแนกสารปรับปรุงดินออกได้แตกต่างกัน ดังนี้

1. สารอินทรีย์ ได้แก่ สารปรับปรุงดินในรูปสารอินทรีย์ที่ได้จากธรรมชาติโดยตรงหรือที่มีการนำมาปรุงแต่งโดยใช้ความร้อน เช่น สารปรับปรุงดินในรูปหินและแร่ชนิดต่างๆ

2. สารอินทรีย์ สารปรับปรุงดินในรูปสารอินทรีย์มีมากมายหลายชนิดทั้งประเภทสารอินทรีย์ธรรมชาติ สารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีการปรุงแต่งหรือทำให้เกิดการแปรสภาพ เช่น โดยการหมัก รวมทั้งสารอินทรีย์สังเคราะห์ที่มีการสังเคราะห์ขึ้นโดยกระบวนการทางเคมี รวมถึงสารชีวโมลในรูปต่างๆ เช่น กรดฮิวมิก (ปิยะ, 2553)

พบว่ากรดฮิวมิกสามารถนำมาทำเป็นสารปรับปรุงดินได้ โดยสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547) ได้จัดให้กรดฮิวมิกอยู่ในประเภทของสารสกัดอินทรีย์ (Organic Substance) และให้คำนิยามไว้ว่า เป็นสารปรับปรุงดินชนิดหนึ่ง ซึ่งสกัดได้จากสารอินทรีย์ธรรมชาติต่างๆ หรือดิน โดยใช้ต่าง ประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ช่วยในการปรับปรุงสภาพดินให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้สกัดกรดฮิวมิกจากลีโอনারโดต์
 - 1.1 ลีโอনারโดต์จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
 - 1.2 ตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตรและ 0.5 มิลลิเมตร
2. อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับปลูกอ้อย
 - 2.1 ท่อนพันธุ์อ้อยพันธุ์ LK92-11
 - 2.2 กรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอโนโดต์
 - 2.3 ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16
 - 2.4 อุปกรณ์ในการวัด (ไม้บรรทัด, ตลับเมตร)
3. อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล
 - 3.1 อุปกรณ์ในการวัด (ไม้บรรทัด, ตลับเมตร)
 - 3.2 vernier caliper
 - 3.3 เสียม หรือข้อนปลูก
 - 3.4 กรรไกร
 - 3.5 ถุงพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่าง
 - 3.6 สมุดบันทึก
 - 3.7 ดินสอ หรือปากกา
4. เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล
 - 4.1 Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)
 - 4.2 เครื่องมือวัดการดูดกลืนแสงของสารที่มีสี (Spectrophotometer)
 - 4.3 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)
 - 4.4 เครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity)
 - 4.5 เครื่องมือวัดค่าดัชนีความเขียว (SPAD 502 Chlorophyll Meter)
 - 4.6 เครื่องกลั่นไนโตรเจน

4.7 บล๊อคควบคุมอุณหภูมิ

4.8 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

สารเคมี

1. สารเคมีที่ใช้สกัดกรดฮิวมิกจากลีโอনারไดต์
 - 1.1 Potassium Hydroxide (KOH)
 - 1.2 Hydrochloric Acid (HCl)
2. สารเคมีสำหรับวัดความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินตามวิธี Leaching (จรงักษ์, 2550; พัทธี, 2550)
 - 2.1 Ammonium Acetate (NH_4OAc)
 - 2.2 Isopropyl Alcohol ($\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$)
 - 2.3 Sodium Chloride (NaCl)
 - 2.4 Sodium Hydroxide (NaOH)
 - 2.5 Boric Acid (H_3BO_3)
 - 2.6 Hydrochloric Acid (HCl)
3. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในดินตามวิธีของ Walkley-Black's Method (จรงักษ์, 2550; พัทธี, 2550)
 - 3.1 Potassium Dichromate ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
 - 3.2 Sulfuric Acid (H_2SO_4)
 - 3.3 Ferrous Sulfate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
 - 3.4 0-phenanthroline ferrous complex indicator
4. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (จรงักษ์, 2550; พัทธี, 2550)
 - 4.1 Boric Acid (H_3BO_3)
 - 4.2 Sodium Hydroxide (NaOH)
 - 4.3 Hydrochloric Acid (HCl)

5. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน (จงรักษ์, 2550; พัชรี, 2550)
 - 5.1 Bray II ($\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$)
 - 5.2 Boric Acid (H_3BO_3)
 - 5.3 Ammonium Molybdate
 - 5.4 Antimony Potassium Tartrate
 - 5.5 Ascorbic Acid
6. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในพืช (จงรักษ์, 2550; พัชรี, 2550)
 - 6.1 Ammonium Molybdate
 - 6.2 Ammonium Vanadate
7. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในดิน (จงรักษ์, 2550; พัชรี, 2550)
 - 7.1 Ammonium Acetate (NH_4OAc)
8. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน (จงรักษ์, 2550; พัชรี, 2550)
 - 8.1 Calcium Phosphate ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
 - 8.2 Hydrochloric Acid (HCl)
 - 8.3 Gum Acacia
 - 8.4 Barium Chloride (BaCl_2)
9. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีในดิน (จงรักษ์, 2550; พัชรี, 2550)
 - 9.1 Diethylene Triamine Penta Acetic Acid (DTPA)
10. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดินด้วยวิธี USEPA-3050B (United States Environmental Protection Agency [USEPA], 1996)
 - 10.1 Nitric Acid (HNO_3)
 - 10.2 Hydrochloric Acid (HCl)

10.3 Hydrogen Peroxide (H_2O_2)

11. สารเคมีสำหรับย่อยตัวอย่างดินและพืชในการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน (ศรีสม, 2547; จงรักษ์, 2550; พันธ์, 2550)

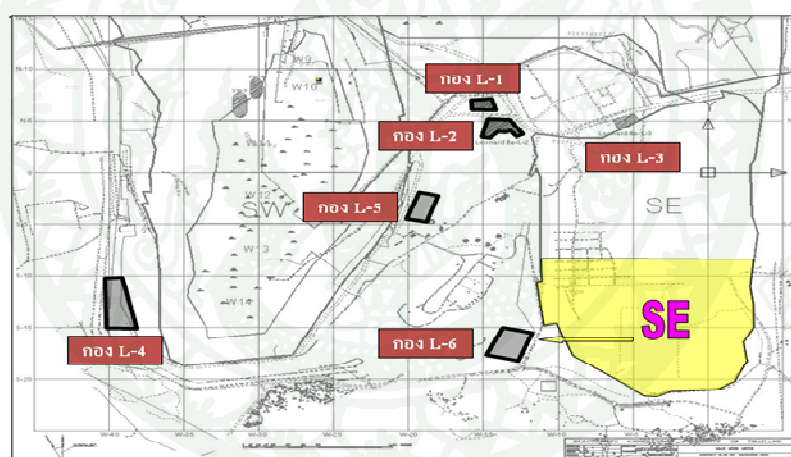
11.1 Sulfuric Acid (H_2SO_4)

12. สารเคมีสำหรับย่อยตัวอย่างพืชในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร (ศรีสม, 2547)

12.1 Nitric Acid (HNO_3)

12.2 Perchloric Acid ($HClO_4$)

วิธีการ



ภาพที่ 3 ที่ตั้งกองลีไออาร์ไดต์ทั้ง 6 กอง (L-1 ถึง L-6) ในเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

1. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณโลหะหนักของตัวอย่างลีไออาร์ไดต์

นำตัวอย่างลีไออาร์ไดต์จากเหมืองแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยมีตัวอย่างทั้งสิ้น 6 กอง (ภาพที่ 3) มาคลุกให้เข้ากัน ตากให้แห้งและนำมาบดตัวอย่างให้ละเอียด ก่อนนำไปร่อนผ่านตะแกรงจนได้ตัวอย่างลีไออาร์ไดต์ขนาด 2 มิลลิเมตรและ 0.5 มิลลิเมตรตามลำดับ นำตัวอย่างลีไออาร์ไดต์ที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติของดินทางเคมี(ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความจุในการ

แลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และสัดส่วนของธาตุคาร์บอนต่อธาตุไนโตรเจน) ปริมาณธาตุอาหาร (ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง) และปริมาณโลหะหนัก (ปรอท สารหนู แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว)

การวิเคราะห์สมบัติของดินทางเคมี และปริมาณธาตุอาหาร ใช้วิธีวิเคราะห์ดังนี้ (จรงักษ์, 2550; พันธ์, 2550)

การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) ในอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวที่ 1:1 ด้วยวิธี Electrometry โดยใช้เครื่องมือ pH meter

การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) ในอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวที่ 1:5 โดย Conductivity meter

การวิเคราะห์หาความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (CEC) โดยวิธีการ leaching ด้วยสารละลาย NH_4OAc , Isopropyl alcohol และ NaCl

การวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินด้วยการไทเทรตหาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี Walkley-Black's Method โดยการเกิดปฏิกิริยา oxidation ด้วย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ และไทเทรตด้วยด้วย $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ที่จุดยุติ suspension จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

การวิเคราะห์หาสัดส่วนของธาตุคาร์บอนต่อธาตุไนโตรเจน (C:N ratio) จากค่าที่ได้จากการหาปริมาณอินทรีย์วัตถุและการหาความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน

การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินโดยวิธี Kjeldahl กลั่นตัวอย่างที่มี Sodium Hydroxide ความเข้มข้น 40% ด้วยเครื่องกลั่นไนโตรเจน และนำสารละลายที่ได้มาไทเทรตด้วย Hydrochloric Acid ที่จุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพูอมแดง

การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในดินโดยสกัดด้วยน้ำยา Bray II และนำไปพัฒนาสีเพื่อตรวจวัดปริมาณฟอสฟอรัสโดยวิธี Murphy-Riley หลังจากนั้นอ่านค่าด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 820 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมในดินด้วยน้ำยา NH_4OAc และนำไปอ่านค่าด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

การวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในดินด้วยวิธีการวัดความขุ่นด้วยน้ำยาสกัด $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ และอ่านค่าด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีในดินด้วยน้ำยาสกัด DTPA และนำไปอ่านค่าด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดิน ได้แก่ แคดเมียม โครเมียม สารหนู ตะกั่ว และปรอท นำตัวอย่างมาย่อยด้วยวิธี USEPA 3050B (USEPA, 1996) ด้วย Nitric acid และ Hydrochloric acid ก่อนนำไปอ่านค่าด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

2. การสกัดกรดฮิวมิกจากลีโอไนต์ในระดับ Bench Scale

1. นำลีโอไนต์ 100 กิโลกรัมมาสกัดด้วยเบส KOH ความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ ในอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:10 ปรับค่าความเป็นด่างที่ 12-13 กวนสารละลายอย่างน้อย 8 ชั่วโมงในถังกวนขนาด 1,000 ลิตร
2. ดูดสารละลายด้วยปั๊มใส่ถังกวนขนาด 1,000 ลิตรและนำสารละลายที่ได้มาตกตะกอนด้วย HCl เข้มข้น 0.4 โมลาร์ อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:3 ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) จนได้ค่าความเป็นกรดประมาณ 1-2 กวนสารละลาย 7 ชั่วโมงแล้วทิ้งไว้ให้สารตกตะกอน
3. ดูดสารละลายด้วยปั๊มผ่านผ้ากรอง ได้ตะกอนของโพแทสเซียมฮิวเมต
4. ล้างตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีค่าความเป็นกรดที่ 2 กวนต่ออีก 24 ชั่วโมงและกรองผ่านผ้ากรอง
5. นำตะกอนกรดฮิวมิกมาตากให้แห้ง
6. นำกรดฮิวมิกที่แห้งแล้วมาบดให้ละเอียดก่อนนำไปวิเคราะห์ต่อไป

3. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณโลหะหนักของกรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอนาไดต์

นำตัวอย่างฮิวมิกที่แห้งและนำมาบดให้ละเอียด ก่อนนำไปร่อนผ่านตะแกรงจนได้ตัวอย่างฮิวมิกขนาด 2 มิลลิเมตรและ 0.5 มิลลิเมตรตามลำดับ นำตัวอย่างฮิวมิกที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี (ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และสัดส่วนของธาตุคาร์บอนต่อธาตุไนโตรเจน) ปริมาณธาตุอาหาร (ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง) และปริมาณโลหะหนัก (แคดเมียม โครเมียม สารหนู ตะกั่ว และปรอท) (จงรักษ์, 2550; พัทธี, 2550; USEPA, 1996) โดยรายละเอียดการวิเคราะห์อ้างอิงจากหัวข้อการวิเคราะห์ค่าทางเคมี ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณโลหะหนักของลีโอนาไดต์ดังที่ได้กล่าวถึงมาแล้วในวิธีการที่ 1

4. การทดสอบผลของกรดฮิวมิกต่อการดูดซึมธาตุอาหาร เจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยภายใต้สภาพดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นดินจากสถานีวิจัยเขาหินซ้อน ต. เขาหินซ้อน อ. พนมสารคาม จ. ฉะเชิงเทรา อยู่ในชุดดินมาบบอน ซึ่งเป็นชุดดินที่ 35 เป็นลักษณะของดินปนทราย ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำ งานต่อการถูกชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2548)

ดำเนินการปลูกอ้อยเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม พ.ศ. 2556 ในแต่ละแปลงย่อยมีพื้นที่ปลูกขนาด $6 \times 6.75 \text{ m}^2$ มีระยะห่างระหว่างแถวภายในแปลงย่อย 1.35 m ระยะห่างระหว่างแปลงย่อย 2 m. และมีพื้นที่รวมทั้งสิ้น $80.75 \times 34 \text{ m}^2$ การใส่ปุ๋ยสำหรับดินร่วนปนทราย ในการทดลองนี้จะใส่ปุ๋ยเคมีเฉพาะดำรับทดลองที่มีการทดสอบปัจจัยที่ต้องใส่ปุ๋ย อ้างอิงอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับการปลูกอ้อยในดินร่วนปนทรายจากสถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร (2554) โดยใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 (ไนโตรเจนทั้งหมด 16%, ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 16%, โพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ 16%) ทำการใส่ปุ๋ยเคมีทั้งหมด 80 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 2.025 กิโลกรัมต่อแปลงย่อย (ปุ๋ยเคมี 100%) แบ่งใส่ 2 ครั้งโดยใส่รองก่อนรองพร้อมปลูกในอัตราส่วน 20 กิโลกรัมต่อไร่ (0.506 กิโลกรัมต่อแปลงย่อย) และใส่อีกครั้งในอัตราส่วน 60 กิโลกรัมต่อไร่หลังจากปลูก 3 เดือน (1.519 กิโลกรัม

ต่อแปลงย่อย) และใส่กรดฮิวมิกเฉพาะตำรับทดลองที่มีการทดสอบปัจจัยที่ต้องใส่กรดฮิวมิก โดยอ้างอิงจากรายงานการศึกษาของ Stevenson (1994) ในอัตราส่วน 50 กิโลกรัมต่อไร่ (1.27 กิโลกรัมต่อแปลงย่อย) และ 25 กิโลกรัมต่อแปลงย่อย (0.64 กิโลกรัมต่อแปลงย่อย) แบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ ร่องกันร่องพร้อมปลูก และใส่หลังจากปลูกย่อย 3 เดือน

5. แผนการทดลอง

ศึกษาการดูดซึมธาตุอาหาร การเจริญเติบโต ปริมาณธาตุอาหารของอ้อย โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) ออกแบบการทดลอง 9 ตำรับทดลอง แต่ละการทดลองมีจำนวนบล็อก 4 บล็อก คือ

ตำรับทดลองที่ 1 ไม่ใส่กรดฮิวมิก (HA) และปุ๋ยเคมี (NPK) (Control)

ตำรับทดลองที่ 2 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม 100% (NPK 100%)

ตำรับทดลองที่ 3 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม 75% (NPK 75%)

ตำรับทดลองที่ 4 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม 50% (NPK 50%)

ตำรับทดลองที่ 5 ใส่กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ (HA 50 kg/rai)

ตำรับทดลองที่ 6 ใส่กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ (HA 25 kg/rai)

ตำรับทดลองที่ 7 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม 100% และใส่กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ (NPK 100% + HA 50 kg/rai)

ตำรับทดลองที่ 8 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม 100% และใส่กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ (NPK 100% + HA 25 kg/rai)

ตำรับทดลองที่ 9 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม 75% และใส่กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ (NPK 75% + HA 50 kg/rai)

ตำรับทดลองที่ 10 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม 75% และใส่กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ (NPK 75% + HA 25 kg/rai)

ตำรับทดลองที่ 11 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม 50% และใส่กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ (NPK 50% + HA 50 kg/rai)

ตำรับทดลองที่ 12 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม 50% และใส่กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ (NPK 50% + HA 25 kg/rai)

6. การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลในอ้อย

โดยเก็บข้อมูลการตอบสนองของอ้อย ดังนี้

1. ศึกษาอัตราการงอกของอ้อย โดยนับจำนวนอ้อยที่งอกในแต่ละแปลงย่อย เก็บข้อมูลหลังจากปลูกอ้อย 3 สัปดาห์ 4 สัปดาห์

2. ศึกษาการเติบโตของอ้อย

2.1 วัดความสูงของอ้อยโดยวัดจากระดับผิวดินถึงจุดคอใบสูงสุด (top visible dewlap) ของลำที่โตที่สุดในแต่ละกอ โดยสุ่มวัด 10 กอ ในระยะหลังจากปลูกอ้อยเดือนที่ 2 ถึงเดือนที่ 8 เดือน

2.2 วัดเส้นผ่าศูนย์กลางลำที่โตที่สุดในแต่ละกอ โดยสุ่มวัด 10 กอ ในระยะหลังจากปลูกอ้อยเดือนที่ 2 ถึงเดือนที่ 8 เดือน และเก็บข้อมูลอีกครั้งเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตที่อายุ 10 เดือน

2.3 จำนวนปล้องต่อลำ โดยนับจำนวนปล้องของลำที่โตที่สุด สุ่มนับจำนวน 10 กอ เก็บข้อมูลเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตที่อายุ 10 เดือน

2.4 วัดความยาวลำที่โตที่สุดในแต่ละกอ โดยสุ่มวัดจำนวน 10 กอ เก็บข้อมูลเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตที่อายุ 10 เดือน

2.5 เก็บข้อมูลความยาวปล้องเฉลี่ยที่โตที่สุดในแต่ละกอเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตที่อายุ 10 เดือน โดยคำนวณจากความยาวลำกับจำนวนปล้องต่อลำ

3 ศึกษาข้อมูลทางสรีรวิทยา

3.1 ค่าดัชนีความเขียว วัดค่าดัชนีความเขียวด้วยเครื่องมือ SPAD 502 Chlorophyll Meter โดยวัดแผ่นใบอ้อยจากใบที่ 3 (ไม่นับใบม้วน) ของลำที่โตที่สุดในแต่ละกอ โดยสุ่มวัด 10 กอ ในระยะหลังจากปลูกอ้อยเดือนที่ 2 ถึงเดือนที่ 8 เดือน

4. ศึกษาผลผลิตของอ้อย

4.1 เก็บข้อมูลผลผลิตอ้อยต่อไร่ ตัดอ้อยทั้งหมดในแต่ละแปลงย่อยจากพื้นดินถึงจุดหักธรรมชาติโดยเว้นระยะทุกด้านเข้ามา 1 เมตร ทำการดึงใบและกาบใบออกพร้อมทั้งชั่งน้ำหนักของอ้อย

4.2 เก็บข้อมูลจำนวนลำต่อไร่ นับจำนวนลำอ้อยทั้งหมดที่ตัดได้จากข้อ 3.1 บันทึกข้อมูลเป็นจำนวนลำต่อไร่

4.3 วิเคราะห์ข้อมูลเปอร์เซ็นต์บrix โพลีไฟเบอร์ CCS ค่าความบริสุทธิ์ของอ้อยโดยสุ่มเก็บตัวอย่างลำอ้อยในแต่ละแปลงย่อยจำนวน 10 ลำ หลังจากนั้นส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาอ้อยและน้ำตาล สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณผลผลิตน้ำตาลต่อไร่

5. ศึกษาปริมาณธาตุอาหารในใบอ้อย โดยเก็บตัวอย่างแผ่นใบที่ 4 (top visible dewlap) อ้างอิงวิธีการเก็บตัวอย่างใบอ้อยจาก Reuter and Robinson (1997) ในระยะหลังจากปลูก 3 เดือนและ 6 เดือนมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร (ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง) การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักในพืช ใช้วิธีวิเคราะห์ดังนี้

การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืช โดยนำตัวอย่างพืชมาย่อยด้วย Sulfuric acid ก่อนนำไปวิเคราะห์โดยวิธี Kjeldahl

การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง โดยย่อยสลายด้วยกรดผสม $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ อัตราส่วน 2:1 หลังจากนั้นนำไปอ่านค่าด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 nm., 766.5 nm., 422.7 nm., 285.2 nm., 450 nm., 248.3 nm., 279.5 nm., 213.9 nm. และ 324.8 nm. ตามลำดับ

7. การเก็บข้อมูลตัวอย่างดินและวิเคราะห์ดิน

เก็บข้อมูลตัวอย่างดินก่อนปลูก และดินหลังจากใส่กรดฮิวมิก 3 เดือนและ 6 เดือน นำตัวอย่างดินที่เก็บได้มาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม ทำดินให้เป็นเนื้อเดียวกัน ร่อนตัวอย่างด้วยตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตรและ 0.5 มิลลิเมตรตามลำดับ นำตัวอย่างดินที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติของดินทางเคมี (ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และสัดส่วนของธาตุคาร์บอนต่อธาตุไนโตรเจน) ปริมาณธาตุอาหาร (ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง) และนำตัวอย่างดินก่อนปลูกมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก (แคดเมียม โคบอลต์ สารหนู ตะกั่ว และปรอท) (จรัล, 2550; พันธ์, 2550; USEPA, 1996) โดยรายละเอียดการวิเคราะห์อ้างอิงจากหัวข้อการวิเคราะห์ค่าทางเคมี ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณโลหะหนักของลีโอนาโดต์ดังที่ได้กล่าวถึงมาแล้ว

8. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์หาความแตกต่างโดยวิธีทางสถิติ ด้วยวิธี Duncan

สถานที่ทำวิจัย

สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 3 เชียงใหม่ อ. เมือง จ. เชียงใหม่
 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (เหมืองแม่เมาะ) อ. แม่เมาะ จ. ลำปาง
 สถานีวิจัยเขานินซ็อน ต. เขานินซ็อน อ. พนมสารคาม จ. ฉะเชิงเทรา
 ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร
 กรุงเทพมหานคร
 ห้องปฏิบัติการภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

ระยะเวลาทำวิจัย

เริ่มทำการวิจัยตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2554-เดือนพฤษภาคม 2557

ผลและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาสมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุอาหาร และปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างลีโอนาร์โด

การศึกษาสมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุอาหาร และปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างลีโอนาร์โดจำนวนทั้งสิ้น 6 กอง (ภาพที่ 3) พบว่า ลีโอนาร์โดจากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปางมีสมบัติทางเคมีบางประการ (ตารางที่ 1) ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ที่ 2.91 ซึ่งมีความเป็นกรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) มีค่าการนำไฟฟ้าที่ 5.33 dS/m แสดงถึงเกลือที่ละลายน้ำได้ของลีโอนาร์โดมีความเค็มน้อย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 57 cmol/kg ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) พบปริมาณสารอินทรีย์ในลีโอนาร์โด 38.10% ซึ่งอยู่ในระดับสูง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน 92.08 ซึ่งอยู่ในช่วงที่สูง บ่งชี้ว่ามีการสะสมคาร์บอนสูงกว่าการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (พัชรี, 2550) จากสมบัติทางเคมีบางประการนี้ทำให้ลีโอนาร์โดมีค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณสารอินทรีย์ที่เหมาะสมตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2548) แต่มีค่าความเป็นกรดต่างและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในระดับที่ไม่เหมาะสมตามมาตรฐานปุ๋ยเคมีเช่นเดียวกัน (ตารางผนวกที่ 1)

ศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่อยู่ในตัวอย่างลีโอนาร์โด (ตารางที่ 1) พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.24% มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 8.33 mg.kg^{-1} มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 0.14% มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ $6,997.43 \text{ mg.kg}^{-1}$ มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ $1,973.47 \text{ mg.kg}^{-1}$ มีปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ $5,490.99 \text{ mg.kg}^{-1}$ มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ $675.47 \text{ mg.kg}^{-1}$ มีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ 58.90 mg.kg^{-1} มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ 18.67 mg.kg^{-1} มีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ 0.06 mg.kg^{-1} พบว่าปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมในลีโอนาร์โดอยู่ในระดับที่ไม่เหมาะสมตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ตารางผนวกที่ 1)

ศึกษาปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างลีโอนาร์โด (ตารางที่ 1) พบว่า มีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดน้อยกว่า 1 mg.kg^{-1} มีปริมาณโครเมียมทั้งหมด 36.68 mg.kg^{-1} มีปริมาณสารหนูทั้งหมด

33.11 mg.kg^{-1} มีปริมาณตะกั่วทั้งหมด 41.27 mg.kg^{-1} มีปริมาณปรอททั้งหมด 0.45 mg.kg^{-1} ซึ่งปริมาณโลหะหนักทั้งหมดทุกตัวมีปริมาณโลหะหนักอยู่ในระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐาน (กรมวิชาการเกษตร, 2548) (ตารางผนวกที่ 1)

เนื่องจากลีโอนาร์โดเป็นแหล่งที่พบกรดฮิวมิกมากที่สุดมากถึง 85% (Dailey, 1999) ทำให้ลีโอนาร์โดเป็นแหล่งที่เหมาะสมในการนำมาสกัดกรดฮิวมิก

2. ผลการศึกษาค่าทางเคมี ปริมาณธาตุอาหาร และปริมาณโลหะหนักในกรดฮิวมิกที่สกัดได้จากตัวอย่างลีโอนาร์โด

การศึกษสมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุอาหาร และปริมาณโลหะหนักในกรดฮิวมิกที่สกัดได้จากตัวอย่างลีโอนาร์โดพบว่า กรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอนาร์โด เหมือนแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีสมบัติทางเคมีบางประการ (ตารางที่ 1) ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ที่ 1.11 ซึ่งมีความเป็นกรดรุนแรงมากที่สุด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) มีค่าการนำไฟฟ้าที่ 14.61 dS/m แสดงถึงเกลือที่ละลายน้ำได้ของลีโอนาร์โดมีความเค็มปานกลาง เป็นความเค็มที่พืชทนเค็มสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 130 cmol/kg ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) พบปริมาณสารอินทรีย์ในลีโอนาร์โด 44.20% ซึ่งอยู่ในระดับสูง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ที่ 69.30 ซึ่งอยู่ในช่วงที่สูง บ่งชี้ว่ามีการสะสมคาร์บอนสูงกว่าการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เช่นเดียวกับลีโอนาร์โด (พัชรี, 2550) พบว่ากรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอนาร์โดมีค่าความเป็นกรดต่าง ค่าการนำไฟฟ้าและอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่เหมาะสมตามมาตรฐานการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2548) (ตารางผนวกที่ 1) แต่กลับพบว่าในกรดฮิวมิกนี้มีปริมาณสารอินทรีย์และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่มากกว่าลีโอนาร์โด ซึ่งเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน (จรัลรักษ์, 2550) ทำให้กรดฮิวมิกมีความเหมาะสมในการทำเป็นสารปรับปรุงดิน

ศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่อยู่ในกรดฮิวมิก (ตารางที่ 1) พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.37% มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 2.19 mg.kg^{-1} มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 0.16% มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 26.22 mg.kg^{-1} มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

197.85 mg.kg^{-1} มีปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ 553.20 mg.kg^{-1} มีปริมาณเหล็กที่สกัดได้ 660.98 mg.kg^{-1} มีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ 5.55 mg.kg^{-1} มีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ 20.06 mg.kg^{-1} มีปริมาณทองแดงที่สกัดได้ 0.15 mg.kg^{-1} กรดฮิวมิกมีปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมไม่เหมาะสมตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ตารางผนวกที่ 1)

ศึกษาปริมาณโลหะหนักในกรดฮิวมิก (ตารางที่ 1) พบว่า มีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดน้อยกว่า 1 mg.kg^{-1} มีปริมาณโครเมียมทั้งหมด 87.13 mg.kg^{-1} มีปริมาณสารหนูทั้งหมด 3.63 mg.kg^{-1} มีปริมาณตะกั่วทั้งหมด 18.64 mg.kg^{-1} มีปริมาณปรอททั้งหมด 0.52 mg.kg^{-1} ซึ่งปริมาณโลหะหนักทั้งหมดทุกตัว มีปริมาณโลหะหนักต่ำกว่าค่ามาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (2548) (ตารางผนวกที่ 1) เนื่องจากปริมาณโลหะหนักที่พบนี้อยู่ในระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐานฯ ทำให้กรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอนาร์โดต์มีความเหมาะสมสำหรับเป็นสารสกัดอินทรีย์ที่ใช้เป็นสารปรับปรุงดิน

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีบางประการ ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างลีโอนาร์โดได้จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และกรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอนาร์โด

รายการที่วิเคราะห์	ลีโอนาร์โด		กรดฮิวมิก	
	ค่าวิเคราะห์	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์	ค่าวิเคราะห์	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์
สมบัติทางเคมี				
pH (soil : water = 1:1)	2.91	ไม่เหมาะสม ^{1/}	1.11	ไม่เหมาะสม ^{1/}
EC _e (dS/m)	5.33	เหมาะสม	14.61	ไม่เหมาะสม
CEC (cmol/kg)	57.00	-	130.00	-
Organic Matter (%)	38.10	เหมาะสม	44.20	เหมาะสม
C:N ratio	92.08	ไม่เหมาะสม	69.30	ไม่เหมาะสม
ปริมาณธาตุอาหาร				
Total N (%)	0.24	ไม่เหมาะสม	0.37	ไม่เหมาะสม
Available P (mg.kg ⁻¹)	8.33	-	2.19	-
Total K (%)	0.14	ไม่เหมาะสม	0.16	ไม่เหมาะสม
Exchangeable Ca (mg.kg ⁻¹)	6,997.43	-	26.22	-
Exchangeable Mg (mg.kg ⁻¹)	1,973.47	-	197.85	-
Extractable S (mg.kg ⁻¹)	5,490.99	-	553.20	-
Extractable Fe (mg.kg ⁻¹)	675.47	-	660.98	-
Extractable Mn (mg.kg ⁻¹)	58.90	-	5.55	-
Extractable Zn (mg.kg ⁻¹)	18.67	-	20.06	-
Extractable Cu (mg.kg ⁻¹)	0.06	-	0.15	-
ปริมาณโลหะหนัก				
Total Cd (mg.kg ⁻¹)	nd	ผ่านค่ามาตรฐาน	nd	ผ่านค่ามาตรฐาน
Total Cr (mg.kg ⁻¹)	36.68	ผ่านค่ามาตรฐาน	87.13	ผ่านค่ามาตรฐาน
Total As (mg.kg ⁻¹)	33.11	ผ่านค่ามาตรฐาน	3.63	ผ่านค่ามาตรฐาน
Total Pb (mg.kg ⁻¹)	41.27	ผ่านค่ามาตรฐาน	18.64	ผ่านค่ามาตรฐาน
Total Hg (mg.kg ⁻¹)	0.45	ผ่านค่ามาตรฐาน	0.52	ผ่านค่ามาตรฐาน

หมายเหตุ ^{1/} ปุ๋ยอินทรีย์ การผลิต การใช้ มาตรฐานและคุณภาพ (กรมวิชาการเกษตร, 2548)
(ตารางผนวกที่ 1)

nd = ไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าได้ (not detectable)

3. การศึกษาข้อมูลทางดินของดินก่อนปลูก ระหว่างปลูกในเดือนที่ 3 และเดือนที่ 6

3.1 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมี ปริมาณธาตุ และปริมาณโลหะหนักในดินก่อนปลูก

การศึกษาผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูกบางประการ ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ดินก่อนปลูกอ้อยมีคุณสมบัติความเป็นกรดต่าง (pH) ที่ 6.24 ซึ่งแสดงถึงความเข้มข้นของ H^+ ion ที่ละลายอยู่ในดิน (จงรักษ์, 2550) เมื่อดินก่อนปลูกอ้อยมีค่า pH = 6.24 แสดงว่ามีสภาพดินเป็นกรดเล็กน้อย (slightly acid) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) ซึ่งค่า pH ของดินแปลงนี้เหมาะสมต่อการปลูกอ้อย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544; ยงยุทธ และคณะ, 2551) และสภาพที่ดินมีความเป็นกรดเล็กน้อยนี้เอง ทำให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์และพืชสามารถนำไปใช้ได้ (ลิลลี่ และคณะ, 2549) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ที่แสดงถึงเกลือที่ละลายน้ำได้ทั้งไอออนบวกและไอออนลบ (จงรักษ์, 2550) ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้คือ 0.03 dS/m ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 2 dS/m แสดงถึงไม่มีความเค็มของดิน พืชทุกชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) และยังแสดงถึงความเหมาะสมต่อการปลูกอ้อยด้วย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544; ยงยุทธ และคณะ, 2551) แต่ดินก่อนปลูกนี้มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (CEC) ต่ำคือ 4.10 cmol(+)/kg ซึ่งถ้าค่า CEC น้อยกว่า 10 แสดงถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินอยู่ในระดับต่ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) และไม่เหมาะสมต่อการปลูกอ้อย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) และปริมาณสารอินทรีย์ในดิน (OM) ก่อนปลูกคือ 1.02% ซึ่งอยู่ในระดับต่ำเช่นเดียวกันเมื่อน้อยกว่า 1.5% (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) และไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย เมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการของอ้อย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ที่ 491.67 (ตารางผนวกที่ 2) พบว่าสมบัติทางเคมีบางประการของดินก่อนปลูกอ้อย ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่างและค่าการนำไฟฟ้ามีความเหมาะสมที่ทำให้ดินชุดนี้เหมาะสมต่อการปลูกอ้อย แต่พบว่ามีปริมาณสารอินทรีย์และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุต่ำและไม่เหมาะสมต่อการปลูกอ้อย

การศึกษามลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดิน (ตารางที่ 2) พบว่า ดินก่อนปลูกมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.0012% ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 55.41 mg.kg⁻¹ ปริมาณกำมะถันที่สกัดได้น้อยกว่า 0.05 mg.kg⁻¹ ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ 19.20 mg.kg⁻¹ และ

ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ 28.90 mg.kg^{-1} เหล่านี้เป็นธาตุอาหารในดินที่พบในระดับต่ำและไม่เหมาะสมต่อการปลูกอ้อย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) (ตารางผนวกที่ 2) แต่พบว่า มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ $248.28 \text{ mg.kg}^{-1}$ ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 38.47 mg.kg^{-1} ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ 0.61 mg.kg^{-1} และปริมาณทองแดงที่สกัดได้ 0.38 mg.kg^{-1} ซึ่งเป็นปริมาณธาตุอาหารในดินที่อยู่ในระดับสูงและมีความเหมาะสมต่อการปลูกอ้อย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) (ตารางผนวกที่ 2) ในดินก่อนปลูกมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมต่ำกว่าความต้องการของอ้อย รวมถึงกำมะถัน เหล็กและแมงกานีสเช่นเดียวกัน ทำให้ดินก่อนปลูกไม่มีความเหมาะสมต่อการปลูกอ้อย

จากสมบัติทางเคมีของดินบางประการและปริมาณธาตุอาหารในดินที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น มีความสอดคล้องกับลักษณะของดินที่ถูกจัดให้อยู่ในชุดดินมาบบอน ซึ่งเป็นลักษณะของดินปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2548) ทำให้ดินชุดนี้ไม่เหมาะสมสำหรับเป็นดินที่ใช้ในการปลูกอ้อย

การศึกษาลักษณะการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดินก่อนปลูกอ้อย (ตารางที่ 2) พบว่า มีปริมาณแคดเมียมทั้งหมด 1.87 mg.kg^{-1} ปริมาณโครเมียมทั้งหมดน้อยกว่า 5 mg.kg^{-1} ปริมาณสารหนูทั้งหมด 0.17 mg.kg^{-1} ปริมาณตะกั่วทั้งหมด 3.57 mg.kg^{-1} และปริมาณปรอททั้งหมด 0.05 mg.kg^{-1} ปริมาณโลหะหนักเหล่านี้มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานโลหะหนักสำหรับดินที่ใช้ทำการเกษตรกรรมของกรมควบคุมมลพิษ (2547) (ตารางผนวกที่ 3) ปริมาณโลหะหนักที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานฯ นี้ทำให้ดินบริเวณนี้มีความเหมาะสมต่อการทำการเกษตร

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีบางประการ ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณโลหะหนักของดินก่อน
ปลูกข้าว

รายการที่วิเคราะห์	ค่าวิเคราะห์	ความเพียงพอต่อข้าว
สมบัติทางเคมี		
pH (soil : water = 1:1)	6.24	เหมาะสม ^{2/}
EC _e (dS/m)	0.03	เหมาะสม ^{2/}
CEC (cmol/kg)	4.10	ไม่เหมาะสม ^{2/}
Organic Matter (%)	1.02	ไม่เหมาะสม ^{2/}
C:N ratio	491.67	-
ปริมาณธาตุอาหาร		
Total N (%)	0.0012	ไม่เหมาะสม ^{2/}
Available P (mg.kg ⁻¹)	4.80	ไม่เหมาะสม ^{2/}
Exchangeable K (mg.kg ⁻¹)	55.41	ไม่เหมาะสม ^{2/}
Exchangeable Ca (mg.kg ⁻¹)	248.28	เหมาะสม ^{2/}
Exchangeable Mg (mg.kg ⁻¹)	38.47	เหมาะสม ^{2/}
Extractable S (mg.kg ⁻¹)	nd	ไม่เหมาะสม ^{2/}
Extractable Fe (mg.kg ⁻¹)	19.20	ไม่เหมาะสม ^{4/}
Extractable Mn (mg.kg ⁻¹)	28.90	ไม่เหมาะสม ^{3/}
Extractable Zn (mg.kg ⁻¹)	0.61	เหมาะสม ^{2/}
Extractable Cu (mg.kg ⁻¹)	0.38	เหมาะสม ^{2/}
ปริมาณโลหะหนัก		
Total Cd (mg.kg ⁻¹)	1.87	ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ^{3/}
Total Cr (mg.kg ⁻¹)	nd	ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ^{3/}
Total As (mg.kg ⁻¹)	0.17	ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ^{3/}
Total Pb (mg.kg ⁻¹)	3.57	ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ^{3/}
Total Hg (mg.kg ⁻¹)	0.05	ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ^{3/}

หมายเหตุ ^{2/} สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร (2544) (ตารางผนวกที่ 2)

^{3/} มาตรฐานคุณภาพดิน กรมควบคุมมลพิษ ใน ราชกิจจานุเบกษา (2547)
(ตารางผนวกที่ 3)

^{4/} USEPA (2003) (ตารางผนวกที่ 4), nd = ไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าได้

3.2 ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักของดินระหว่างปลูกในเดือนที่ 3

หลังจากปลูกกล้วยได้ 3 เดือน จากตารางที่ 3 พบว่าดินในแปลงปลูกมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.01% - 0.05% ซึ่งไนโตรเจนที่ใช้ปลูกกล้วยอายุ 3 เดือนมีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าในดินก่อนปลูกกล้วย แต่ยังอยู่ในระดับที่ต่ำและไม่เหมาะสมต่อการปลูกกล้วย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) พบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากที่สุดในแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 100% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ที่ 7.42 mg.kg^{-1} และมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าแปลงที่มีการใส่ปุ๋ย 100% เพียงอย่างเดียว และยังเพิ่มขึ้นมากกว่าในดินระยะก่อนปลูกกล้วย แต่ปริมาณฟอสฟอรัสที่พบในการวิเคราะห์ดินหลังปลูกกล้วย 3 เดือนยังอยู่ในระดับต่ำและไม่เหมาะสมต่อการปลูกกล้วย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) เช่นเดียวกับปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน มีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ระหว่าง 42.94 mg.kg^{-1} – 64.33 mg.kg^{-1} พบในระดับต่ำและไม่เหมาะสมต่อการปลูกกล้วย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) และไม่แตกต่างจากปริมาณโพแทสเซียมในดินก่อนปลูกกล้วย (ตารางผนวกที่ 2)

ตารางที่ 3 ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินที่ใช้ปลูกอ้อยอายุ 3 เดือน

ตำรับทดลอง	ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินปลูกอ้อยอายุ 3 เดือน		
	Total N (%)	Avail P (mg.kg ⁻¹)	Exch K (mg.kg ⁻¹)
Control	0.02	< 0.2 b ^{1/}	45.79
NPK 100%	0.02	0.21 b	64.33
NPK 75%	0.02	< 0.2 b	58.30
NPK 50%	0.01	< 0.2 b	48.04
HA 50 kg/rai	0.01	< 0.2 b	42.94
HA 25 kg/rai	0.02	< 0.2 b	43.64
NPK 100% + HA 50 kg/rai	0.05	7.42 a	60.34
NPK 100% + HA 25 kg/rai	0.02	4.55 ab	55.43
NPK 75% + HA 50 kg/rai	0.01	4.76 ab	57.85
NPK 75% + HA 25 kg/rai	0.03	< 0.2 b	48.30
NPK 50% + HA 50 kg/rai	0.02	< 0.2 b	42.96
NPK 50% + HA 25 kg/rai	0.01	0.21 b	59.43
F-test	ns	*	ns
CV (%)	117.05	269.72	23.40

หมายเหตุ ^{1/} = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

3.3 ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักของดินระหว่างปลูกในเดือนที่ 6

การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักในดินหลังจากปลูกอ้อย 6 เดือน (ตารางที่ 4) พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.00% - 0.06% ซึ่งเป็นปริมาณไนโตรเจนที่พบในระดับต่ำและไม่เหมาะสมต่อการปลูกอ้อย อีกทั้งยังไม่มี ความแตกต่างเมื่อเทียบกับดินที่ใช้ปลูกอ้อยอายุ 3 เดือน (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) พบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมากที่สุด 53.79 mg.kg^{-1} ในแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งการใช้ปุ๋ยลดลง 25% ร่วมกับกรดฮิวมิก ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในระดับที่มากกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี 100% เพียงอย่างเดียว และ/หรือการใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ปริมาณฟอสฟอรัสหลังจากปลูกอ้อย 6 เดือนในแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวและใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับกรดฮิวมิก พบว่ามีปริมาณมากกว่าในดินที่ใช้ปลูกอ้อย 3 เดือนและในดินก่อนปลูกอ้อย ซึ่งทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสนี้ อยู่ในระดับที่เพียงพอและเหมาะสมต่อการปลูกอ้อย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) พบปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ และแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 100% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ $188.45 \text{ mg.kg}^{-1}$ และ $185.74 \text{ mg.kg}^{-1}$ ตามลำดับ ปริมาณโพแทสเซียมที่พบมากกว่าปริมาณโพแทสเซียมในแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 100% เพียงอย่างเดียว และ/หรือใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียวอย่างชัดเจน เช่นเดียวกับในแปลงที่ใส่ปุ๋ยเพียงอย่างเดียวและใส่ปุ๋ยร่วมกับกรดฮิวมิก พบปริมาณโพแทสเซียมที่เพียงพอต่อการปลูกอ้อยและเพิ่มขึ้นจากดินที่ใช้ปลูกอ้อยทั้งดินก่อนปลูกและระหว่างปลูกอ้อย 3 เดือน (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) (ตารางผนวกที่ 2)

ตารางที่ 4 ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินที่ใช้ปลูกอ้อยอายุ 6 เดือน

ตำรับทดลอง	ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินปลูกอ้อยอายุ 6 เดือน		
	Total N (%)	Avail P (mg.kg ⁻¹)	Exch K (mg.kg ⁻¹)
Control	0.02	3.19 d ^{1/}	41.48 d ^{1/}
NPK 100%	0.03	38.79 abc	97.45 bcd
NPK 75%	0.03	39.11 abc	97.32 bcd
NPK 50%	0.03	35.06 abcd	115.60 abcd
HA 50 kg/rai	0.05	2.91 d	64.76 cd
HA 25 kg/rai	0.02	5.13 cd	73.99 bcd
NPK 100% + HA 50 kg/rai	0.00	43.53 ab	185.74 a
NPK 100% + HA 25 kg/rai	0.04	32.86 abcd	151.67 ab
NPK 75% + HA 50 kg/rai	0.04	53.79 a	188.45 a
NPK 75% + HA 25 kg/rai	0.02	32.06 abcd	81.72 bcd
NPK 50% + HA 50 kg/rai	0.03	8.79 cd	62.52 cd
NPK 50% + HA 25 kg/rai	0.06	14.26 bcd	122.10 abc
F-test	ns	**	**
CV (%)	115.17	98.78	57.35

หมายเหตุ ^{1/} = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินมากกว่า 95% พบอยู่ในรูปเฉพาะของอินทรีย์วัตถุ (ถวิล, 2522; พืชรี, 2550) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่ใช้ปลูกอ้อยนั้นมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณไนโตรเจน (Malavolta, 1994) ซึ่งในดินก่อนปลูกนั้นมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่ในระดับที่ต่ำ (ตารางที่ 2) ทำให้ปริมาณไนโตรเจนในดินก่อนปลูกอยู่ในระดับที่ต่ำเช่นเดียวกัน และเมื่อมีการให้ปุ๋ยแก่

อ้อยในระยะพร้อมปลูก และหลังจากปลูกอ้อย 3 เดือน พบว่าในดินหลังปลูกอ้อยที่ระยะ 3 เดือนมีปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่มากพอสำหรับความต้องการของอ้อย เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ดินหลังจากปลูกอ้อย 6 เดือนก็ได้ผลของปริมาณไนโตรเจนไม่แตกต่างกันมากนัก ลักษณะของดินที่ใช้ในการปลูกเป็นดินร่วนปนทรายซึ่งง่ายต่อการถูกชะล้างและความสามารถในการดูดซับธาตุต่างๆ ต่ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) ทำให้การให้ปุ๋ยเคมีที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบนั้นไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อยและไม่มี ความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนในแปลงที่มีการให้กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว และ/หรือการให้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีถึงแม้กรดฮิวมิกจะมีสารอินทรีย์สูง (ตารางที่ 1) แต่มีปริมาณไนโตรเจนที่ต่ำ และไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การให้กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว และ/หรือการให้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยไม่มีความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจน และปริมาณไนโตรเจนอยู่ในระดับที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนปลูกอ้อย (ตารางที่ 2) อยู่ในระดับที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย และหลังจากปลูกอ้อย 3 เดือน (ตารางที่ 3) พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในดินลดลงอย่างเห็นได้ชัด ยกเว้นแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่และปุ๋ยเคมี 100% ร่วมกับกรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ และในเดือนที่ 6 (ตารางที่ 4) พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในดินอยู่ในระดับที่สูงขึ้น และเพียงพอต่อความต้องการของอ้อย โดยเฉพาะในแปลงที่ใส่กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75% ยกเว้นแปลงที่ไม่ได้ใส่ทั้งปุ๋ยและกรดฮิวมิก รวมถึงแปลงที่ใส่แต่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว มีรายงานการศึกษาของ Li and Wang (1988) รายงานว่า การให้กรดฮิวมิกมีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Martinez *et al.* (1984) รายงานว่า การให้กรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสดีกว่าการให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว Wang *et al.* (1995) รายงานว่า ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสเฟตเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ร่วมกับกรดฮิวมิก การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับกรดฮิวมิกสามารถลดการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตได้ (Mayhew, 2004; Pettit, 2004) เช่นเดียวกับการให้ single super phosphate ในอัตราส่วน $120 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ร่วมกับกรดฮิวมิก 1 กิโลกรัมทำให้ฟอสฟอรัสในดินอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์และพืชนำไปใช้ได้ (Sharif *et al.*, 2010) การให้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีช่วยลดการใช้ปุ๋ยได้

โพแทสเซียมในดินส่วนใหญ่ประมาณ 90% - 98% อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที โดยอยู่ในรูปของแร่ feldspar และแร่ mica (จงรักษ์, 2550) ทั้งแร่ feldspar และแร่ mica นี้ล้วนแต่สลายตัวให้ดินเหนียว (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) แต่ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นลักษณะของดินร่วนปนทราย ซึ่งง่ายต่อการถูกชะล้างและความสามารถในการดูดซับธาตุต่างๆ ต่ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ดินก่อนปลูกที่มีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในระดับต่ำ และไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย (ตารางที่ 2) (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) หลังจากปลูกอ้อย 3 เดือนพบว่า ดินที่ใช้ปลูกอ้อยคงมีระดับโพแทสเซียมที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อยและไม่มีความแตกต่างกันของการให้กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียวและการให้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ย (ตารางที่ 3) เนื่องจากลักษณะของดินที่ใช้ปลูกเป็นดินทรายส่วนใหญ่ ซึ่งมักจะขาดโพแทสเซียม เนื่องจากถูกชะล้างได้ง่าย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) แต่ในเดือนที่ 6 พบว่า การให้กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75% และ 100% มีปริมาณโพแทสเซียมในดินมากกว่าการให้ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว และการให้กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว และปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย (ตารางที่ 4) Khan *et al.* (2012) รายงานว่าการใช้กรดฮิวมิกความเข้มข้น 15 ppm ใส่ลงในดินทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในต้นอ้อยเพิ่มขึ้น Pettit (2004) รายงานว่าการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีสามารถลดการใช้ปุ๋ยได้ เนื่องด้วยกรดฮิวมิกมีความเป็นประจุลบสูง (ปิยะ, 2553) โดยเฉพาะมาจาก carboxylate group (Srevenson, 1994) ซึ่งสามารถจับกับไอออนบวก เช่น K^+ ได้ (Yingei, 1988)

3.4 ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารรองของดินระหว่างปลูกในเดือนที่ 3

การศึกษาปริมาณธาตุอาหารรองของดินระหว่างปลูกในเดือนที่ 3 เมื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารรองในดิน (ตารางที่ 5) พบว่าปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่มากที่สุด คือ $228.15 \text{ mg.kg}^{-1}$ ซึ่งมากกว่าการใส่ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว 100% และ/หรือใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว ปริมาณแคลเซียมที่พบมีปริมาณน้อยกว่าดินก่อนปลูกแต่ยังคงเหมาะสมต่อการปลูกอ้อย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) พบปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ระหว่าง 33.95 mg.kg^{-1} – 45.79 mg.kg^{-1} ซึ่งปริมาณแมกนีเซียมที่พบอยู่ในระดับที่เพียงพอ เหมาะสมต่อการปลูกอ้อยและไม่แตกต่างจากปริมาณแมกนีเซียมในดินก่อนปลูก (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) และพบปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ในดินน้อยกว่า 0.05

mg.kg⁻¹ ซึ่งอยู่ในระดับต่ำและไม่เหมาะสมต่อการปลูกอ้อย เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ดินก่อนปลูกที่พบปริมาณกำมะถันในดินต่ำมาก (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) (ตารางผนวกที่ 2)

ตารางที่ 5 ปริมาณธาตุอาหารรองในดินที่ใช้ปลูกอ้อยอายุ 3 เดือน

ตัวรับทดลอง	ปริมาณธาตุอาหารรองในดินปลูกอ้อยอายุ 3 เดือน (mg.kg ⁻¹)		
	Exch Ca	Exch Mg	Extr S
Control	147.79 c ^{1/}	42.77	nd
NPK 100%	151.44 c	33.95	nd
NPK 75%	179.49 abc	36.71	nd
NPK 50%	161.99 bc	38.63	nd
HA 50 kg/rai	169.63 bc	37.97	nd
HA 25 kg/rai	142.55 c	35.71	nd
NPK 100% + HA 50 kg/rai	160.38 bc	36.14	nd
NPK 100% + HA 25 kg/rai	169.02 bc	36.58	nd
NPK 75% + HA 50 kg/rai	217.54 ab	45.79	nd
NPK 75% + HA 25 kg/rai	228.15 a	41.86	nd
NPK 50% + HA 50 kg/rai	169.32 bc	37.03	nd
NPK 50% + HA 25 kg/rai	181.14 abc	36.22	nd
F-test	*	ns	-
CV (%)	22.76	24.40	-

หมายเหตุ ^{1/} = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

nd = ไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าได้ (not detectable)

3.5 ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารรองของดินระหว่างปลูกในเดือนที่ 6

การศึกษาปริมาณธาตุอาหารรองของดินระหว่างปลูกในเดือนที่ 6 (ตารางที่ 6) พบว่ามีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ระหว่าง $265.01 \text{ mg.kg}^{-1}$ – $422.99 \text{ mg.kg}^{-1}$ และปริมาณแคลเซียมที่พบนี้อยู่ในระดับเหมาะสมต่อการปลูกอ้อย ซึ่งปริมาณแคลเซียมในดินระหว่างปลูกอ้อยอายุ 6 เดือนนี้มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าดินก่อนปลูกอ้อยและดินที่ใช้ปลูกอ้อยอายุ 3 เดือนมาก (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) ศึกษาปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้พบระหว่าง 37.20 mg.kg^{-1} - 67.83 mg.kg^{-1} ซึ่งอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อการปลูกอ้อยและไม่แตกต่างกันระหว่างดินที่ใช้ปลูกอ้อยอายุ 3 เดือนและดินก่อนปลูกอ้อย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) และปริมาณกำมะถันที่สกัดได้พบในปริมาณที่น้อยกว่า 0.05 mg.kg^{-1} ทำให้ไม่เพียงพอต่อการปลูกอ้อย เช่นเดียวกันกับปริมาณกำมะถันทั้งในดินก่อนปลูกและดินระหว่างปลูกอ้อย 3 เดือน (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) (ตารางผนวกที่ 2)

ตารางที่ 6 ปริมาณธาตุอาหารรองในดินที่ใช้ปลูกอ้อยอายุ 6 เดือน

ตำรับทดลอง	ปริมาณธาตุอาหารรองในดินปลูกอ้อยอายุ 6 เดือน (mg.kg ⁻¹)		
	Exch Ca	Exch Mg	Extr S
Control	327.01	48.22	nd
NPK 100%	308.96	67.83	nd
NPK 75%	305.40	44.64	nd
NPK 50%	312.88	49.40	nd
HA 50 kg/rai	277.15	41.30	nd
HA 25 kg/rai	299.51	51.22	nd
NPK 100% + HA 50 kg/rai	265.01	37.20	nd
NPK 100% + HA 25 kg/rai	277.33	41.41	nd
NPK 75% + HA 50 kg/rai	422.99	51.55	nd
NPK 75% + HA 25 kg/rai	304.54	43.74	nd
NPK 50% + HA 50 kg/rai	298.34	42.87	nd
NPK 50% + HA 25 kg/rai	330.57	44.14	nd
F-test	ns	ns	-
CV (%)	27.72	37.51	-

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

nd = ไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าได้ (not detectable)

ปริมาณแคลเซียมในดินก่อนปลูกพบว่าอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย (ตารางที่ 2) แต่หลังจากปลูกอ้อย 3 เดือนพบว่าปริมาณแคลเซียมลดลง (ตารางที่ 5) หลังจากปลูก 6 เดือนพบว่าปริมาณแคลเซียมในดินสูงขึ้น (ตารางที่ 6) และไม่พบปริมาณแคลเซียมที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย ในเดือนที่ 3 หลังจากปลูกอ้อยพบปริมาณแคลเซียมในดินของแปลงที่ใส่กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75% สูงกว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 100% เพียงอย่างเดียว และแปลงที่ใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว มีรายงานว่ากรดฮิวมิกสามารถสร้างพันธะกับ

แคลเซียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Mayhew, 2004) และการจับกันนี้ก็ช่วยในการลำเลียงแคลเซียมเข้าสู่รากพืชได้ดี (Pettit, 2004)

ปริมาณแมกนีเซียมในดินก่อนปลูกอยู่ในระดับที่สูงและเพียงพอต่อความต้องการของอ้อย (ตารางที่ 2) และหลังจากปลูกอ้อยแล้ว 3 เดือน (ตารางที่ 5) และ 6 เดือน (ตารางที่ 6) พบว่าปริมาณแมกนีเซียมในทุกลำดับไม่มีความแตกต่างกันและยังอยู่ในระดับที่อ้อยต้องการ

ในกรดฮิวมิกพบปริมาณกำมะถันอยู่ในระดับสูง แต่กลับไม่พบปริมาณกำมะถันในดินก่อนปลูก (ตารางที่ 2) หลังจากปลูก 3 เดือน (ตารางที่ 5) และ 6 เดือน (ตารางที่ 6) ในทุกลำดับการทดลอง เนื่องจาก 90% ของกำมะถันที่พบในดินจะอยู่ในรูปอินทรีย์ อินทรีย์วัตถุในดินจึงเป็นแหล่งของกำมะถันในดินโดยตรง ทำให้กำมะถันมีความสัมพันธ์กับอินทรีย์วัตถุ (พัชร, 2550) และในดินก่อนปลูกก็มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับต่ำ ทำให้ดินที่ใช้ในการปลูกอ้อยมีปริมาณกำมะถันไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย

3.6 ผลการศึกษาปริมาณจุลธาตุของดินระหว่างปลูกในเดือนที่ 3

การศึกษาปริมาณจุลธาตุในดินที่ใช้ปลูกอ้อย 3 เดือน (ตารางที่ 7) พบปริมาณเหล็กที่สกัดได้สูงที่สุดในแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 75% รวมกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ พบ 39.96 mg.kg^{-1} โดยเปรียบเทียบกับแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวและแปลงที่ใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว และพบปริมาณเหล็กในดินระหว่างปลูกอ้อย 3 เดือนมากกว่าในดินก่อนปลูกอ้อย พบปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้อยู่ในช่วง $23.40 \text{ mg.kg}^{-1} - 42.26 \text{ mg.kg}^{-1}$ ซึ่งอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อการปลูกอ้อยและใกล้เคียงกับปริมาณแมงกานีสที่พบในดินก่อนปลูกอ้อย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) เมื่อศึกษาปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดิน พบปริมาณสังกะสีในช่วง $0.55 \text{ mg.kg}^{-1} - 0.88 \text{ mg.kg}^{-1}$ ซึ่งเพียงพอต่อการปลูกอ้อยและอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับปริมาณสังกะสีในดินก่อนปลูก (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) และพบปริมาณทองแดงที่สกัดได้อยู่ในช่วง $0.19 \text{ mg.kg}^{-1} - 0.58 \text{ mg.kg}^{-1}$ ซึ่งอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชเช่นเดียวกันและไม่แตกต่างจากปริมาณทองแดงในดินก่อนปลูก (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) (ตารางผนวกที่ 2)

ตารางที่ 7 ปริมาณจุลธาตุในดินที่ใช้ปลูกข้าวอายุ 3 เดือน

ตำรับทดลอง	ปริมาณจุลธาตุในดินปลูกข้าวอายุ 3 เดือน (mg.kg ⁻¹)			
	Extr Fe	Extr Mn	Extr Zn	Extr Cu
Control	22.01 bc ^{1/}	23.40	0.56	0.31
NPK 100%	27.48 bc	42.26	0.75	0.31
NPK 75%	26.72 bc	36.82	0.70	0.19
NPK 50%	24.03 bc	34.37	0.88	0.34
HA 50 kg/rai	26.82 bc	41.35	0.55	0.42
HA 25 kg/rai	20.26 c	26.61	0.60	0.33
NPK 100% + HA 50 kg/rai	27.33 bc	31.62	0.67	0.30
NPK 100% + HA 25 kg/rai	30.47 b	40.40	0.60	0.30
NPK 75% + HA 50 kg/rai	39.96 a	30.61	0.74	0.58
NPK 75% + HA 25 kg/rai	23.02 bc	30.66	0.80	0.29
NPK 50% + HA 50 kg/rai	25.82 bc	33.70	0.59	0.23
NPK 50% + HA 25 kg/rai	26.78 bc	38.52	0.68	0.40
F-test	**	ns	ns	ns
CV (%)	27.52	30.85	37.26	53.07

หมายเหตุ ^{1/} = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

3.7 ผลการศึกษาปริมาณจุลธาตุของดินระหว่างปลูกในเดือนที่ 6

ศึกษาปริมาณจุลธาตุของดินระหว่างการปลูกข้าวในเดือนที่ 6 (ตารางที่ 8) พบว่าปริมาณเหล็กที่สกัดได้อยู่ระหว่าง 21.69 mg.kg⁻¹ - 29.74 mg.kg⁻¹ ซึ่งมีปริมาณเหล็กไม่แตกต่างจากดินที่ใช้ปลูกข้าว 3 เดือนแต่มีปริมาณเหล็กมากกว่าดินก่อนปลูก มีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้

อยู่ในช่วง $33.49 \text{ mg.kg}^{-1} - 50.80 \text{ mg.kg}^{-1}$ ซึ่งมากกว่าปริมาณแมงกานีสในดินระหว่างปลูก 3 เดือนและมากกว่าดินก่อนปลูกเช่นเดียวกัน และอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อการนำไปใช้ของอ้อย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) พบปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ $0.51 \text{ mg.kg}^{-1} - 0.91 \text{ mg.kg}^{-1}$ ซึ่งอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการปลูกอ้อยและไม่มีความต่างกันของปริมาณสังกะสีในดินระหว่างปลูก 3 เดือนและดินก่อนปลูกอ้อย (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) และพบปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในช่วง $0.00 \text{ mg.kg}^{-1} - 0.32 \text{ mg.kg}^{-1}$ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อยและยังอยู่ในระดับที่น้อยกว่าดินก่อนปลูกและระหว่างปลูกอ้อย 3 เดือน (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544) (ตารางผนวกที่ 2)

ตารางที่ 8 ปริมาณจุลธาตุในดินที่ใช้ปลูกอ้อยอายุ 6 เดือน

ดำรับทดลอง	ปริมาณจุลธาตุในดินปลูกอ้อยอายุ 6 เดือน (mg.kg^{-1})			
	Extr Fe	Extr Mn	Extr Zn	Extr Cu
Control	24.47	42.81	0.87	0.20
NPK 100%	22.52	49.39	0.91	0.32
NPK 75%	26.22	40.67	0.74	0.00
NPK 50%	21.69	33.49	0.63	0.05
HA 50 kg/rai	26.63	42.95	0.51	0.06
HA 25 kg/rai	24.59	49.53	0.73	0.20
NPK 100% + HA 50 kg/rai	25.14	38.04	0.65	0.09
NPK 100% + HA 25 kg/rai	29.74	43.50	0.63	0.05
NPK 75% + HA 50 kg/rai	29.16	50.80	0.53	0.00
NPK 75% + HA 25 kg/rai	24.98	34.41	0.76	0.00
NPK 50% + HA 50 kg/rai	23.36	34.38	0.55	0.00
NPK 50% + HA 25 kg/rai	28.37	41.59	0.67	0.08
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	22.55	28.11	46.20	204.12

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณเหล็กที่พบในดินก่อนปลูกอยู่ในระดับต่ำ (ตารางที่ 2) และดินระหว่างปลูก 3 เดือน (ตารางที่ 7) และ 6 เดือน (ตารางที่ 8) ไม่มีความแตกต่างกันของปริมาณเหล็กในดิน ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย แต่ในเดือนที่ 3 พบว่าการให้กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75% ทำให้มีปริมาณเหล็กในดินสูงกว่าแปลงที่ให้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และแปลงที่ให้กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว มีผลการศึกษาว่ากรดฮิวมิกสามารถสร้างพันธะกับธาตุโลหะ เช่น เหล็ก สังกะสี ทองแดง แมงกานีส (Yingei, 1988) โดยจับกันอยู่ในรูปของคีเลต (Mayhew, 2004) ซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความเสถียรสูงและเกี่ยวข้องกับกลุ่มฟังก์ชันนอลที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบหลัก โดยเฉพาะกลุ่ม carboxylate (COO^-) (Stevenson, 1994) ดังโครงสร้างของกรดฮิวมิกโดย Stevenson (1994) ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น (ภาพที่ 1) โดยที่กระบวนการเกิดคีเลตนี้ทำให้เพิ่มอัตราการไหลของมวลแร่ธาตุไปยังราก (Pettit, 2004; Mikkelsen, 2005)

ปริมาณแมงกานีสในดินก่อนปลูก (ตารางที่ 2) ระหว่างปลูก 3 เดือน (ตารางที่ 7) และ 6 เดือน (ตารางที่ 8) อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย และพบว่าไม่มีความแตกต่างกันของแปลงที่ใส่กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ย การใส่ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว และการใส่แต่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว

ปริมาณสังกะสีในดินก่อนปลูก (ตารางที่ 2) ระหว่างปลูก 3 เดือน (ตารางที่ 7) และ 6 เดือน (ตารางที่ 8) อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อยและพบว่าไม่มีความแตกต่างกันของแปลงที่ใส่กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ย การใส่ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว และการใส่แต่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียวเช่นเดียวกัน

ปริมาณทองแดงในดินก่อนปลูก (ตารางที่ 2) ระหว่างปลูก 3 เดือน (ตารางที่ 7) อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย แต่ปริมาณทองแดงลดลงในเดือนที่ 6 (ตารางที่ 8) และพบว่าไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย ซึ่งดินที่ใช้ในการปลูกอ้อยนี้ไม่มีความแตกต่างกันของปริมาณทองแดงในแปลงที่ใส่กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ย การใส่ปุ๋ยเพียงอย่างเดียว และการใส่แต่กรดฮิวมิก จากการศึกษาของ Malavolta (1994) พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่มากเกินไปนั้นยับยั้งการดูดซึมทองแดงของอ้อย

4. การศึกษาข้อมูลทางด้านพืช

4.1 ปริมาณธาตุอาหารในใบอ้อย

4.1.1 ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักในใบอ้อยที่อายุ 3 เดือน

การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักในใบอ้อยที่อายุ 3 เดือน (ตารางที่ 9) พบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.19% - 0.58% ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำและไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย (Reuter and Robinson, 1997; ยงยุทธ และคณะ, 2551) ศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดพบว่า แปลงที่มีการให้น้ำปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.38% มากกว่าแปลงที่มีการใส่น้ำปุ๋ย 100% เพียงอย่างเดียว หรือใส่แต่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว แต่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ้อยก็ยังต่ำกว่าระดับที่พืชต้องการในทุกพื้นที่ (Reuter and Robinson, 1997; ยงยุทธ และคณะ, 2551) เช่นเดียวกับปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในทุกพื้นที่ที่ไม่มีความแตกต่างกันอยู่ระหว่าง 1.06% - 1.29% และไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย (Reuter and Robinson, 1997; ยงยุทธ และคณะ, 2551) (ตารางผนวกที่ 5)

ตารางที่ 9 ปริมาณธาตุอาหารหลักในใบอ้อยที่อายุ 3 เดือน

ตำรับทดลอง	ปริมาณธาตุอาหารหลักในใบอ้อยอายุ 3 เดือน (%)		
	Total N	Total P	Total K
Control	0.19	0.32 abcd ^{1/}	1.17
NPK 100%	0.45	0.32 abcd	1.29
NPK 75%	0.23	0.29 abcd	1.28
NPK 50%	0.19	0.27 cd	1.28
HA 50 kg/rai	0.20	0.29 bcd	1.27
HA 25 kg/rai	0.23	0.25 d	1.28
NPK 100% + HA 50 kg/rai	0.20	0.38 ab	1.18
NPK 100% + HA 25 kg/rai	0.21	0.27 cd	1.28
NPK 75% + HA 50 kg/rai	0.28	0.38 a	1.27
NPK 75% + HA 25 kg/rai	0.58	0.35 abc	1.14
NPK 50% + HA 50 kg/rai	0.31	0.28 cd	1.06
NPK 50% + HA 25 kg/rai	0.31	0.30 abcd	1.23
F-test	ns	*	ns
CV (%)	99.42	21.01	13.22

หมายเหตุ ^{1/} = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.1.2 ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักในใบอ้อยที่อายุ 6 เดือน

การศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักในใบอ้อยที่อายุ 6 เดือน (ตารางที่ 10) พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว 50%, 75% และ 100% และแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับกรดฮิวมิกได้แก่ ปุ๋ยเคมี 50% ร่วมกับกรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่

ปุ๋ยเคมี 100% ร่วมกับกรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.97%, 1.00%, 1.08%, 0.95%, 0.97%, 1.05%, 1.04%, 1.08% และ 1.08% ตามลำดับ มากกว่าแปลงที่ไม่ใส่ทั้งปุ๋ยเคมีและกรดฮิวมิก และแปลงที่ใส่เพียงกรดฮิวมิกอย่างเดียว และยังมากกว่าปริมาณไนโตรเจนในใบที่อายุ 3 เดือนแต่ปริมาณไนโตรเจนที่พบอยู่ในระดับที่ไม่เพียงพอต่อการเติบโตของอ้อย (Reuter and Robinson, 1997; ยงยุทธ และคณะ, 2551) ศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในใบอ้อยอายุ 6 เดือน พบว่าอยู่ในช่วง 0.11% - 0.19% ซึ่งไม่เพียงพอต่อการเติบโตของอ้อยและลดลงจากปริมาณฟอสฟอรัสในใบอ้อยอายุ 3 เดือน (Reuter and Robinson, 1997; ยงยุทธ และคณะ, 2551) และศึกษาปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด พบว่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.95% - 1.13% ซึ่งไม่แตกต่างจากปริมาณโพแทสเซียมในใบอ้อยอายุ 3 เดือนและยังคงไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อยเช่นเดียวกัน (Reuter and Robinson, 1997; ยงยุทธ และคณะ, 2551) (ตารางผนวกที่ 5)

ตารางที่ 10 ปริมาณธาตุอาหารหลักในใบอ้อยที่อายุ 6 เดือน

ตำรับทดลอง	ปริมาณธาตุอาหารหลักในใบอ้อยอายุ 6 เดือน (%)		
	Total N	Total P	Total K
Control	0.67 b ^{1/}	0.13	0.95
NPK 100%	1.08 a	0.17	0.97
NPK 75%	1.00 a	0.19	1.13
NPK 50%	0.97 a	0.13	1.03
HA 50 kg/rai	0.85 ab	0.12	1.02
HA 25 kg/rai	0.86 ab	0.11	1.01
NPK 100% + HA 50 kg/rai	1.08 a	0.15	1.05
NPK 100% + HA 25 kg/rai	1.08 a	0.15	0.98
NPK 75% + HA 50 kg/rai	1.04 a	0.15	1.02
NPK 75% + HA 25 kg/rai	1.05 a	0.16	1.01
NPK 50% + HA 50 kg/rai	0.97 a	0.17	1.04
NPK 50% + HA 25 kg/rai	0.95 a	0.12	1.02
F-test	**	ns	ns
CV (%)	17.98	32.33	11.60

หมายเหตุ ^{1/} = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ปริมาณไนโตรเจนในใบอ้อยเดือนที่ 3 (ตารางที่ 9) และเดือนที่ 6 (ตารางที่ 10) อยู่ในระดับที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย พบว่าในเดือนที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกันของปริมาณไนโตรเจน แต่ในเดือนที่ 6 พบว่าแปลงที่ใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียวและแปลงที่ไม่ใส่ทั้งกรดฮิวมิกและปุ๋ยเคมี มีปริมาณไนโตรเจนน้อยกว่าแปลงที่ได้รับปุ๋ยเคมีและแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับกรดฮิวมิก Tan and Nopamornbodi (1979) รายงานว่าการให้กรดฮิวมิกความเข้มข้น 640 ppm ใน

ต้นข้าวโพดที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโพนิกส์มีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการใส่กรดฮิวมิกลงไปในดินก็ช่วยเพิ่มการดูดซึมไนโตรเจนในใบข้าวโพด (Khaled and Fawy, 2011) และในข้าวสาลีได้ (Asik *et al.*, 2009; Katkat *et al.*, 2009)

ปริมาณฟอสฟอรัสในใบอ้อยทั้งเดือนที่ 3 (ตารางที่ 9) และเดือนที่ 6 (ตารางที่ 10) ไม่มีความแตกต่างกันของปริมาณฟอสฟอรัสและยังคงอยู่ในระดับที่ไม่เพียงพอต่ออ้อย และพบว่าในเดือนที่ 3 แปลงที่ใส่กรดฮิวมิค 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75% มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุดซึ่งมากกว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 100% และแปลงที่ใส่กรดฮิวมิคเพียงอย่างเดียว จากการศึกษาการใช้กรดฮิวมิคความเข้มข้น 15 mg.kg^{-1} ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสในต้นอ้อยเพิ่มขึ้น (Khan *et al.*, 2012) และการให้กรดฮิวมิคทางใบก็ยังช่วยเพิ่มการดูดซึมฟอสฟอรัสในข้าวโพดได้เช่นเดียวกัน (Khaled and Fawy, 2011)

ปริมาณโพแทสเซียมในใบอ้อยทั้งเดือนที่ 3 (ตารางที่ 9) และเดือนที่ 6 (ตารางที่ 10) พบว่าอยู่ในระดับที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อยและไม่มีความแตกต่างกันของปริมาณโพแทสเซียมทั้งสองระยะการเติบโต

4.1.3 ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารรองในใบอ้อยที่อายุ 3 เดือน

ศึกษาปริมาณธาตุอาหารรองในใบอ้อยที่อายุ 3 เดือน (ตารางที่ 11) พบว่าปริมาณแคลเซียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.17% - 0.21% ซึ่งอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย (Reuter and Robinson, 1997; ยงยุทธ และคณะ, 2551) ศึกษาปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมด พบว่าอยู่ในช่วง 0.10% - 0.12% และเพียงพอต่อความต้องการของอ้อย (Reuter and Robinson, 1997; ยงยุทธ และคณะ, 2551) และพบปริมาณกำมะถันทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.0032% - 0.0077% ซึ่งอยู่ในระดับไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย (Reuter and Robinson, 1997; ยงยุทธ และคณะ, 2551) (ตารางผนวกที่ 5)

ตารางที่ 11 ปริมาณธาตุอาหารรองในใบอ้อยอายุ 3 เดือน

ตำรับทดลอง	ปริมาณธาตุอาหารรองในใบอ้อยอายุ 3 เดือน (%)		
	Total Ca	Total Mg	Total S
Control	0.21	0.11	0.0036
NPK 100%	0.18	0.10	0.0037
NPK 75%	0.18	0.11	0.0032
NPK 50%	0.18	0.12	0.0046
HA 50 kg/rai	0.20	0.11	0.0077
HA 25 kg/rai	0.18	0.10	0.0052
NPK 100% + HA 50 kg/rai	0.18	0.11	0.0054
NPK 100% + HA 25 kg/rai	0.20	0.10	0.0050
NPK 75% + HA 50 kg/rai	0.20	0.11	0.0036
NPK 75% + HA 25 kg/rai	0.20	0.11	0.0033
NPK 50% + HA 50 kg/rai	0.17	0.11	0.0046
NPK 50% + HA 25 kg/rai	0.18	0.10	0.0058
F-test	ns	ns	ns
CV (%)	13.13	12.33	49.13

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.1.4 ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารรองในใบอ้อยอายุ 6 เดือน

การศึกษาปริมาณธาตุอาหารรองในใบอ้อยอายุ 6 เดือน (ตารางที่ 12) พบว่าปริมาณแคลเซียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.17% - 0.28% ซึ่งอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อยและไม่แตกต่างจากปริมาณแคลเซียมในใบอ้อยอายุ 3 เดือน (Reuter and Robinson, 1997; ยงยุทธ และคณะ, 2551) ศึกษาปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมด พบว่าแปลงที่ใส่เคมีปุ๋ยเพียงอย่างเดียว 100% และแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดสูงสุดที่ 0.11% ทั้งสองตำรับการทดลอง มากกว่าปริมาณแมกนีเซียมในแปลงที่ใส่กรดฮิวมิ

กเพียงอย่างเดียว ซึ่งไม่แตกต่างจากปริมาณแมกนีเซียมในใบอ้อยอายุ 3 เดือนแต่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย (Reuter and Robinson, 1997; ยงยุทธ และคณะ, 2551) ศึกษาปริมาณกำมะถันทั้งหมดในใบอ้อย พบว่าปริมาณกำมะถันอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าความต้องการของอ้อย พบอยู่ในช่วง 0.0000% - 0.0063% และไม่แตกต่างกับปริมาณกำมะถันในใบอ้อยที่อายุ 3 เดือน (Reuter and Robinson, 1997) (ตารางผนวกที่ 5)

ตารางที่ 12 ปริมาณธาตุอาหารรองในใบอ้อยอายุ 6 เดือน

ตำรับทดลอง	ปริมาณธาตุอาหารรองในใบอ้อยอายุ 6 เดือน (%)		
	Total Ca	Total Mg	Total S
Control	0.21	0.08 bcd ^{1/}	0.0010
NPK 100%	0.27	0.11 a	0.0029
NPK 75%	0.19	0.09 abcd	0.0034
NPK 50%	0.19	0.10 abc	0.0013
HA 50 kg/rai	0.19	0.07 d	0.0000
HA 25 kg/rai	0.20	0.08 cd	0.0017
NPK 100% + HA 50 kg/rai	0.28	0.11 a	0.0027
NPK 100% + HA 25 kg/rai	0.22	0.09 abcd	0.0045
NPK 75% + HA 50 kg/rai	0.19	0.10 abc	0.0055
NPK 75% + HA 25 kg/rai	0.17	0.10 ab	0.0026
NPK 50% + HA 50 kg/rai	0.20	0.09 abcd	0.0063
NPK 50% + HA 25 kg/rai	0.19	0.08 bcd	0.0003
F-test	ns	**	ns
CV (%)	31.41	15.97	190.47

หมายเหตุ ^{1/} = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ปริมาณแคลเซียมในใบอ้อยทั้งเดือนที่ 3 (ตารางที่ 11) และเดือนที่ 6 (ตารางที่ 12) ไม่มีความแตกต่างกันและอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย จากการศึกษาของ Mathers (2002) พบว่าเกิดการแข่งขันกันของแคลเซียมและโพแทสเซียม อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อ้อยขาดโพแทสเซียมได้

ปริมาณแมกนีเซียมในใบอ้อยเดือนที่ 3 (ตารางที่ 11) อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย แต่ในอ้อยอายุ 6 เดือน (ตารางที่ 12) ปริมาณแมกนีเซียมอยู่ในระดับที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย และพบว่าในแปลงที่ใส่กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 100% และแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 100% เพียงอย่างเดียวมีปริมาณแมกนีเซียมมากกว่าแปลงอื่นๆ

ปริมาณกำมะถันในอ้อยอายุ 3 เดือน (ตารางที่ 11) และ 6 เดือน (ตารางที่ 12) อยู่ในระดับที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อยและไม่มีความแตกต่างกันของปริมาณกำมะถันทั้งสองเดือน และสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อ้อยขาดกำมะถัน คือไม่พบปริมาณกำมะถันในดินก่อนปลูก ระหว่างปลูกทั้ง 3 เดือนและ 6 เดือน

4.1.5 ผลการศึกษาปริมาณจุลธาตุ

การศึกษาปริมาณจุลธาตุในใบอ้อยที่อายุ 3 เดือน (ตารางที่ 13) พบว่ามีปริมาณเหล็กทั้งหมดในทุกตำรับการทดลองในปริมาณที่สูง ยกเว้นแปลงทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่มีปริมาณเหล็กทั้งหมดต่ำกว่าทุกตำรับการทดลอง คือ 85.47 mg.kg^{-1} แต่ปริมาณเหล็กในทุกตำรับการทดลองเพียงพอต่อความต้องการของอ้อย (Reuter and Robinson, 1997) ศึกษาปริมาณแมงกานีสทั้งหมดพบว่า มีปริมาณอยู่ในช่วง $76.36 \text{ mg.kg}^{-1} - 109.15 \text{ mg.kg}^{-1}$ ซึ่งไม่พบปริมาณแมงกานีสในระดับที่ต่ำกว่าความต้องการของอ้อย (Reuter and Robinson, 1997) ศึกษาปริมาณสังกะสีทั้งหมด พบว่าอยู่ในช่วง $15.00 \text{ mg.kg}^{-1} - 18.44 \text{ mg.kg}^{-1}$ ซึ่งยังอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย (Reuter and Robinson, 1997) ศึกษาปริมาณทองแดงทั้งหมด พบว่าในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว 100% มีปริมาณทองแดงสูงกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ คือ 11.84 mg.kg^{-1} แต่ปริมาณทองแดงทั้งหมดในทุกตำรับการทดลองนี้อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย (Reuter and Robinson, 1997) (ตารางผนวกที่ 5)

ตารางที่ 13 ปริมาณจุลธาตุในใบอ้อยอายุ 3 เดือน

ตำรับทดลอง	ปริมาณจุลธาตุในใบอ้อยอายุ 3 เดือน (mg.kg ⁻¹)			
	Total Fe	Total Mn	Total Zn	Total Cu
Control	107.07 a ^{1/}	97.81	15.00	9.18 b ^{1/}
NPK 100%	100.00 a	80.65	18.44	11.84 a
NPK 75%	101.53 a	92.68	16.83	10.02 b
NPK 50%	112.73 a	99.89	18.06	10.38 b
HA 50 kg/rai	112.15 a	100.99	18.19	10.07 b
HA 25 kg/rai	102.98 a	76.36	16.29	9.29 b
NPK 100% + HA 50 kg/rai	107.49 a	109.15	16.16	9.60 b
NPK 100% + HA 25 kg/rai	106.92 a	103.24	16.76	10.19 b
NPK 75% + HA 50 kg/rai	85.47 b	81.59	17.05	10.09 b
NPK 75% + HA 25 kg/rai	113.63 a	83.32	15.49	9.84 b
NPK 50% + HA 50 kg/rai	101.01 a	87.20	16.57	10.42 b
NPK 50% + HA 25 kg/rai	99.51 a	87.43	15.76	9.70 b
F-test	*	ns	ns	*
CV (%)	10.86	21.65	12.65	10.44

หมายเหตุ ^{1/} = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.1.6 ผลการศึกษาปริมาณจุลธาตุอาหารในใบอ้อยที่อายุ 6 เดือน

ศึกษาปริมาณจุลธาตุในใบอ้อยอายุ 6 เดือน (ตารางที่ 14) พบว่าปริมาณเหล็กทั้งหมดอยู่ในช่วง 92.77 mg.kg⁻¹ – 135.04 mg.kg⁻¹ ซึ่งพบในระดับที่เหมาะสมต่อความต้องการของอ้อยและไม่ต่างจากปริมาณเหล็กในใบอ้อยอายุ 3 เดือน (Reuter and Robinson,

1997) ศึกษาปริมาณแมงกานีสทั้งหมดในใบอ้อย ไม่พบปริมาณแมงกานีสในทุกตำรับการทดลอง ต่ำกว่าความต้องการของอ้อย (Reuter and Robinson, 1997) โดยอยู่ในช่วง 65.17 mg.kg^{-1} – 99.12 mg.kg^{-1} แต่ปริมาณแมงกานีสในใบอ้อยอายุ 6 เดือนน้อยกว่าปริมาณแมงกานีสในใบอ้อยอายุ 3 เดือน ศึกษาปริมาณสังกะสีทั้งหมด พบว่าช่วงในระดับ 13.76 mg.kg^{-1} – 59.63 mg.kg^{-1} และเพียงพอต่อความต้องการของอ้อยและพบในระดับที่เพิ่มมากกว่าในใบอ้อยอายุ 3 เดือน (Reuter and Robinson, 1997) ศึกษาปริมาณทองแดงทั้งหมด พบว่าอยู่ในช่วง 3.34 mg.kg^{-1} – 8.97 mg.kg^{-1} ซึ่งน้อยกว่าปริมาณทองแดงในใบอ้อยอายุ 3 เดือนแต่ยังคงอยู่ในระดับเพียงพอที่อ้อยต้องการ (Reuter and Robinson, 1997) (ตารางผนวกที่ 5)

ตารางที่ 14 ปริมาณจุลธาตุในใบอ้อยอายุ 6 เดือน

ตำรับการทดลอง	ปริมาณจุลธาตุในใบอ้อยอายุ 6 เดือน (mg.kg^{-1})			
	Total Fe	Total Mn	Total Zn	Total Cu
Control	119.69	65.17	31.88	6.17
NPK 100%	115.35	71.48	22.28	4.97
NPK 75%	113.60	86.52	59.63	8.97
NPK 50%	99.27	72.06	16.97	3.44
HA 50 kg/rai	96.88	73.85	14.62	3.65
HA 25 kg/rai	113.95	68.08	13.76	3.74
NPK 100% + HA 50 kg/rai	129.73	99.12	31.64	5.79
NPK 100% + HA 25 kg/rai	135.04	91.47	15.61	4.21
NPK 75% + HA 50 kg/rai	112.68	71.74	31.49	5.24
NPK 75% + HA 25 kg/rai	108.14	66.37	34.26	6.05
NPK 50% + HA 50 kg/rai	92.77	68.52	14.11	3.34
NPK 50% + HA 25 kg/rai	129.79	72.78	19.67	6.23
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	18.08	29.70	103.33	65.08

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณเหล็กในอ้อยทั้งเดือนที่ 3 (ตารางที่ 13) และเดือนที่ 6 (ตารางที่ 14) อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย พบว่าในเดือนที่ 3 แปลงที่ใส่กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75% มีปริมาณเหล็กน้อยกว่าในทุกตำรับการทดลอง ผลที่ได้นี้สอดคล้องในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณเหล็กในดินที่ใช้ปลูกอ้อยอายุ 3 เดือนซึ่งพบปริมาณเหล็กในแปลงที่ใส่กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75% มีปริมาณเหล็กมากกว่าในทุกตำรับการทดลอง

ปริมาณแมงกานีสในใบอ้อยอายุ 3 เดือน (ตารางที่ 13) และอายุ 6 เดือน (ตารางที่ 14) ไม่พบปริมาณแมงกานีสในตำรับการทดลองใดต่ำกว่าความต้องการของอ้อย และไม่มี ความแตกต่างของปริมาณแมงกานีสในทุกตำรับการทดลอง

ปริมาณสังกะสีในใบอ้อยอายุ 3 เดือน (ตารางที่ 13) และอายุ 6 เดือน (ตารางที่ 14) ไม่พบปริมาณสังกะสีในตำรับการทดลองใดต่ำกว่าความต้องการของอ้อย และไม่มี ความแตกต่างของปริมาณสังกะสีในทุกตำรับการทดลอง

ปริมาณทองแดงในใบอ้อยเดือนที่ 3 (ตารางที่ 13) มีปริมาณทองแดงเพียงพอต่อ ความต้องการของอ้อย พบว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว 100% มีปริมาณทองแดงมากที่สุด ในเดือนที่ 6 (ตารางที่ 14) พบว่าปริมาณทองแดงไม่มีความแตกต่างกันในทุกตำรับการทดลอง แต่พบปริมาณทองแดงน้อยกว่าเดือนที่ 3 และไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย

Eyheraguibel *et al.* (2008) ทดลองให้กรดฮิวมิกในข้าวโพดพบว่า ทำให้ปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสีและทองแดงเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับ Khan *et al.* (2012) ทดลองใช้กรดฮิวมิกความเข้มข้น 15 ppm ทำให้ต้นถั่วมีปริมาณธาตุเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Khaled and Fawy (2011) ศึกษาการให้กรดฮิวมิกทางใบข้าวโพด และ Asik *et al.* (2009) กับ Katkat *et al.* (2009) ที่ให้กรดฮิวมิกทางใบกับข้าวสาลี เช่นเดียวกับ Ayuso *et al.* (1996) ทดลองปลูกข้าวบาร์เลย์ด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ ก็ได้ผลการทดลองไปในแนวโน้มเดียวกัน

4.2 การเจริญเติบโตของอ้อย

4.2.1 ผลการศึกษาอัตราการงอกของอ้อยในสัปดาห์ที่ 3 และสัปดาห์ที่ 4

จากการเก็บข้อมูลอัตราการงอกของอ้อยในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 หลังจากปลูกอ้อย พบว่าอัตราการงอกของอ้อยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกตัวรับการทดลอง (ตารางที่ 15) โดยพบว่าในสัปดาห์ที่ 3 ของการเติบโตของอ้อย อัตราการงอกของอ้อยอยู่ในช่วง 0.95 ต้นต่อตารางเมตรถึง 1.62 ต้นต่อตารางเมตร ในสัปดาห์ที่ 4 หลังการเติบโตของอ้อย พบว่าอ้อยมีอัตราการงอกอยู่ที่ 2.64 ต้นต่อตารางเมตรถึง 3.28 ต้นต่อตารางเมตร โดยพบว่าในระยะแรกของการงอกนี้ อ้อยจะได้รับน้ำและอาหารส่วนใหญ่มาจากท่อนพันธุ์ (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ฯ, 2547) ทำให้ไม่มีความแตกต่างในอัตราการงอกของอ้อย

ตารางที่ 15 อัตราการงอกของอ้อยอายุ 3 สัปดาห์และ 4 สัปดาห์ (จำนวนต้นต่อตารางเมตร)

ตำรับทดลอง	อัตราการงอกของอ้อย (จำนวนต้นต่อตารางเมตร)	
	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
Control	1.04	2.69
NPK 100%	1.19	3.11
NPK 75%	1.62	3.09
NPK 50%	1.05	2.64
HA 50 kg/rai	0.95	2.96
HA 25 kg/rai	1.01	2.93
NPK 100% + HA 50 kg/rai	1.25	3.24
NPK 100% + HA 25 kg/rai	1.14	3.28
NPK 75% + HA 50 kg/rai	1.26	2.78
NPK 75% + HA 25 kg/rai	1.21	3.12
NPK 50% + HA 50 kg/rai	1.25	2.97
NPK 50% + HA 25 kg/rai	1.44	2.98
F-test	ns	ns
CV (%)	32.77	18.50

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.2.2 ผลการศึกษาความสูงของอ้อยในเดือนที่ 2 ถึงเดือนที่ 8

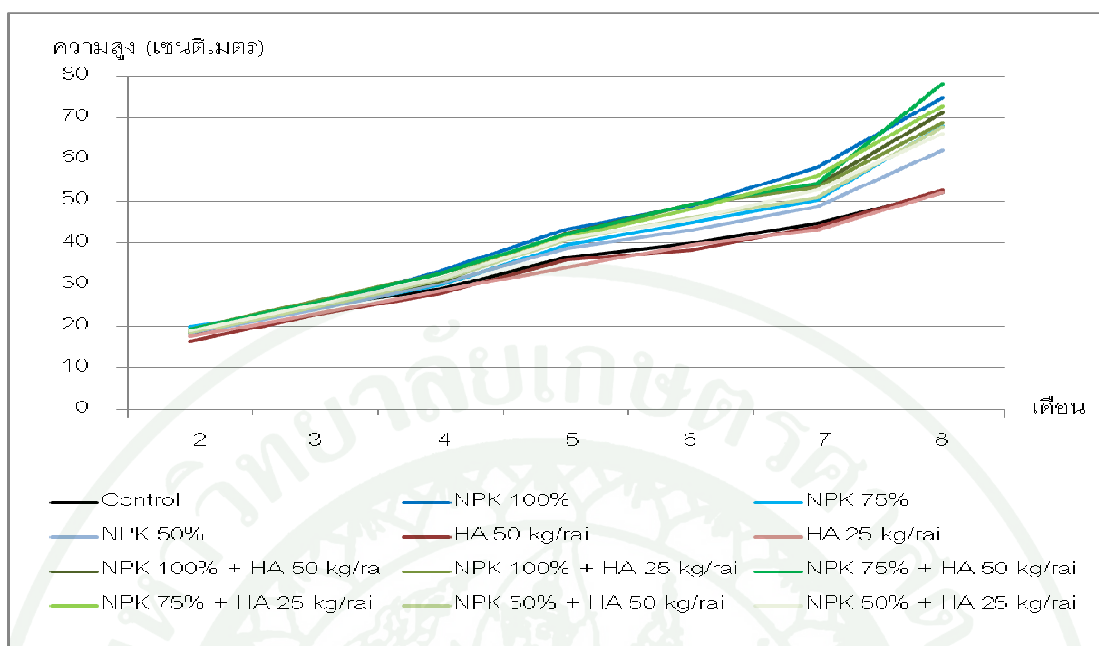
การเก็บข้อมูลความสูงของอ้อย (ภาพที่ 4) (ตารางผนวกที่ 6) พบว่าหลังจากปลูกอ้อยในเดือนที่ 2-4 การเปลี่ยนแปลงความสูงของอ้อยไม่มีความแตกต่างกันในทุกตำรับการทดลอง ในเดือนที่ 2 อ้อยมีความสูงอยู่ที่ 16.36 เซนติเมตรถึง 19.93 เซนติเมตร ในเดือนที่ 3 อ้อยมีความสูงอยู่ในช่วง 22.83 เซนติเมตรถึง 26.18 เซนติเมตร และในเดือนที่ 4 อ้อยมีความสูงอยู่ในช่วง 28.05 เซนติเมตรถึง 33.30 เซนติเมตร แต่ในช่วงอายุการเติบโตเดือนที่ 5 จนถึงเดือนที่ 8 พบว่าความสูงของอ้อยในแต่ละเดือนมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น โดยในเดือนที่ 5 พบว่าในแปลงที่

ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิกทั้ง 25 กิโลกรัมต่อไร่และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีความสูงอยู่ที่ 41.33 เซนติเมตรและ 42.10 เซนติเมตรตามลำดับ ความสูงนี้เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกับแปลงที่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว 100% คือ 43.45 เซนติเมตร เช่นเดียวกับแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 100% ร่วมกับกรดฮิวมิกทั้ง 25 กิโลกรัมต่อไร่และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ก็มีความสูงที่ 41.60 เซนติเมตร และ 42.28 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว 100% ด้วย และความสูงที่พบมากกว่าแปลงที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยเคมีและกรดฮิวมิก และ/หรือแปลงที่ใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว คือค่าความสูงของอ้อยในเดือนที่ 6 ก็ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิกทั้ง 50 กิโลกรัมต่อไร่มีความสูงเพิ่มขึ้น คือ 49.43 เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกับแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว 100% ที่ 48.98 เซนติเมตร และเช่นเดียวกับผลของความสูงของอ้อยในเดือนที่ 5 ที่พบว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 100% ร่วมกับกรดฮิวมิกทั้ง 25 กิโลกรัมต่อไร่และ 50 กิโลกรัมต่อไร่มีความสูงไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว 100% คือ 49.33 เซนติเมตรและ 49.27 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าแปลงที่ใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว คือค่าความสูงของอ้อยในเดือนที่ 7 พบว่า แปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว 100% มีความสูงมากที่สุด 58.13 เซนติเมตร และมีความสูงใกล้เคียงกับแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ คือ 56.25 เซนติเมตรและ 54.45 เซนติเมตรตามลำดับ เช่นเดียวกันกับแปลงที่ปุ๋ยเคมี 100% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ที่ความสูง 54 เซนติเมตร และศึกษาความสูงของอ้อยในเดือนที่ 8 พบว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีความสูงของอ้อยมากที่สุด 78.25 เซนติเมตร โดยมีความสูงมากกว่าแต่ใกล้เคียงกับแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว 100% Tan and Nopamornbodi (1979) พบว่าการให้กรดฮิวมิกความเข้มข้น 640 ppm ทำให้เกิดการเติบโตของลำต้นอ่อนข้าวโพด เช่นเดียวกับ Khan *et al.* (2012) ที่พบว่ากรให้กรดฮิวมิก 15 ppm ทำให้ต้นอ้อยมีความสูงเพิ่มขึ้นมากกว่าการไม่ใส่กรดฮิวมิก

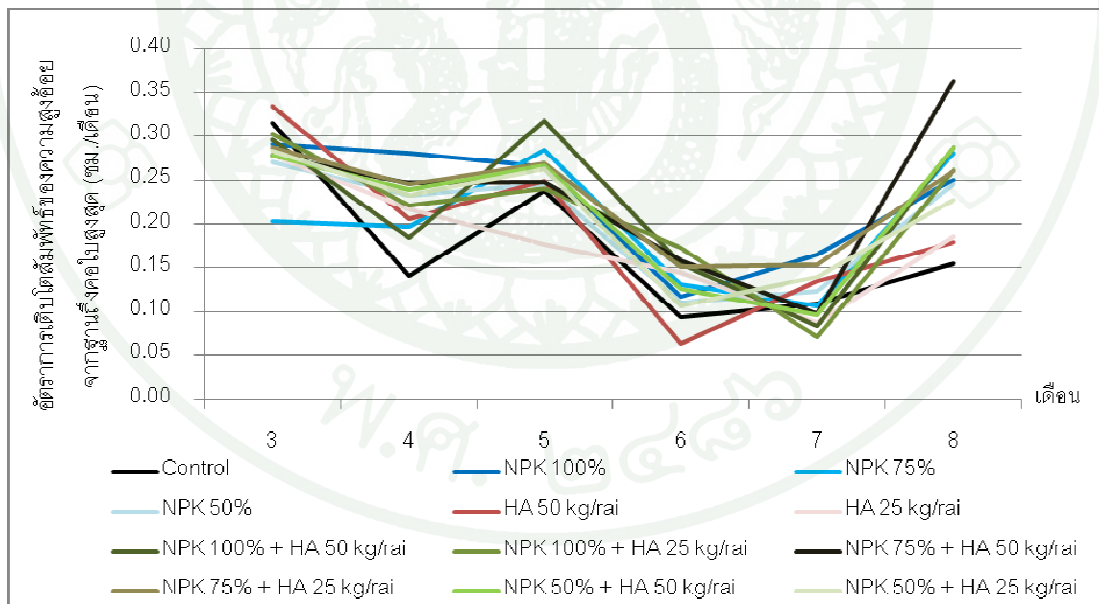
เมื่อนำความสูงของอ้อยมาวิเคราะห์อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงอ้อยจากฐานถึงคอใบสูงสุด (ภาพที่ 5) พบว่าในช่วงเดือนที่ 4 จนถึงเดือนที่ 5 อ้อยมีความสูงเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 100% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ คือ 0.18-0.32 เซนติเมตรต่อเดือน ซึ่งมากกว่าความสูงสัมพัทธ์ของอ้อยในแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และ/หรือแปลงที่ใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว แต่พบว่าอุณหภูมิในเดือนที่ 8 (ตารางผนวกที่ 11) อยู่ในช่วง 29.9-16.9 องศาเซลเซียส sugarcane crops (n.d.) รายงานว่า อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสมีผลชะลอการเติบโตของอ้อย การแตกกอ และในช่วงเดือนที่ 7 ถึงเดือนที่ 8 พบว่าความ

สูงสัมพัทธ์ของอ้อยในแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ อยู่ในช่วง 0.10-0.36 เซนติเมตร มากกว่าแปลงทดลองอื่นๆ จากตารางผนวกที่ 11 พบว่าในช่วงเดือนที่ 7 จนถึงเดือนที่ 8 อ้อยมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ 75% ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการเติบโตของอ้อยจะอยู่ที่ 80% (netafim, n.d.)





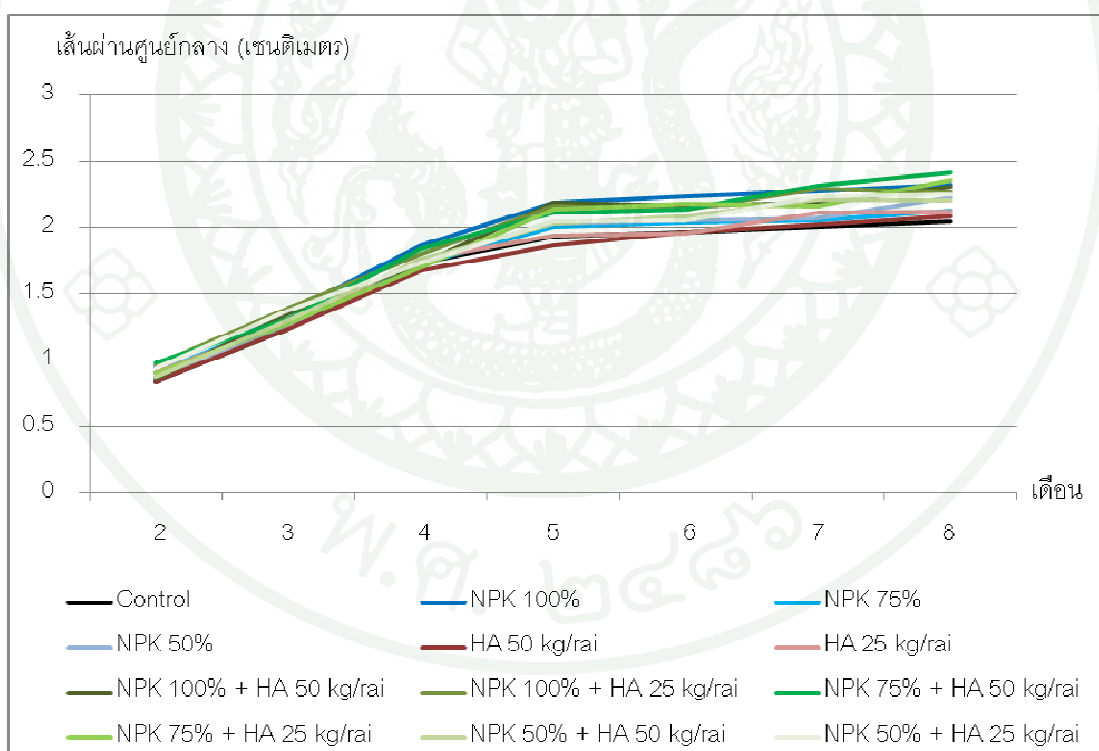
ภาพที่ 4 ความสูงจากพื้นดินถึงคอปะสูงสุดของอ้อยอายุ 2 เดือนถึง 8 เดือน



ภาพที่ 5 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ความสูงอ้อยจากฐานถึงคอปะสูงสุด (ซม. /เดือน)

4.2.3 ผลการศึกษาเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของอ้อยในเดือนที่ 2 ถึงเดือนที่ 8

การเก็บข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของอ้อยอายุ 2-8 เดือน (ภาพที่ 6) (ตารางผนวกที่ 7) พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของอ้อยในทุกตำรับการทดลองในทุกเดือนไม่มีความแตกต่างกัน ในเดือนที่ 2 อ้อยมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ 0.84 เซนติเมตรถึง 0.98 เซนติเมตร เดือนที่ 3 พบว่าอ้อยมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 1.24 เซนติเมตรถึง 1.39 เซนติเมตร ในเดือนที่ 4 อ้อยมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 1.68 เซนติเมตรถึง 1.87 เซนติเมตร ในเดือนที่ 5 อ้อยมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 1.87 เซนติเมตรถึง 2.19 เซนติเมตร ในเดือนที่ 6 อ้อยมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 1.96 เซนติเมตรถึง 2.24 เซนติเมตร ในเดือนที่ 7 อ้อยมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 2.01 เซนติเมตรถึง 2.32 เซนติเมตร และในเดือนที่ 8 อ้อยมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 2.05 เซนติเมตรถึง 2.42 เซนติเมตร



ภาพที่ 6 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของอ้อยอายุ 2 เดือนถึง 8 เดือน

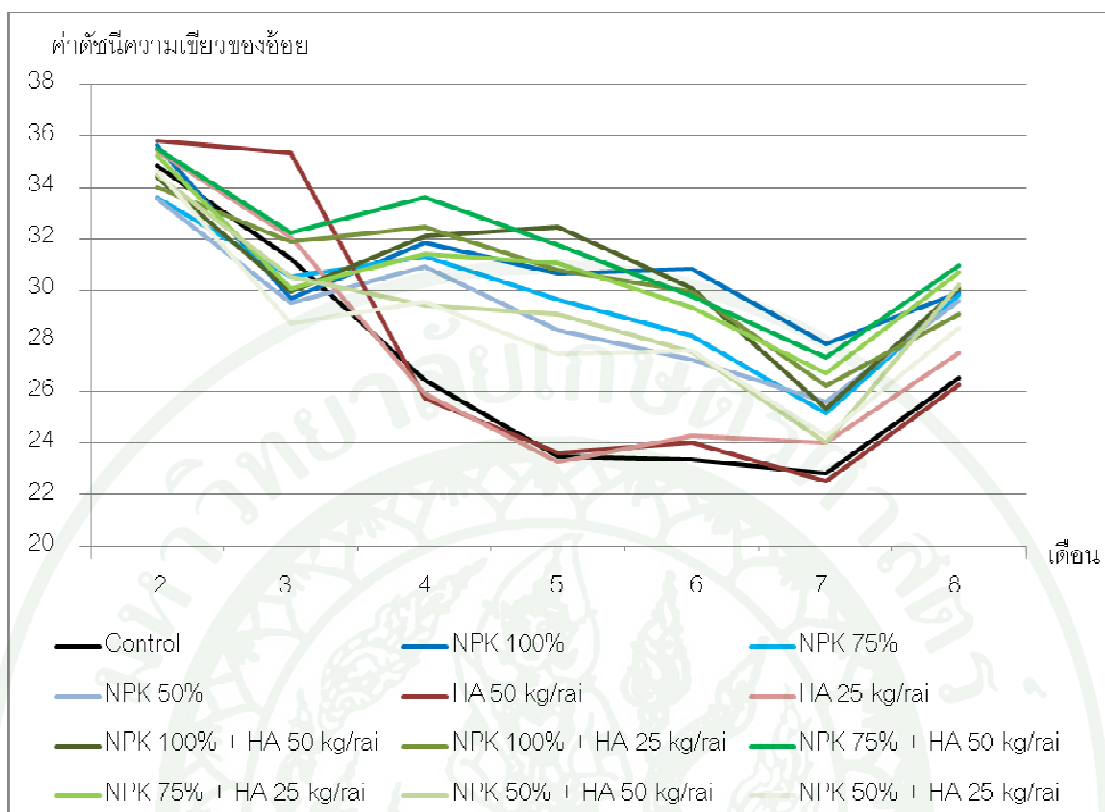
4.2.4 ผลการศึกษาค่าดัชนีความเขียวของอ้อยในเดือนที่ 2 ถึงเดือนที่ 8

การเก็บตัวอย่างค่าดัชนีความเขียวของอ้อยเดือนที่ 2-8 (ภาพที่ 7) (ตารางผนวกที่ 8) พบว่าในอ้อยอายุ 2 เดือนถึง 3 เดือนไม่มีความแตกต่างกันของค่าดัชนีความเขียว โดยในเดือนที่ 2 อ้อยมีค่าดัชนีความเขียวอยู่ที่ 33.55 – 35.63 และในเดือนที่ 3 มีค่าดัชนีความเขียวอยู่ที่ 28.68 – 35.35 แต่ค่าดัชนีความเขียวตั้งแต่เดือนที่ 4 จนถึงเดือนที่ 8 พบว่ามีค่าความแตกต่างเกิดขึ้น ในเดือนที่ 4 พบว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่มีค่าดัชนีความเขียวสูงมากที่สุดที่ 33.60 โดยมีค่าดัชนีความเขียวมากกว่าแต่ใกล้เคียงกับแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 100% แต่มากกว่าแปลงที่ใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว ในเดือนที่ 5 พบว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 100% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่มีค่าดัชนีความเขียวมากที่สุด 32.45 ซึ่งมากกว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว 100% และแปลงที่ใส่แต่กรดฮิวมิก ในเดือนที่ 6 พบว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว 100% มีค่าดัชนีความเขียวสูงที่สุด 30.80 ซึ่งค่าดัชนีความเขียวนี้นี้ใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยเคมี 75% และ 100% ร่วมกับกรดฮิวมิกทั้ง 25 กิโลกรัมต่อไร่และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ในเดือนที่ 7 พบว่า แปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว 100% มีค่าดัชนีความเขียวสูงสุด 27.90 เช่นเดียวกับเดือนที่ 6 และค่าดัชนีความเขียวนี้นี้ใกล้เคียงกับแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ และในเดือนที่ 8 พบว่าค่าดัชนีความเขียวในแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่มีค่าดัชนีความเขียวสูงที่สุด 30.93 ซึ่งอยู่ในระดับเดียวกับแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 75% ร่วมกับกรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมและแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 50% ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งค่าดัชนีความเขียวที่พบนี้มากกว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว 100%

จากการวิเคราะห์ค่าดัชนีความเขียวตั้งแต่เดือนที่ 2 จนถึงเดือนที่ 8 นั้นพบว่า ค่าดัชนีความเขียวมีค่าลดลง จนในเดือนที่ 8 พบว่าค่าดัชนีความเขียวมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนที่ 7 เนื่องจากช่วงระหว่างเดือนที่ 7 ถึงเดือนที่ 8 สภาพอากาศของแปลงทดลองมีอุณหภูมิสูง ทำให้มีการให้น้ำเพิ่มขึ้น การให้น้ำเป็นการช่วยลดอุณหภูมิของใบพืช เพื่อช่วยป้องกันความเสียหายต่อปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ (ลิลลี่ และคณะ, 2549) ค่าดัชนีความเขียวของใบนั้นมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ ซึ่งคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และมีไนโตรเจนและแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบสำคัญในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์เอ เป็นรงควัตถุที่มีสีเขียวอมน้ำเงิน (ลิลลี่ และคณะ, 2549) และจากผลการทดลองพบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งในดินและในใบอ้อยที่อายุ 3 เดือนและ 6 เดือนอยู่ในระดับไม่เพียงพอ

ต่อความต้องการของอ้อย เช่นเดียวกับปริมาณแมกนีเซียมในใบอ้อยก็อยู่ในระดับไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อยด้วย ทำให้ค่าดัชนีความเขียวที่วัดได้นั้นต่ำกว่าปกติ จากการศึกษาของ Azcona *et al.* (2011) ในเรือนกระจกที่มีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และสภาพแวดล้อม โดยสกัดกรดฮิวมิกจากตะกอนน้ำเสีย พบว่ากรดฮิวมิกสามารถเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงในใบพริก ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นได้ และยังเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในใบอีกด้วย โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนและแมกนีเซียมที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์และยังส่งผลต่อการสังเคราะห์แสง ซึ่งฮิวมิกจะลำเลียงธาตุอาหารเหล่านี้ไปสู่รากพืช และพืชก็สามารถนำไปใช้ในการเติบโต สอดคล้องกับผลการศึกษากรดฮิวมิกในถั่วของ Khan *et al.* (2012) พบว่ากรดฮิวมิกที่ความเข้มข้น 15 ppm สามารถเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ a, b และแคโรทีนอยด์ได้ และยังเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเติบโตอีกด้วย Liu (1998) ได้ศึกษากรดฮิวมิกต่ออัตราการสังเคราะห์แสงในหญ้า creeping bentgrass พบว่าช่วยเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงได้ทั้ง 4 ช่วงการเจริญเติบโต

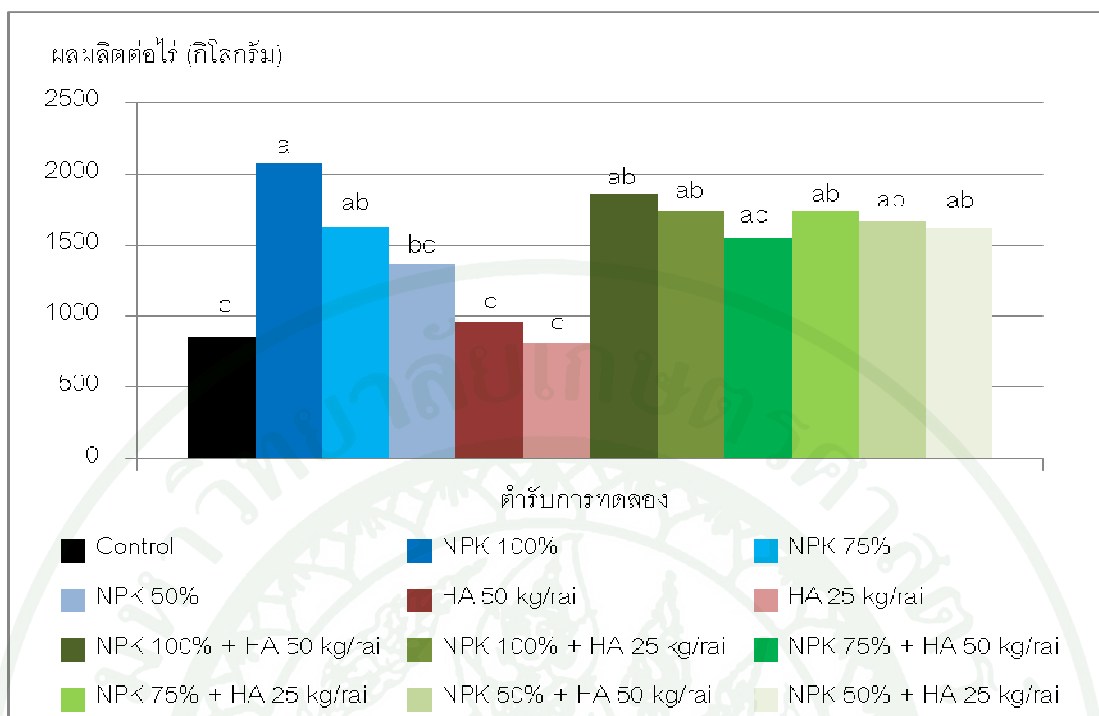
จากโครงสร้างของกรดฮิวมิกที่มีหมู่คาร์บอกซิลิกและหมู่ฟีนอลิกอยู่บริเวณแขนนั้น ทำให้มีความสามารถในการเป็นตัวกลางระหว่างธาตุอาหารพืชและรากพืชในการแลกเปลี่ยนประจุบวก อีกทั้งยังไปกระตุ้น ATPase (H^+ -ATPase) ที่บริเวณ plasma membranes ทำให้เกิดการสร้าง proton gradient และธาตุอาหารพืชที่เป็นประจุลบก็จะเคลื่อนที่ผ่าน protein carrier ไปพร้อมกับ H^+ แบบ symport และพืชก็จะสามารถนำธาตุอาหารไปใช้ได้ (Nardi *et al.*, 2002) ทำให้สามารถแลกเปลี่ยนธาตุอาหารที่เป็นประจุลบเข้าสู่รากพืชได้ และเมื่อกรดฮิวมิกสามารถลำเลียงธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและสังเคราะห์แสง เช่น N, Mg ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ ก็จะไปส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงมากขึ้น ดังนั้น การให้กรดฮิวมิกในอ้อยอาจช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต ธาตุอาหารพืช และอัตราการสังเคราะห์แสงได้



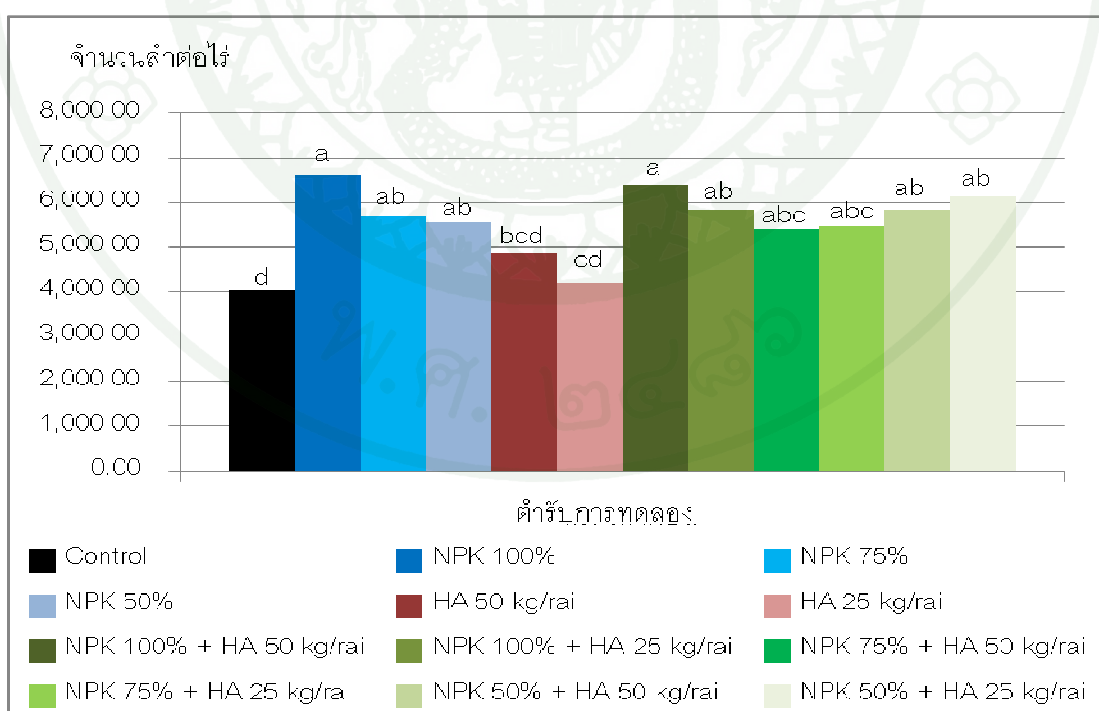
ภาพที่ 7 ค่าดัชนีความเขียวของอ้อยอายุ 2 เดือนถึง 8 เดือน

4.2.5 ผลผลิตและคุณภาพผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยที่อายุ 10 เดือน

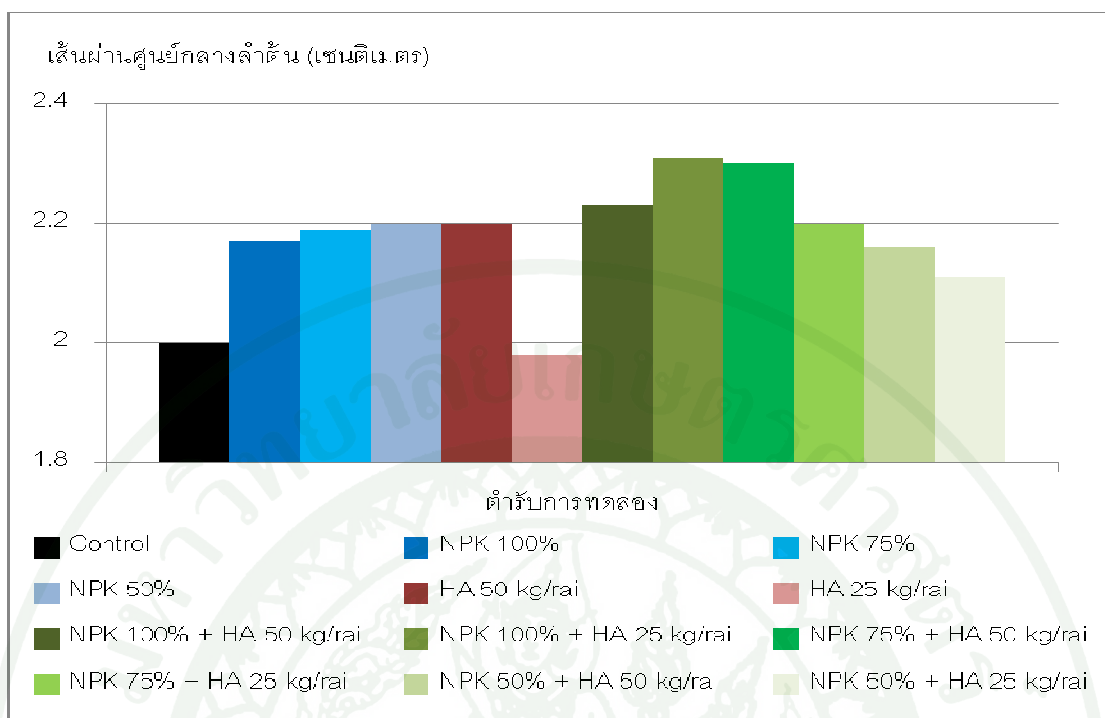
ศึกษาผลผลิตอ้อย ได้แก่ ผลผลิตต่อไร่ จำนวนลำต่อไร่ เส้นผ่านศูนย์กลางลำ จำนวนปล้อง ความยาวลำ ความยาวปล้อง (ภาพที่ 8-13) (ตารางผนวกที่ 9) พบว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว 100% มีน้ำหนักอ้อย 2,072.43 กิโลกรัมต่อไร่ จำนวนลำต่อไร่ที่ 6,617.28 ลำต่อไร่ ความยาวลำ 50.42 เซนติเมตรและความยาวปล้อง 4.69 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าทุกตำรับการทดลอง แต่เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นและจำนวนปล้องไม่มีความแตกต่างกันในทุกตำรับการทดลอง โดยพบว่าอ้อยเมื่อเก็บเกี่ยวมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำอยู่ที่ 1.98 เซนติเมตร - 2.31 เซนติเมตร และมีจำนวนปล้องอยู่ที่ 9.71 - 12.17 ปล้องต่อลำ ศึกษาเปอร์เซ็นต์บrix โพล ไฟเบอร์ CCS (ตารางที่ 17) พบว่าเปอร์เซ็นต์บrix 14.89% - 16.48% เปอร์เซ็นต์โพล 10.24% - 12.85% โดยไม่มีความแตกต่างกันในทุกตำรับการทดลอง และมีเปอร์เซ็นต์ CCS 6.27% - 8.69% ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าลักษณะประจำพันธุ์ของอ้อยพันธุ์ LK92-11 (จิรวัดณ์, 2549; รณยุทธ์, ม.ป.ป.) แต่พบเปอร์เซ็นต์ไฟเบอร์ในแปลงที่ไม่ใส่ทั้งกรดฮิวมิกและปุ๋ยเคมีมากที่สุด คือ 15.64% มากกว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวและแปลงที่ใส่กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมี ศึกษาเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ และผลผลิตของน้ำตาล พบว่าเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของอ้อยอยู่ในช่วง 68.04% - 77.97% และพบว่าในแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว 100% มีผลผลิตน้ำตาลสูงกว่าแปลงอื่นๆ คือ 150.87 กิโลกรัมต่อไร่ ดินที่ใช้ในการปลูกอ้อยเป็นดินร่วนปนทราย มีช่องว่างระหว่างเม็ดดินใหญ่ ทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้น้อย ซึ่งง่ายต่อการถูกชะล้างและความสามารถในการดูดซับธาตุต่างๆ ต่ำ (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) ซึ่งสอดคล้องกับ Muchovej and Newman (2004) ศึกษาปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมกับอ้อยในดินทราย โดยทำการทดลองปลูกอ้อยในดินทรายพบว่า ถึงแม้จะให้ปุ๋ยในอัตราที่มากกว่า $170 \text{ kgN.ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ ก็ไม่สามารถทำให้ผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้นได้ Robertsons *et al.* (1999) พบว่าเมื่อความชื้นในดินต่ำ อัตราการยืดยของลำจะลดลง และความชื้นจะสามารถกระตุ้นและเร่งการเจริญเติบโตของอ้อย ทำให้อ้อยแตกกอมากขึ้น และควบคุมการสร้างน้ำตาลของอ้อย (จักรินทร์, 2533) โดยอุณหภูมิในช่วงเก็บเกี่ยวอยู่ระหว่าง 25.3 ถึง 35.6 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิในช่วงที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำตาลของอ้อย (Ebrahim, 1998)



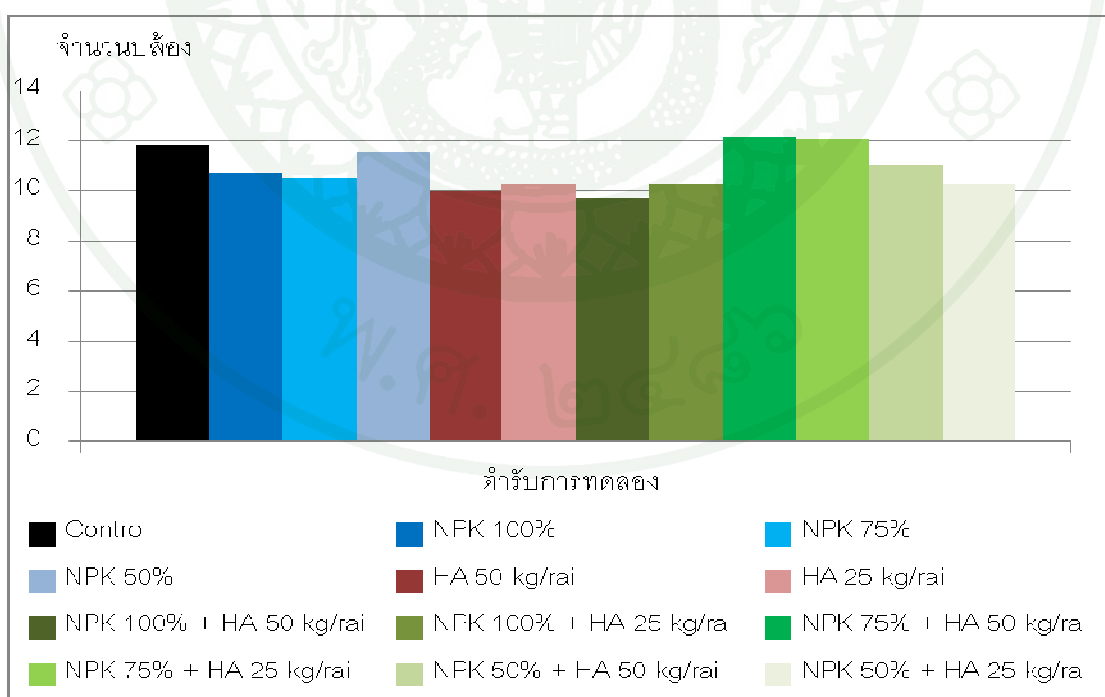
ภาพที่ 8 ผลผลิตต่อไร่เมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยอายุ 10 เดือน



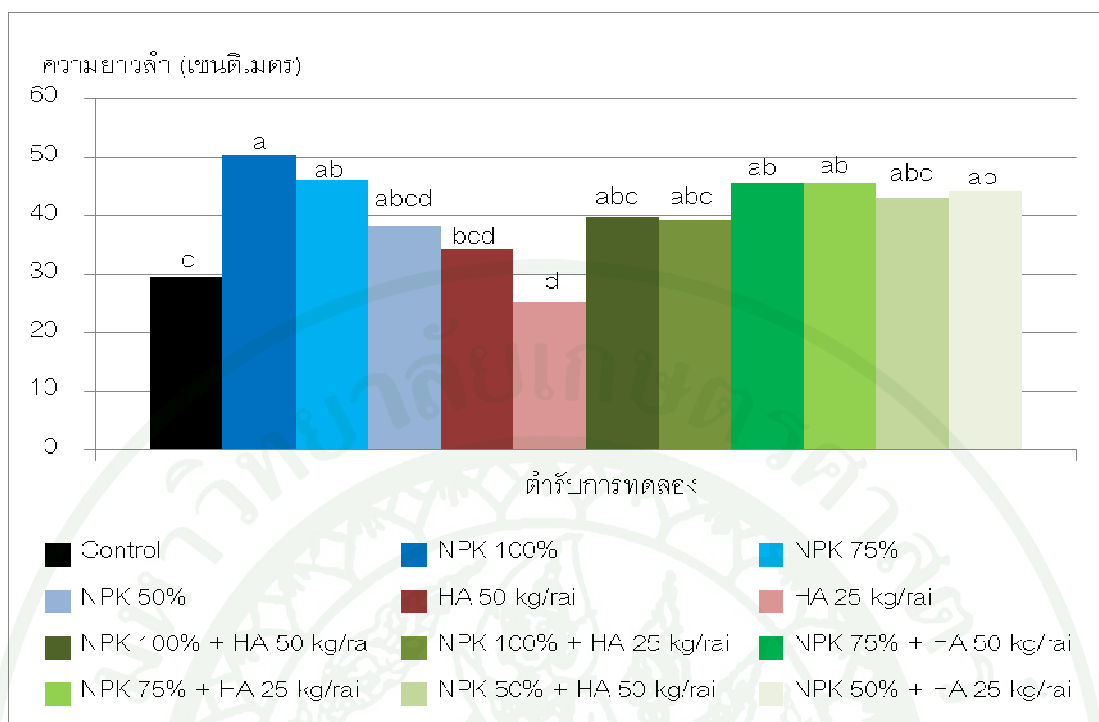
ภาพที่ 9 จำนวนลำต่อไร่เมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยอายุ 10 เดือน



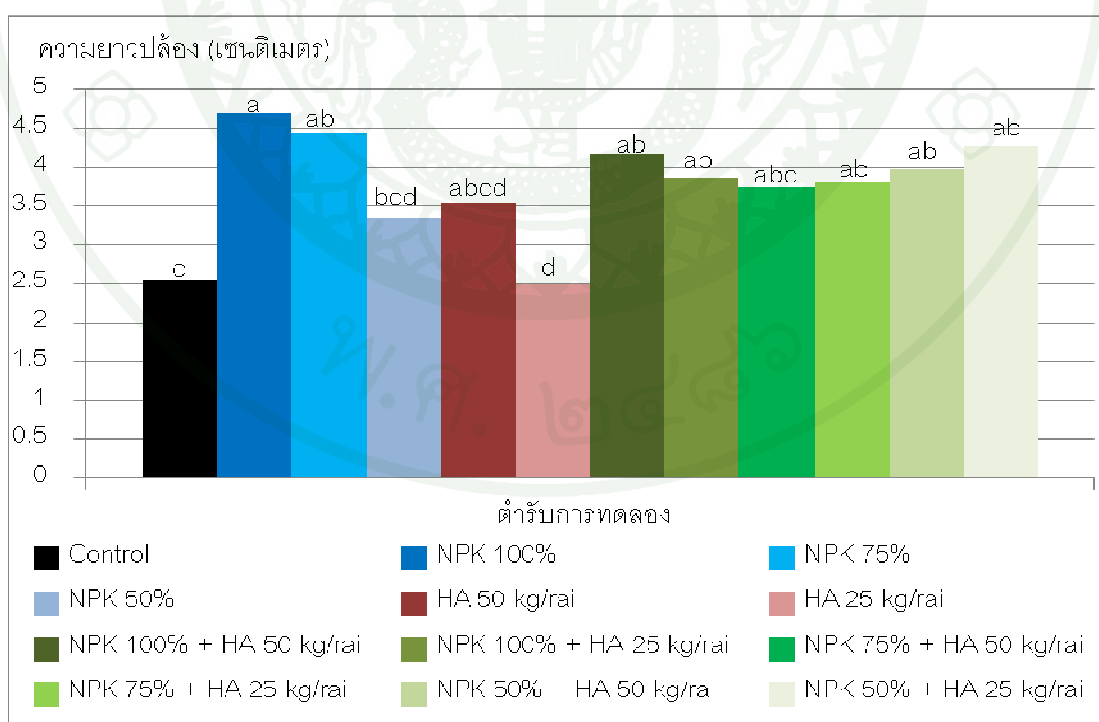
ภาพที่ 10 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยอายุ 10 เดือน



ภาพที่ 11 จำนวนปล้องเมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยอายุ 10 เดือน



ภาพที่ 12 ความยาวลำเมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยอายุ 10 เดือน



ภาพที่ 13 ความยาวปล้องเมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยอายุ 10 เดือน

ตารางที่ 16 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ โพล ไฟเบอร์ และ CCS เมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยอายุ 10 เดือน

ดำรับทดลอง	Brix (%)	Pol (%)	Fiber (%)	CCS (%)
Control	15.91	12.35	15.64 g ^{1/}	8.27
NPK 100%	15.83	11.23	11.72 a	7.28
NPK 75%	15.77	11.02	13.51 bcd	6.90
NPK 50%	15.70	11.30	13.01 b	7.32
HA 50 kg/rai	16.48	12.85	15.05 fg	8.69
HA 25 kg/rai	15.49	11.62	14.94 efg	7.63
NPK 100% + HA 50 kg/rai	15.05	10.24	13.15 bc	6.27
NPK 100% + HA 25 kg/rai	15.26	10.96	13.88 bcde	7.01
NPK 75% + HA 50 kg/rai	14.89	11.10	13.64 bcd	7.36
NPK 75% + HA 25 kg/rai	15.58	11.56	14.64 defg	7.54
NPK 50% + HA 50 kg/rai	15.53	11.77	14.06 cdefg	7.86
NPK 50% + HA 25 kg/rai	15.76	11.35	14.20 cdef	7.24
F-test	ns	ns	**	ns
CV (%)	4.27	9.99	8.24	14.94

หมายเหตุ ^{1/} = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางที่ 17 ความบริสุทธิ์และผลผลิตน้ำตาลเมื่อเก็บเกี่ยวของอ้อยอายุ 10 เดือน

ตำรับทดลอง	ความบริสุทธิ์ (%)	ผลผลิตน้ำตาล (กก/ไร่)
Control	77.58	69.97 de ^{1/}
NPK 100%	70.92	150.87 a
NPK 75%	69.90	112.25 bc
NPK 50%	71.98	99.58 bcd
HA 50 kg/rai	77.97	83.35 cde
HA 25 kg/rai	75.14	61.50 e
NPK 100% + HA 50 kg/rai	68.04	116.83 abc
NPK 100% + HA 25 kg/rai	71.48	121.54 ab
NPK 75% + HA 50 kg/rai	74.55	113.76 bc
NPK 75% + HA 25 kg/rai	74.08	130.94 ab
NPK 50% + HA 50 kg/rai	75.69	130.85 ab
NPK 50% + HA 25 kg/rai	70.86	117.31 abc
F-test	ns	**
CV (%)	6.81	26.88

หมายเหตุ ^{1/} = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ตัวอย่างลีโอนาร์โดที่ได้จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปางมีสมบัติทางเคมีบางประการ ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่างและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในระดับที่ไม่เหมาะสม รวมถึงปริมาณธาตุอาหารหลักอยู่ในระดับต่ำไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงดิน
2. กรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอนาร์โดที่มีสมบัติทางเคมีบางประการ ได้แก่ ปริมาณสารอินทรีย์และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง ทำให้เหมาะต่อการทำเป็นสารปรับปรุงดิน อีกทั้งยังมีปริมาณโลหะหนักอยู่ในระดับต่ำซึ่งเกณฑ์ผ่านมาตรฐานการเป็นสารปรับปรุงดิน
3. การใช้กรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอนาร์โดร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้ปริมาณธาตุอาหารในดินที่ใช้ปลูกอ้อยอายุ 3 เดือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และ/หรือ การใช้กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว ได้แก่ ปริมาณฟอสฟอรัส แคลเซียม และเหล็ก และในดินที่ใช้ปลูกอ้อยอายุ 6 เดือน ได้แก่ ปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม
4. การใช้กรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอนาร์โดร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้ปริมาณธาตุอาหารในใบอ้อยที่อายุ 3 เดือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และ/หรือการใช้กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว ได้แก่ ปริมาณฟอสฟอรัส เหล็ก และทองแดง และในใบอ้อยที่อายุ 6 เดือน ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน และแมกนีเซียม ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของคลอโรฟิลล์
5. การใช้กรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอนาร์โดร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้อ้อยมีการเติบโตทางด้านลำต้น ได้แก่ ความสูงและค่าดัชนีความเขียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และ/หรือการใช้กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว ผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยวได้แก่ น้ำหนักต่อไร่ จำนวนลำต่อไร่ ความยาวลำ และความยาวปล้องไม่มีความแตกต่างกัน รวมถึงคุณภาพผลผลิตและปริมาณน้ำตาลก็ไม่มี ความแตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากดินที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นดินร่วนปนทราย มีความสามารถในการกักเก็บธาตุอาหารต่ำและง่ายต่อการถูกชะล้าง ทำให้ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใส่ตามคำแนะนำของสถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตรไม่เพียงพอต่อความต้องการของอ้อย ควรเพิ่มปริมาณปุ๋ยให้มากขึ้นโดยพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ดิน ในกรณีของดินร่วนปนทรายนี้ ควรใส่ปุ๋ยเคมีที่เป็นธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยใส่เพิ่มอีกธาตุละ 12 กิโลกรัมต่อไร่
2. ในกรณีที่พบว่าพืชมีลักษณะอาการขาดธาตุอาหารรอง เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน ควรเพิ่มปุ๋ยที่มีธาตุเหล่านี้เป็นส่วนประกอบ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. 2556. **สินค้าน้ำตาล (พิกัด 1701).**

แหล่งที่มา: <http://www.thaifta.com/ThaiFTA/Portals/0/sugar2556.pdf>, 5 กันยายน 2554

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2523. **อ้อย.** ธนประดิษฐ์การพิมพ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2547. **อ้อย.** ม.ป.ท.

_____. 2548. **ปุ๋ยอินทรีย์: การผลิต การใช้ มาตรฐานและคุณภาพ.** โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. 2557. **สรุปลักษณะอากาศรายเดือน.** แหล่งที่มา: <http://www.tmd.go.th/climate/climate.php?FileID=4>, 17 มิถุนายน 2557.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2554. **คู่มือปฏิบัติการปฐพีวิทยาเบื้องต้นและวิทยาศาสตร์ทางดิน.** พิมพ์ครั้งที่ 12. ม.ป.ท.

คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2547. **พืชเศรษฐกิจ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ,

จรงค์ จันทน์เจริญสุข. 2550. **การวิเคราะห์ดินและพืชทางเคมี**. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จักรินทร์ ศรีธำพร. 2533. ดินและปุ๋ยอ้อย, น. 121-139. ใน **เอกสารประกอบการฝึกอบรม
หลักสูตรการใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อย**. ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี
สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

จิรวัดน์ เทอดพิทักษ์พงษ์. 2549. **อ้อยพันธุ์ สอน.12 (LK92-11)**. แหล่งที่มา:
http://oldweb.ocsb.go.th/udon/Udon9/Proposed%202006_08_29_7.htm, 5
กันยายน 2554.

ถวิล ครุฑกุล. 2522. **การจัดการดินกับการปลูกอ้อย**. โครงการวิจัยดินและปุ๋ย ภาควิชา
ปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปิยะ ดวงพัตรา. 2553. **สารปรับปรุงดิน**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พัชร ธีรจินดาจวร. 2550. **การวิเคราะห์ดินทางเคมี**. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ยงยุทธ โอสธสภ, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต ฮงประยูร. 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตร
ยั่งยืน**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รณยุทธ์ สัตยานิคม. ม.ป.ป. **อ้อยพันธุ์ส่งเสริม**. แหล่งที่มา:
oldweb.ocsb.go.th/udon/Udon8/490622_4.htm, 5 กันยายน 2554.

ราชกิจจานุเบกษา. 2547. เล่ม 121 ตอนพิเศษ 119 ง, หน้า 170-181.

ลิลลี่ กาวีตะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์ และ สุริยา ตันติวิวัฒน์. 2549. **สรีรวิทยาของพืช**.
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิวัฒน์ ไตรฤกุล, พลยุทธ สุขสมบัติ และ จินดารัตน์ ไตรกมลธรรม. 2552. **เอกสารงานวิจัย: การเตรียมสารประกอบเกลือฮิวเมตจากดินปนถ่านหินจากเหมืองลิกไนต์แม่เมาะ จังหวัดลำปาง**. สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 3 (ภาคเหนือ) กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม, เชียงใหม่. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2547. **การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2544.

พันธุ์อ้อย การปลูกดูแลรักษา. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

_____. 2554. **เทคโนโลยีการผลิตอ้อย**. ห้างหุ้นส่วนจำกัด พีพี ฟีด ฟรินดิงแอนด์เซอร์วิส, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2554. **ภาวะเศรษฐกิจการเกษตรครั้งแรกของปี 2554 และแนวโน้มปี 2554**. แหล่งที่มา: www.oae.go.th/bapp/download/gdp/half_54_040754.pdf, 5 กันยายน 2554.

สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาดิน กรมพัฒนาดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. **การจัดการดินสำหรับปลูกอ้อย**. แหล่งที่มา: www.idd.go.th/WEB_ofi/document/LDDSDNTDoc/020003-2550.pdf, 5 กันยายน 2554.

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2547. **มาตรฐานสินค้าประเภทปัจจัยการผลิตทางการเกษตรที่รับรองโดยกรมพัฒนาที่ดิน**. แหล่งที่มา: www.idd.go.th/link_q/standard/4.htm, 5 กันยายน 2554.

สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2548.

มหัศจรรย์..พันธุ์ดิน. ม.ป.ท.

Asik, B.B., M.A. Turan, H. Celik and A.V. Katkat. 2009. Effects of humic substances on plant growth and mineral nutrients uptake of wheat (*Triticum durum* cv. Salihli) under conditions of salinity. **Asian J. Crop Sci.** 1: 87-95.

Ayuso, M., T. Hernandez, C. Garcia and J.A. Pascual. 1996. Stimulation of barley growth and nutrient absorption by humic substances originating from various organic materials. **Bioresource Technol.** 57: 251-257.

Azcona, I., I. Pascual, J. Aguirreolea, M. Fuentes, J.M. Garcia-Mina and M. Sanchez-Diaz. 2011. Growth and development of pepper are affected by humic substances derived from composted sludge. **J. Plant Nutr. Soil Sci.** 174: 916-924.

Dailey, K. 1999. **Leonardite&Its Effect on Green Sand Molding**. Available Source: www.ductile.org/magazine/1999_2/leonard.htm, September 5, 2011.

Ebrahim, K.M., O. Zingsheim, M.N. El-Shourbagy, P.H. Moore and E. Komor. 1998. Growth and sugar storage in sugarcane grown at temperatures below and above optimum. **J. Plant Physiol.** 153: 593-602.

Ece, A., K. Saltali, N. Eryigit and F. Uysal. 2007. The effects of Leonardite applications on climbing bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield and the some soil properties. **J. Agron.** 6: 480-483.

- Eyheraguibel, B., J. Silvestre and P. Morard. 2008. Effect of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. **Bioresource Technol.** 99: 4206-4212.
- Ferrara, G. and G. Brunetti. 2010. Effects of the times of application of a soil humic acid on berry quality of table grape (*Vitis vinifera* L.) cv. italia. **Span. J. Agric. Res.** 8: 817-822.
- Govindasmy, R. and S. Chandrasekaran. 1992. Effect of humic acids on the growth, yield and nutrient content of sugarcane. **Sci. Total Environ.** 117/118: 575-581.
- Hatcher, P.G., Maciel, G.E., and Dennis, L.W. 1981. Aliphatic structure of humic acids: A clue to their origin. **Org. Geochem.** 2:43-48.
- Humintech. 2011. **Industry**. Available Source: www.humintech.com/001/industry/information/general.html, September 5, 2011.
- Hunsigi, G. 1993. **Production of Sugarcane: Theory and Practice**. Springer-Verlag, Berlin.
- International Humic Substances Society [IHSS]. 2008. **Source Materials for IHSS Samples**. Available Source: <http://www.ihss.gatech.edu/sources.html>, September 5, 2011.
- Katkat, A.V., H. Celik, M.A. Turan and B.B. Asik. 2009. Effects of soil and foliar applications of humic substances on dry weight and mineral nutrients uptake of wheat under calcareous soil conditions. **Aust. J. Basic & Appl. Sci.** 3:1266-1273.

- Khaled, H. and H.A. Fawy. 2011. Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth and soil properties under conditions of salinity. **Soil & Water Res.** 6: 21-29.
- Khan, A., A. Gurmani, M.Z. Khan, F. Hussain, M.E. Akhtar and S. Khan. 2012. Effect of humic acid on the growth, yield, nutrient composition, photosynthetic pigment and total sugar contents of peas (*Pisum Sativum* L.). **J. Chem. Soc. Pak.** 1: 1-7.
- Li, S. and Wang, Z. 1988. **Alkaline soil of desert area.** Xinjiang People's Publishing House, Xinjiang, China.
- Liu, C., R.J. Cooper and D.C. Bowman. 1998. Humic acid application affects photosynthesis, root development, and nutrient content of creeping bentgrass. **Hortscience.** 33: 1023-1025.
- Malavolta, E. 1994. **Nutrient and Fertilizer Management in Sugarcane.** International Potash Institute, Basel, Switzerland.
- Martinez, M.T., Romero, C. and Gavilan, J.M. 1984. Solubilization of phosphorus by humic acids from lignite. **Soil Sci.** 138: 257-261.
- Mather, H. 2002. **Fertilizer practices: what's most important (amounts, relative proportions and timing).** Available Source: <http://basicgreen.osu.edu/sites/default/files/BG-129.pdf>, September 11, 2013.
- Mayhew, L. 2004. **Humic substances in biological agriculture.** Available Source: <http://humicgrowth.com/downloads/humicsubstances.pdf>, September 11, 2013.
- Mikkelsen, R.L. 2005. Humic materials for agriculture. **Better Crops** 89: 6-10.

- Muchovej, R.M. and P.R. Newman. 2004. Nitrogen fertilization of sugarcane on a sandy soil: I. yield and leaf nutrient composition. **J. Am. Soc. Sugar Cane Technol.** 24: 210-224.
- Nardi, S., D. Pizzeghello, A. Muscolo and A. Vianello. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biol. Biochem.** 34: 1527-1536.
- Netafim. n.d. **climate**. Available Source: <http://www.sugarcane crops.com/climate>, June 17, 2014
- Pettit, R.E. 2004. **Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid, and humin: their importance in soil fertility and plant health**. Available Source: <http://www.humates.com/pdf/organicmatterpettit.pdf>, September 11, 2013.
- Prakash, P., R. Samundeeswari, C. vivek and A. Chitra devi. 2011. The influence of potassium humate on *Pleurotus florida*. **World J. Sci. Tech.** 1: 28-31.
- Reuter, D.J. and J.B. Robinson. 1997. **Plant Analysis: an Interpretation Manual**. 2nd ed. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
- Ricca, G., F. Severini, G. Di Silvestro, C.M. Yuan and F. Adani. 2002. Derivatization and structural studies by spectroscopic methods of humic acids from Leonardite. **Geoderma** 98: 115-125.
- Robertson, M.J., N.G. Inman-Bamber, R.C. Mucho and A.W. Wood. 1999. Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit. **Field Crops Res.** 64: 211-227.

Salman, S.R., S.D. Abou-hussein, A.M.R. Abdel-Mawgoud and M.A. El-Nemr. 2005.

Fruit yield and quality of watermelon as affected by hybrids and humic acid application. **J. App. Sci. Res.** 1: 51-58.

Shaaban, S.H.A., F.M. Manal and M.H.M. Afifi. 2009. Humic acid foliar application to

minimize soil applied fertilization of surface-irrigated wheat. **World J. Agric. Sci.** 5: 207-210.

Sharif, M., Abida, M.J. Khan and Izhar-UI-Haq. 2010. Extractable phosphorus as

affected by humic acid application in salt affected soils. **Sarhad J. Agric.** 26: 381-386.

Stevenson, F.J. 1994. **Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction.** 2nd ed.

John Wiley and Sons, Inc., New York.

Tan, K.H. 2003. **Humic Matter in Soil and the Environment: Principles and**

Controversies. Marcel Dekker, New York.

Tan, K.H. and V. Nopamornbodi. 1979. Effect of different levels of humic acids on

nutrient content and growth of corn (*Zea Mays* L.). **Plant Soil** 51: 283-287.

United States Environmental Protection Agency [USEPA]. 1996. **Acid digestion of**

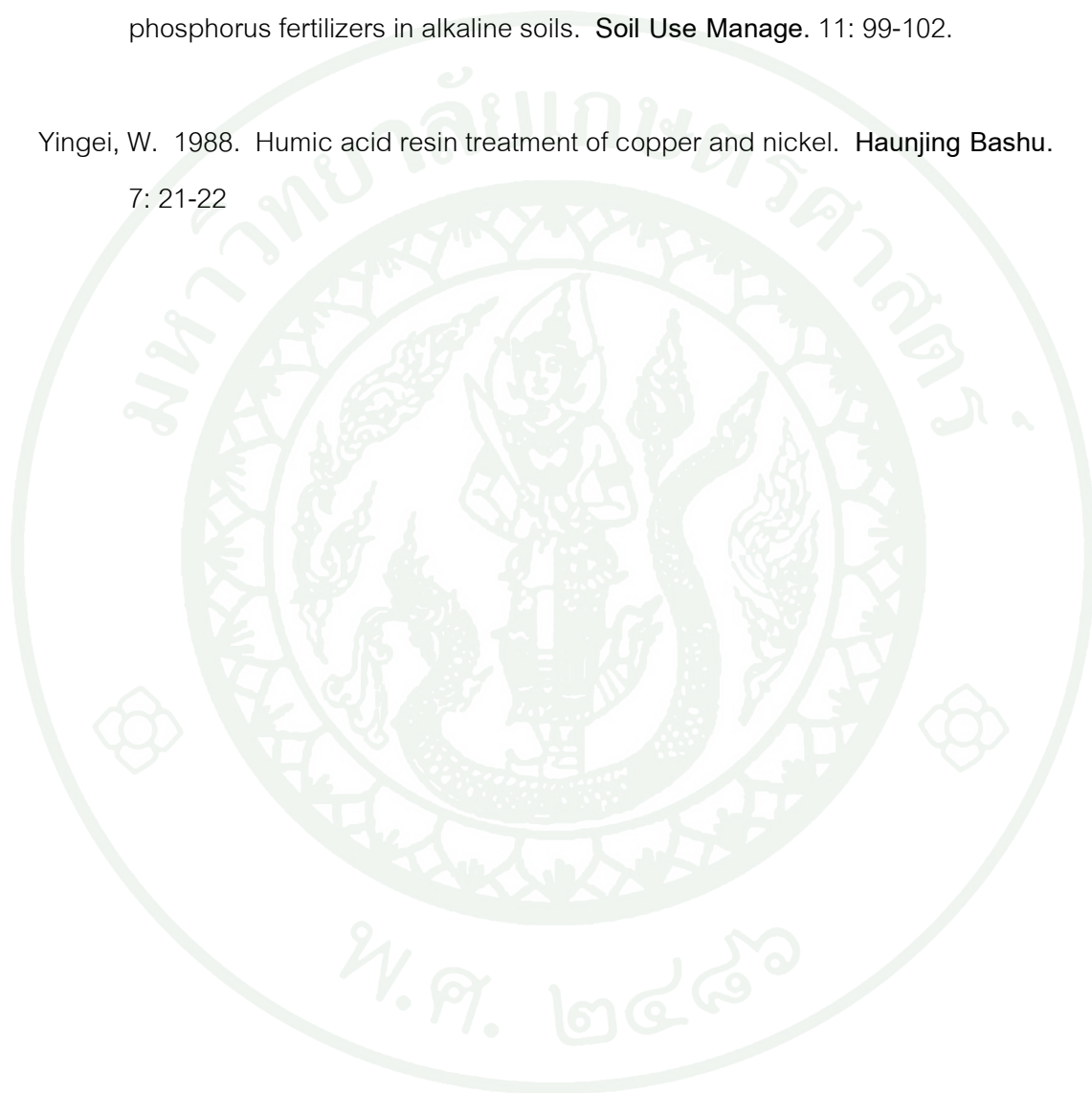
sediments, sludges, and soils. Available Source:

<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3050b.pdf>, September 11, 2013.

_____. 2003. **Ecological soil screening level for iron interim final.** Available Source:

http://rais.ornl.gov/documents/eco-ssl_iron.pdf, September 11, 2013.

- Virgine, J.S. and P. Singaram. 2005 Influence of humic acid on yield, nutrient availability and uptake by tomato. **Madras Agric. J.** 92: 670-676.
- Wang, X.J., Wang, Z.Q., & Li, S.G. 1995. The effect of humic acids on the availability of phosphorus fertilizers in alkaline soils. **Soil Use Manage.** 11: 99-102.
- Yingei, W. 1988. Humic acid resin treatment of copper and nickel. **Haunjing Bashu.** 7: 21-22





ตารางผนวกที่ 1 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 มม.
2	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่จะเหยได้	ไม่เกิน 35%
3	ปริมาณหิน และกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มม. ไม่เกิน 5%
4	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ต้องไม่มี
5	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก)	ไม่น้อยกว่า 30
6	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5-8.5
7	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20:1
8	ค่าการนำไฟฟ้า (EC: Electrical Conductivity)	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	
	- ไนโตรเจน (total N)	ไม่น้อยกว่า 1.0
	- ฟอสฟอรัส (total P ₂ O ₅)	ไม่น้อยกว่า 0.5
	- โพแทสเซียม (total K ₂ O)	ไม่น้อยกว่า 0.5
10	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า 80%
11	สารหนู (Arsenic)	ไม่เกิน 50 มก./กก.
	แคดเมียม (Cadmium)	ไม่เกิน 5 มก./กก.
	โครเมียม (Chromium)	ไม่เกิน 300 มก./กก.
	ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน 500 มก./กก.
	ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน 500 มก./กก.
	ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 2 มก./กก.

ตารางผนวกที่ 2 ค่ามาตรฐานความเหมาะสมของดินที่ปลูกอ้อย
(สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544)

คุณสมบัติต่างๆ	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม
ค่า pH	5.6-7.3	ต่ำกว่า 4 และสูงกว่า 8
อินทรีย์วัตถุ (OM, %)	1.5-2.5	ต่ำกว่า 1
ไนโตรเจน (% อินทรีย์วัตถุ)	มากกว่า 2.5	ต่ำกว่า 1.5
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P, ppm)	10-20	ต่ำกว่า 10
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K, ppm)	80-150	ต่ำกว่า 80
แคลเซียม (Ca, ppm)	110-250	ต่ำกว่า 110
แมกนีเซียม (Mg, ppm)	12-30	ต่ำกว่า 12
กำมะถัน (S, ppm)	มากกว่า 7	ต่ำกว่า 3
ทองแดง (Cu, ppm)	มากกว่า 0.2	ต่ำกว่า 0.2
สังกะสี (Zn, ppm)	มากกว่า 0.6	ต่ำกว่า 0.6
การแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC, cmol/kg)	มากกว่า 15	ต่ำกว่า 5
ความเค็ม (EC, ds/m)	ต่ำกว่า 2.5	มากกว่า 5
การอิ่มตัวด้วยด่าง (BS %)	มากกว่า 75	ต่ำกว่า 35
ความลึกระดับหน้าดิน (cm)	มากกว่า 100	น้อยกว่า 50
ความลึกระดับน้ำใต้ดิน (cm)	มากกว่า 160	น้อยกว่า 50

ตารางผนวกที่ 3 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม
(กรมควบคุมมลพิษ ใน ราชกิจจานุเบกษา, 2547)

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
โลหะหนัก (Heavy metals)			
1) สารหนู (Arsenic)	มิลลิกรัม/ กิโลกรัม	ต้องไม่เกิน 3.9	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธี Atomic Absorption, Gaseous Hydride หรือวิธี Atomic Absorption, Borohydride Reduction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
2) แคดเมียมและสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and compounds)	มิลลิกรัม/ กิโลกรัม	ต้องไม่เกิน 37	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
3) โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	มิลลิกรัม/ กิโลกรัม	ต้องไม่เกิน 300	ใช้วิธี Coprecipitation หรือวิธี Colorimetric หรือวิธี Chelation/Extraction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพดิน	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
โลหะหนัก (Heavy metals)			
4) ตะกั่ว (Lead)	มิลลิกรัม/ กิโลกรัม	ต้องไม่เกิน 400	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
5) แมงกานีสและสารประกอบแมงกานีส (Manganese and compounds)	มิลลิกรัม/ กิโลกรัม	ต้องไม่เกิน 1,800	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
6)ปรอทและสารประกอบปรอท (Mercury and compounds)	มิลลิกรัม/ กิโลกรัม	ต้องไม่เกิน 23	ให้ใช้วิธี Cold-Vapor Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

ตารางผนวกที่ 4 มาตรฐานปริมาณโลหะหนักในดิน USEPA (2003)

ชนิดโลหะหนัก	มาตรฐานโลหะหนักในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
เหล็ก (Fe)	20,000-550,000

ตารางผนวกที่ 5 ความเข้มข้นของธาตุอาหารต่างๆ ในใบอ้อย

(Reuter and Robinson, 1997)

ธาตุอาหาร	ระยะการ เติบโต	ส่วนของพืชที่ นำมาวิเคราะห์	ความเข้มข้นของธาตุอาหาร		
			ระดับต่ำสุด	ระดับวิกฤต	พอเพียง
N (%)	3 เดือน	TVD	-	2.4-2.5	-
	6 เดือน		-	1.9	-
P (%)	3 เดือน	TVD	-	0.18-0.21	0.21-0.35
	6 เดือน		-		
K (%)	3 เดือน	TVD	-	1.25	1.25-2.0
	6 เดือน		-		
Ca (%)	3 เดือน	TVD	-	-	0.14-0.18
	6 เดือน		-	-	0.15-0.2
Mg (%)	3 เดือน	TVD	-	-	0.09-0.12
	6 เดือน		-	-	0.12-0.18
S (%)	3 เดือน	TVD	-	0.12	-
	6 เดือน		-	0.13	-
Fe (mg.kg ⁻¹)	3 เดือน	TVD	-	50	-
	6 เดือน		-	50	49-915
Mn (mg.kg ⁻¹)	3 เดือน	TVD	-	15	-
	6 เดือน		-	15	-
Zn (mg.kg ⁻¹)	3 เดือน	TVD	-	12	-
	6 เดือน		-	14	-
Cu (mg.kg ⁻¹)	3 เดือน	TVD	-	3	-
	6 เดือน		-	3	-

ตารางผนวกที่ 6 ความสูงจากพื้นดินถึงคอบีสูงสุดของอ้อยอายุ 2-8 เดือน

ดำรับทดลอง	ความสูง (ซม.)						
	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6	เดือนที่ 7	เดือนที่ 8
Control	18.19	25.00	28.88	36.53 bcd ^{1/}	40.03 cd ^{1/}	44.85 cde ^{1/}	52.09 c ^{1/}
NPK 100%	18.74	25.05	33.30	43.45 a	48.98 a	58.13 a	75.03 ab
NPK 75%	19.93	24.43	29.88	39.60 abc	45.00 abc	50.33 abcde	68.22 ab
NPK 50%	18.33	24.03	30.28	38.68 abcd	43.07 bcd	48.75 bcde	62.37 bc
HA 50 kg/rai	16.36	22.83	28.05	35.98 cd	38.33 d	43.88 de	52.69 c
HA 25 kg/rai	17.49	23.05	28.63	34.15 d	39.55 d	43.13 e	52.17 c
NPK 100% + HA 50 kg/rai	18.94	25.48	30.75	42.28 a	49.27 a	54.00 ab	71.42 ab
NPK 100% + HA 25 kg/rai	19.34	26.18	32.78	41.60 a	49.33 a	53.35 abc	69.04 ab
NPK 75% + HA 50 kg/rai	19.45	25.70	32.85	42.10 a	49.43 a	54.45 ab	78.25 a
NPK 75% + HA 25 kg/rai	18.51	24.65	31.55	41.33 a	48.15 ab	56.25 ab	73.00 ab
NPK 50% + HA 50 kg/rai	18.58	24.55	31.18	40.73 ab	46.18 ab	50.88 abcde	67.92 ab
NPK 50% + HA 25 kg/rai	18.91	25.10	31.65	41.18 ab	45.73 ab	52.85 abcd	66.27 ab
F-test	ns	Ns	ns	**	**	**	**
CV (%)	8.50	7.61	9.94	10.42	11.33	14.60	18.62

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

หมายเหตุ^{1/} = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางผนวกที่ 7 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของอ้อยอายุ 2-8 เดือน

ตำรับทดลอง	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ซม.)						
	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6	เดือนที่ 7	เดือนที่ 8
Control	0.84	1.24	1.74	1.93	1.97	2.01	2.05
NPK 100%	0.95	1.36	1.87	2.19	2.24	2.28	2.33
NPK 75%	0.91	1.31	1.73	2.01	2.04	2.06	2.13
NPK 50%	0.88	1.26	1.76	2.03	2.06	2.07	2.23
HA 50 kg/rai	0.84	1.24	1.68	1.87	1.97	2.02	2.09
HA 25 kg/rai	0.91	1.29	1.76	1.94	1.96	2.11	2.12
NPK 100% + HA 50 kg/rai	0.86	1.35	1.73	2.19	2.16	2.19	2.31
NPK 100% + HA 25 kg/rai	0.97	1.39	1.80	2.16	2.14	2.29	2.27
NPK 75% + HA 50 kg/rai	0.98	1.31	1.84	2.11	2.14	2.32	2.42
NPK 75% + HA 25 kg/rai	0.90	1.28	1.70	2.14	2.18	2.16	2.36
NPK 50% + HA 50 kg/rai	0.88	1.30	1.76	2.03	2.09	2.21	2.20
NPK 50% + HA 25 kg/rai	0.94	1.38	1.74	2.05	2.06	2.24	2.25
F-test	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	8.22	8.07	8.07	8.51	8.18	8.08	12.19

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ตารางผนวกที่ 8 ค่าดัชนีความเขียวของอ้อยอายุ 2-8 เดือน

ตำรับทดลอง	ค่าดัชนีความเขียว						
	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6	เดือนที่ 7	เดือนที่ 8
Control	34.83	31.20	26.48 cd ^{1/}	23.50 d ^{1/}	23.35 c ^{1/}	22.85 de ^{1/}	26.55 cd ^{1/}
NPK 100%	35.63	29.66	31.85 ab	30.65 abc	30.80 a	27.90 a	29.90 ab
NPK 75%	33.60	30.51	31.30 ab	29.63 abc	28.20 ab	25.18 bcde	29.80 ab
NPK 50%	33.55	29.50	30.88 ab	28.40 bc	27.25 b	25.65 abc	29.58 ab
HA 50 kg/rai	35.81	35.35	25.75 d	23.63 d	24.03 c	22.55 e	26.28 d
HA 25 kg/rai	35.44	32.06	25.93 d	23.28 d	24.30 c	24.03 cde	27.53 bcd
NPK 100% + HA 50 kg/rai	34.41	29.91	32.10 ab	32.45 a	30.08 ab	25.35 abcd	30.05 ab
NPK 100% + HA 25 kg/rai	33.99	31.86	32.45 ab	30.78 abc	29.93 ab	26.23 abc	29.03 abc
NPK 75% + HA 50 kg/rai	35.52	32.22	33.60 a	31.75 ab	29.73 ab	27.35 ab	30.93 a
NPK 75% + HA 25 kg/rai	35.25	30.04	31.40 ab	31.03 ab	29.30 ab	26.73 abc	30.70 a
NPK 50% + HA 50 kg/rai	34.47	30.51	29.38 bc	29.03 bc	27.60 b	24.03 cde	30.20 a
NPK 50% + HA 25 kg/rai	34.67	28.68	29.53 bc	27.50 c	27.63 b	24.28 cde	28.53 abcd
F-test	ns	Ns	**	**	**	**	**
CV (%)	4.75	6.54	11.15	13.73	11.27	9.84	7.20

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

หมายเหตุ^{1/} = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางผนวกที่ 9 ผลผลิตอ้อยเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 10 เดือน

ตำรับทดลอง	ผลผลิตต่อไร่ (กก.)	จำนวนลำต่อไร่	เส้นผ่านศูนย์กลางลำ (ซม.)	จำนวนปล้อง	ความยาวลำ (ซม.)	ความยาวปล้อง (ซม.)
Control	846.09 c ^{1/}	4,032.92 d ^{1/}	2.00	11.83	29.48 cd ^{1/}	2.54 cd ^{1/}
NPK 100%	2,072.43 a	6,617.28 a	2.17	10.75	50.42 a	4.69 a
NPK 75%	1,627.98 ab	5,695.47 ab	2.19	10.50	46.23 ab	4.45 ab
NPK 50%	1,361.32 bc	5,547.33 ab	2.20	11.59	38.31 abcd	3.34 bcd
HA 50 kg/rai	959.67 c	4,855.97 bcd	2.20	10.00	34.27 bcd	3.54 abcd
HA 25 kg/rai	806.58 c	4,213.99 cd	1.98	10.29	25.38 d	2.50 d
NPK 100% + HA 50 kg/rai	1,863.37 ab	6,403.29 a	2.23	9.71	39.75 abc	4.17 ab
NPK 100% + HA 25 kg/rai	1,734.98 ab	5,843.62 ab	2.31	10.29	39.33 abc	3.86 ab
NPK 75% + HA 50 kg/rai	1,545.68 ab	5,399.18 abc	2.30	12.17	45.42 ab	3.75 abc
NPK 75% + HA 25 kg/rai	1,736.63 ab	5,465.02 abc	2.20	12.09	45.46 ab	3.81 ab
NPK 50% + HA 50 kg/rai	1,665.84 ab	5,843.62 ab	2.16	11.04	43.13 abc	3.97 ab
NPK 50% + HA 25 kg/rai	1,621.40 ab	6,123.46 ab	2.11	10.29	44.15 ab	4.27 ab
F-test	**	**	ns	ns	**	**
CV (%)	39.05	19.10	8.32	14.98	28.94	29.79

ตารางผนวกที่ 9 (ต่อ)

หมายเหตุ^{1/} = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ภาพผนวกที่ 1 การเตรียมแปลงและการเติบโตของอ้อยระยะต่างๆ

- 1.1 การเตรียมแปลงปลูกอ้อย
- 1.2 ปลูกอ้อยแบบแถวเดี่ยว
- 1.3 ราดกรดฮิวมิก และ/หรือปุ๋ยเคมีตามแต่ละตำรับการทดลอง
- 1.4 การงอกของอ้อยหลังจากปลูก 3 สัปดาห์
- 1.5 การเติบโตของอ้อยหลังจากปลูก 3 เดือน
- 1.6 การเติบโตของอ้อยหลังจากปลูก 6 เดือน







ภาพผนวกที่ 2 ขั้วยเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 10 เดือน

หมายเหตุ 1 = ดำรับทดลองที่ไม่ใส่กรดฮิวมิก (HA) และปุ๋ยเคมี (NPK)

2 = NPK 50%

3 = NPK 75%

4 = NPK 100%

5 = HA 25 กิโลกรัมต่อไร่

6 = HA 50 กิโลกรัมต่อไร่

7 = NPK 50% + HA 25 กิโลกรัมต่อไร่

8 = NPK 50% + HA 50 กิโลกรัมต่อไร่

9 = NPK 75% + HA 25 กิโลกรัมต่อไร่

10 = NPK 75% + HA 50 กิโลกรัมต่อไร่

11 = NPK 100% + HA 25 กิโลกรัมต่อไร่

12 = NPK 100% + HA 50 กิโลกรัมต่อไร่

ตารางผนวกที่ 10 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ความสูงอ้อยจากฐานถึงกอใบสูงสุด
(ชม. /เดือน)

ตำรับการทดลอง	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6	เดือนที่ 7	เดือนที่ 8
Control	0.32	0.14 ^{1/}	0.24 b ^{1/}	0.09	0.11	0.16 c ^{1/}
NPK 100%	0.29	0.28	0.27 b	0.12	0.17	0.25 abc
NPK 75%	0.20	0.20	0.28 ab	0.13	0.11	0.28 ab
NPK 50%	0.27	0.23	0.25 b	0.11	0.12	0.25 abc
HA 50 kg/rai	0.33	0.21	0.25 b	0.06	0.13	0.18 bc
HA 25 kg/rai	0.28	0.22	0.18 c	0.15	0.09	0.19 bc
NPK 100% + HA 50 kg/rai	0.30	0.18	0.32 a	0.16	0.08	0.29 ab
NPK 100% + HA 25 kg/rai	0.30	0.22	0.24 b	0.17	0.07	0.26 abc
NPK 75% + HA 50 kg/rai	0.28	0.25	0.25 b	0.16	0.10	0.36 a
NPK 75% + HA 25 kg/rai	0.29	0.25	0.27 ab	0.15	0.15	0.26 abc
NPK 50% + HA 50 kg/rai	0.28	0.24	0.27 b	0.13	0.10	0.29 ab
NPK 50% + HA 25 kg/rai	0.28	0.23	0.26 b	0.11	0.14	0.23 bc
F-test	ns	ns	**	ns	ns	*

หมายเหตุ^{1/} = ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางผนวกที่ 11 อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และความชื้นสัมพัทธ์ของเดือนสิงหาคม
พ.ศ.2556 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 ในจังหวัดฉะเชิงเทรา
(กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557)

เดือน	อุณหภูมิ (°c)		ปริมาณน้ำฝน (มม.)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
	สูงสุด	ต่ำสุด		
สิงหาคม 2556	32.5	24.4	167.5	84
กันยายน 2556	31.7	23.9	511.3	88
ตุลาคม 2556	31.6	23.3	295.4	85
พฤศจิกายน 2556	32	22.5	37.5	80
ธันวาคม 2556	29.9	16.9	14.6	73
มกราคม 2557	31.4	15.9	0	64
กุมภาพันธ์ 2557	33.8	20.6	3.4	75
มีนาคม 2557	35.9	23	37.7	75
เมษายน 2557	35.3	24.3	203.8	80
พฤษภาคม 2557	35.6	25.3	131.6	80

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวจณิตตา สุกิจปาณีนิจ
เกิดวันที่	31 มกราคม 2532
สถานที่เกิด	อำเภอสามร้อยยอด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ชีววิทยา) เกียรตินิยมอันดับสอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	1. รางวัลประเภทบรรยาย การประชุมวิชาการระดับปริญญาตรี ครั้งที่ 3 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2. รางวัลชมเชยประเภทโปสเตอร์ การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อเยาวชน ครั้งที่ 6
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนโครงการพัฒนาและส่งเสริม ผู้มีความสามารถทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี (พสวท.)