ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษศาสตร์)

ปริญญา

พฤกษศาสตร์ | พฤกษศาสตร์

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง ผลของกรดฮิวมิกที่สกัดจากลีโอนาร์ไดต์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Effect of Humic Acid Extracted from Leonardite on Growth and Development, Yield and Plant Nutrition of Maize (*Zea mays* L.)

นามผู้วิจัย นางสาวสุภานันท์ เงินน้อย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์คณพล จุฑามณี, D.Agr.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์แสงดาว เขาแก้ว, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์สราวุธ รุ่งเมฆารัตน์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฉัตรชัย เงินแสงสรวย, ปร.ด.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของกรดฮิวมิกที่สกัดจากลีโอนาร์ไดต์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Effect of Humic Acid Extracted from Leonardite on Growth and Development, Yield and Plant Nutrition of Maize (*Zea mays* L.)

โดย

นางสาวสุภานันท์ เงินน้อย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษศาสตร์)
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุภานันท์ เงินน้อย 2557: ผลของกรดฮิวมิกที่สกัดจากลีโอนาร์ไดต์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พฤกษศาสตร์) สาขาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์คณพล จุฑามณี, D.Agr. 116 หน้า

การศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการของกรดฮิวมิกที่สกัดจากลีโอนาร์ไดต์ เหมือ แม่เมาะ จังหวัดลำปาง และการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณธาตุอาหาร การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452 ผลการศึกษาพบว่า กรดฮิวมิกที่สกัดจากลีโอนาร์ไดต์มีปริมาณอินทรียวัตถุและความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูง มีปริมาณโลหะหนักต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพดินของกรมควบคุมมลพิษ การใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้ดินหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และทำให้ใบข้าวโพดในระยะออกไหมมีปริมาณธาตุไนโตรเจนและแมงกานีสมีแนวโน้มสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว การใช้กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ และกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่กับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ข้าวโพดมีค่าความสูงต้น ความสูงคอใบสุดท้าย ค่าความเขียวของใบ ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตมีค่าสูงที่สุด นอกจากนี้ยังไม่พบการสะสมโลหะหนักในเมล็ดข้าวโพดได้แก่ โครเมียม แคมเมียม ตะกั่ว สารหนู นิกเกิล และปรอท การศึกษาแสดงให้เห็นว่า กรดฮิวมิกที่สกัดจากลีโอนาร์ไดต์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดิน การดูดสะสมธาตุไนโตรเจนและแมงกานีสในใบ ส่งเสริมการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิต ดังนั้นจึงสามารถใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Supanun Ngennoy 2014: Effect of Humic Acid Extracted from Leonardite on Growth and Development, Yield and Plant Nutrition of Maize (*Zea may* L.). Master of Science (Botany), Major Field: Botany, Department of Botany. Thesis Advisor: Associate Professor Kanapol Jutamanee, D.Agr. 116 pages.

The study on an application of humic acid (HA) extracted from leonardite Mae Moh Mine, Lampang province, with chemical fertilizer (NPK) affected on growth, development, yield and plant nutrition of maize. The results showed that HA had high organic matter and cation exchange capacity. Moreover, HA had heavy metals lower than standards of Pollution Control Department. Application of NPK and HA gave the available phosphorus and potassium contents in soil higher than treatment of NPK. Total nutrient contents in leaves such as nitrogen and manganese contents had higher than NPK treatment. The treatment of 100% NPK with HA 25 kg/rai and 75% NPK with HA 50 kg/rai caused the same result in higher plant height, collar height, SPAD index, and yield than application of NPK only. Furthermore, the heavy metal such as chromium, cadmium, lead, arsenic, nickel and mercury were not found in grains. Finally, the results indicated that HA could increase the adsorption of phosphorus and potassium in soil as well as improve efficiency uptake of nitrogen and manganese in leaves. Meanwhile HA could promoted plant growth, SPAD index and yield. Thus, the application of HA with NPK could increase efficiency of chemical fertilizers in maize production.

_____ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.คณพล จุฑามณี ประธานกรรมการที่ปรึกษา ดร.แสงดาว เขาแก้ว และ ดร. สราวุธ รุ่งเมฆารัตน์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำในการดำเนินงานวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้ความรู้ กระบวนการคิด และแนวคิดทางด้านวิชาการตลอดจนตรวจแก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ และบุคลากรภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้กรุณาให้ความรู้ให้คำแนะนำในการศึกษาเป็นอย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และทุนบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ สถาบันเกษตรอินทรีย์จันทรสถิตย์เพื่อการค้นคว้าและพัฒนาด้านพืชศาสตร์ สถานีวิจัยเขาหินซ้อน ตำบลเขาหินซ้อน อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทราที่ให้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลอง และขอขอบคุณ คุณสุเมธ ทับเงิน ที่ช่วยเหลือตลอดจนให้ความสะดวกในการทำการทดลอง

ท้ายสุด ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการเรียนตลอดมา และขอขอบคุณนิสิตปริญญาโทภาควิชาพฤกษศาสตร์และภาควิชาปฐพีวิทยา และน้องๆที่คอยให้ความช่วยเหลือในห้องปฏิบัติการ คุณค่าและประโยชน์อันใดที่วิทยานิพนธ์เล่มนี้พึงมี ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่และผู้มีพระคุณทุกท่าน ครูบาอาจารย์ และมิตรสหายทุกท่านที่คอยให้การสนับสนุนและช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดมา

สุภานันท์ เงินน้อย

พฤษภาคม 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
วิธีการ	39
ผลและวิจารณ์	51
สรุปผลการทดลอง	98
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	99
ภาคผนวก	104
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	116

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณธาตุอาหารในใบข้าวโพดที่อยู่ตรงปลายกาบหุ้มฝัก (ear leaf) ในระยะออกไหม	21
2	ปริมาณของสารประกอบฮิวมิกที่ได้จากแหล่งต่างๆ	35
3	สมบัติทางเคมีบางประการและปริมาณธาตุอาหารของลีโอนาร์ไดต์และกรดฮิวมิก	52
4	สมบัติทางเคมีเบื้องต้นและปริมาณธาตุอาหารของดินก่อนการปลูกและหลังเก็บเกี่ยวข้าวโพด	56
5	ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) และอินทรียวัตถุ (OM) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลอง ก่อนปลูก (ก่อน) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)	57
6	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับทดลอง ก่อนปลูก (ก่อน) ระยะออกไหม (ออกไหม) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)	60
7	ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca and Mg) และกำมะถันที่สกัดได้ (Extractable S) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลอง ก่อนปลูก (ก่อน) ระยะออกไหม (ออกไหม) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)	62
8	ปริมาณเหล็กและสังกะสีที่สกัดได้ (Extractable Fe and Zn) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลอง ก่อนปลูก (ก่อน) ระยะออกไหม (ออกไหม) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)	64
9	ปริมาณทองแดงและแมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Cu and Mn) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลอง ก่อนปลูก (ก่อน) ระยะออกไหม (ออกไหม) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)	65
10	ปริมาณโครเมียม แคดเมียม และนิกเกิลทั้งหมด (Total Cr, Cd and Ni) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลอง ก่อนปลูก (ก่อน) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)	66
11	ปริมาณตะกั่ว สารหนู และปรอททั้งหมด (Total Pb, As and Hg) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลอง ก่อนปลูก (ก่อน) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)	67

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
12	ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด (Total N, P and K) ในใบข้าวโพดในระยะออกไหมในแต่ละตำรับการทดลอง	70
13	ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันทั้งหมด (Total Ca, Mg and S) ในใบข้าวโพดในระยะออกไหมในแต่ละตำรับการทดลอง	72
14	ปริมาณเหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีสทั้งหมด (Total Fe, Zn, Cu and Mn) ในใบข้าวโพดในระยะออกไหมในแต่ละตำรับการทดลอง	74
15	ความสูงต้นข้าวโพดที่อายุ 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน ในแต่ละตำรับการทดลอง	77
16	ความสูงคอใบสุดท้ายที่อายุ 30 45 60 75 และ 90 วัน ในแต่ละตำรับการทดลอง	78
17	ค่าความเขียวของใบ (SPAD index) ข้าวโพดที่อายุ 30 45 60 75 และ 90 วัน ในแต่ละตำรับการทดลอง	79
18	ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด (Total N, P and K) ในเมล็ดข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยวในแต่ละตำรับการทดลอง	92
19	ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันทั้งหมด (Total Ca, Mg and S) ในเมล็ดข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยวในแต่ละตำรับการทดลอง	94
20	ปริมาณเหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีสทั้งหมด (Total Fe, Zn, Cu and Mn) ในเมล็ดข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยวในแต่ละตำรับการทดลอง	95
21	ปริมาณโครเมียม แคดเมียม นิกเกิล ตะกั่ว สารหนู และ ปรอททั้งหมด (Total Cr, Cd, Ni, Pb, As and Hg) ในเมล็ดข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยวในแต่ละตำรับการทดลอง	97

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร	105
2	สมบัติทางเคมีบางประการและปริมาณธาตุอาหารในดินที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช	106
3	มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม	107
4	จำนวนฝักต่อต้น จำนวนฝักสมบูรณ์ต่อต้น ความยาวฝัก ความยาวส่วนติดเมล็ด และเส้นผ่านศูนย์กลางฝักของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแต่ละตำรับการทดลอง	109
5	น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝัก น้ำหนักเมล็ด เปอร์เซ็นต์กะเทาะ และผลผลิตต่อไร่ ของข้าวโพดลี้ยงสัตว์ในแต่ละตำรับการทดลอง	110
6	อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงต้นข้าวโพด	111
7	อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงคอใบสุดท้าย	112
8	อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ของเดือนพฤศจิกายน 2556 – เดือนมีนาคม 2557 จ.ฉะเชิงเทรา	113
9	มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ.2529)	113

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการเกิดสารฮิวมิก	32
2	อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงต้นข้าวโพด	80
3	อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงคอใบสุดท้าย	80
4	จำนวนฝัก/ต้น และจำนวนฝักสมบูรณ์/ต้น	86
5	ความยาวฝัก ความยาวส่วนติดเมล็ด และเส้นผ่านศูนย์กลางฝัก	87
6	น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝัก น้ำหนักเมล็ด และผลผลิต/ไร่ (กิโลกรัม/ไร่)	88
7	ผลผลิตข้าวโพดในตำรับการทดลองต่างๆ	89

ภาพผนวกที่

1	การเตรียมแปลงและการเติบโตของข้าวโพดในระยะต่างๆ	114

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลของกรดฮิวมิกที่สกัดจากลีโอนาร์ไดต์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Effect of Humic Acid Extracted from Leonardite on Growth and Development, Yield and Plant Nutrition of Maize (*Zea mays* L.)

คำนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์ และมีความต้องการเพิ่มขึ้นทุกปี (นงคราญ, 2553) ส่วนใหญ่จะเป็นการใช้ในประเทศมากกว่าส่งออกต่างประเทศ โดยใช้เป็นวัตถุดิบป้อนเข้าสู่โรงงานผลิตอาหารสัตว์ ซึ่งแนวโน้มของความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยมีทิศทางเพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนประชากรสัตว์ เช่น ไก่เนื้อ ไก่ไข่ โคนม มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นทุกๆ ปี ความต้องการใช้มีมากตามการขยายตัวของการเลี้ยงสัตว์ อีกทั้งความต้องการข้าวโพดในตลาดโลกมีมากกว่าปริมาณผลผลิต และราคาน้ำมันที่มีแนวโน้มสูงขึ้น ส่งผลให้มีการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในการทำเอทานอลเพิ่มขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) และเนื่องจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์นั้นขึ้นอยู่กับสภาพดิน ฟ้า อากาศ ทำให้มีความเสี่ยงต่อความเสียหายจากความแห้งแล้ง สภาพดินที่เสื่อมโทรม ทำให้ผลผลิตที่ได้มีปริมาณน้อยลงและคุณภาพต่ำลง (รสสุคนธ์, 2548)

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชที่ปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย แต่สภาพพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตที่ดีควรเป็นที่ราบและสม่ำเสมอ ไม่มีน้ำท่วมขัง และต้องมีปริมาณน้ำเพียงพอสำหรับใช้ตลอดฤดูปลูก ลักษณะดินที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวโพด ควรเป็นดินร่วนหรือเหนียวปนทราย หรือดินร่วนปนทราย มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีอินทรียวัตถุไม่น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่า 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินมีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี ระดับหน้าดินลึก 25-30 เซนติเมตร (นงคราญ, 2553)

ปัญหาที่สำคัญในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีหลายสาเหตุ เช่น ดินที่ปลูกส่วนใหญ่มีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำและเกิดความเสื่อมโทรม โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความลาดเททำให้เกิดการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชะล้างพังทลายของดินในแปลงเกษตรกร ส่งผลให้ดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ (วรสิทธิและปิยะ, 2554) ดินที่ใช้ปลูกพืชไร่ เช่น มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในประเทศไทยในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นดินเลวที่มีคุณภาพต่ำ ขาดอินทรียวัตถุในดิน ขาดปุ๋ย ขาดดินเนื้อดี หรือเป็นดินทราย หรือดินร่วนทราย ไม่อุ้มน้ำ ไม่กักเก็บปุ๋ยธรรมชาติหรือดูดยึดปุ๋ยเคมีที่ใส่ เกิดการชะล้างและพังทลายได้ง่าย ทำให้ปลูกพืชแล้วได้ผลผลิตต่ำ ซึ่งสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ได้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำก็เพราะคุณภาพดินนั่นเอง สาเหตุสำคัญที่ทำให้ดินเสื่อมโทรม คือ 1. การปลูกพืชติดต่อกันนานโดยไม่มีการปรับปรุงบำรุงดิน 2. ปลูกพืชโดยมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมีหรือใช้ทั้ง 2 อย่างแต่ใช้น้อยเกินไปไม่เพียงพอต่อปริมาณธาตุอาหารที่พืชดูดใช้ไปจากดิน 3. ไม่มีการควบคุมการสูญเสียเนื้อดินและน้ำ หรือมีการควบคุมไม่ดีพอ ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ทุกปีและเกิดการสูญเสียเนื้อดินดีๆ (สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน, 2550)

การปรับปรุงดินเลวที่มีคุณภาพต่ำปฏิบัติได้โดย ใช้ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์หรือใช้ทั้งสองอย่าง การใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอาจช่วยเพิ่มผลผลิตพืชได้ดีแบบฤดูปลูกต่อฤดูปลูก แต่โดยทั่วๆไปปุ๋ยเคมีที่ใช้จะตกค้างอยู่ในดินประมาณ 1-2 ปี ควรใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ และการใช้สารปรับปรุงดิน ดินบางประเภทมีปัญหาทางด้านเนื้อดินที่ไม่จับตัวกันเป็นก้อน ไม่อุ้มน้ำ เกิดการชะล้างพังทลายง่ายหรือผิวหน้าดินอาจเกิดการแข็งตัวแน่นทึบหลังจากดินเปียกและแห้งตัวลง ปัญหาต่างๆ เหล่านี้จำเป็นต้องมีการใช้สารปรับปรุงดิน (สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน, 2550) กรดฮิวมิกเป็นสารปรับปรุงดินชนิดหนึ่งที่มีผลต่อสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดิน กรดฮิวมิกเป็นสารที่มีความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange capacity, CEC) สูงมากคือ มีค่าระหว่าง 500-870 มิลลิสมมูลต่อ 100 กรัม ซึ่งสูงกว่าสารฮิวมัสประมาณ 3-4 เท่า ทำให้ถ้าใส่กรดฮิวมิกลงไปในดินในปริมาณมากจะมีผลทำให้ดินมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกรวมสูงขึ้นได้ในระดับหนึ่งและทำให้ดินมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-ด่าง (buffering capacity) ของดินสูงขึ้นด้วย นอกจากนั้นยังสามารถดูดซับธาตุอาหารพืชที่มีประจุบวก เช่น โพแทสเซียม หรือเกิดการดูดซับกับธาตุโลหะในรูปธาตุอาหารเสริม เช่น เหล็ก แมงกานีส สังกะสีได้มากขึ้น (ปิยะ,2553) ดังนั้นถ้ามีการเพิ่มกรดฮิวมิกลงไปในพื้นที่ปลูกข้าวโพดร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีก็มีแนวโน้มที่จะทำให้ข้าวโพดมีปริมาณธาตุอาหาร การเจริญเติบโต และผลผลิตเพิ่มขึ้น จึงได้มีการศึกษาผลของการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ เพื่อเสริมประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยและผลที่มีต่อปริมาณธาตุอาหาร การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในสภาพแปลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการและปริมาณธาตุอาหารของลีโอนาร์ไดต์

2. เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการและปริมาณธาตุอาหารของกรดฮิวมิกที่สกัดจากลีโอนาร์ไดต์

3. เพื่อศึกษาผลของกรดฮิวมิกร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีต่อปริมาณธาตุอาหารของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

4. เพื่อศึกษาผลของกรดฮิวมิกร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

5. เพื่อศึกษาผลของกรดฮิวมิกร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีต่อปริมาณโลหะหนักในเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

ความสำคัญของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* L.) เป็นธัญพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ เป็นพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับ 3 ของโลก รองจากข้าวสาลีและข้าว มีการผลิตโดยทั่วไปในเขตอากาศอบอุ่น (temperate) เขตอากาศกึ่งร้อนชื้น (subtropic) และพื้นที่ราบเขตร้อน (lowland tropic) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สามารถปรับตัวได้ดีกับสภาพแวดล้อมตั้งแต่เส้นรุ้งที่ 55 องศาเหนือ ถึง 40 องศาใต้ (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ประมาณ 94 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิตข้าวโพดใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ของประเทศ และมีความต้องการเพิ่มขึ้นทุกปี ข้าวโพดเป็นพืชที่ปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย สภาพพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต ควรเป็นที่ราบและสม่ำเสมอ ไม่มีน้ำท่วมขัง มีประมาณน้ำเพียงพอสำหรับใช้ตลอดฤดูปลูก ลักษณะดินที่เหมาะสม ควรเป็นดินร่วนหรือเหนียวปนทราย หรือดินร่วนปนทราย มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีอินทรียวัตถุไม่น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่า 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 5.5-6.8 ระดับหน้าดินลึก 25-30 เซนติเมตร (นงคราญ, 2553)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* L.) อยู่ในวงศ์ Poaceae สกุล *Zea* มีชื่อสามัญว่า Field corn มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ดังนี้

1. ราก (root) รากข้าวโพดเป็นระบบรากฝอย มี 2 ชนิด แต่ละชนิดจะทำหน้าที่ในระยะแตกต่างกันในระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวโพด ได้แก่ รากชั่วคราว (lateral seminal roots) รากชั่วคราวประกอบด้วยรากแรกที่พึ่งงอกออกมาจากเมล็ด รวมทั้งรากที่เกิดเหนือข้อแรกของปล้องแรก อีกประมาณ 3-5 ราก ทำหน้าที่ค้ำจุนหาอาหารและน้ำมาเลี้ยงลำต้นในระยะ 2-3 สัปดาห์แรก รากถาวร (permanent roots) หมายถึงรากที่เกิดบนฐานของทุกๆ ปล้องของลำต้น ยกเว้นปล้องแรก รากที่เกิดจากข้อที่สองของลำต้นนี้เรียกว่า crown หรือ coleoptile node นอกจากนี้รากอากาศ (aerial

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

root) ก็รวมอยู่ในรากฉาวรด้วย ทำหน้าที่หาอาหารและยึดเหนี่ยวลำต้น การแผ่กระจายของราก ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน และการถ่ายเทของอากาศในดิน ถ้าดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง รากก็จะแข็งแรงและแผ่กระจายออกไปทุกๆ ด้าน แต่ถ้าดินมีน้ำขัง การเจริญเติบโตของรากก็จะหยุดชะงัก ในดินที่แห้งหรือขาดน้ำ รากจะเล็กและเรียวยาวหยั่งลึกลงไปในดินในแนวดิ่ง (สนิท, 2527; กรมวิชาการเกษตร, 2547)

2. ลำต้น (stem) ลำต้นของข้าวโพดแบ่งออกเป็นข้อ (node) ปล้อง (internode) ที่ฐานของปล้องยกเว้นปล้องสุดท้ายจะมีตา ปล้องที่อยู่ติดกับดินจะสั้นและใหญ่ ส่วนปล้องที่อยู่ถัดขึ้นไปจะยาวขึ้นไปเรื่อยๆ จนกระทั่งปล้องสุดท้าย ปล้องที่เล็ก ยาวและกลมที่สุดคือปล้องที่อยู่ติดกับช่อดอกเพศผู้ ที่ฐานของทุกๆ ปล้องจะมีเยื่อเจริญซึ่งช่วยในการแบ่งเซลล์ ที่ฐานของแต่ละปล้องจะมีข้อ ข้อแรกของต้นข้าวโพด(scutellar node) จะหลุดหายไปหลังจากที่ข้าวโพดงอกมาได้ 3-4 สัปดาห์ ส่วนข้อที่สองของลำต้น (coleoptillar node) จะปรากฏอยู่จนกระทั่งข้าวโพดแก่ แต่ละข้อจะมีตาและร่อง (groov) ตาที่อยู่ตรงกลางลำต้นจะเปลี่ยนแปลงกลายเป็นฝัก ส่วนตาที่อยู่ทางโคนต้นใต้ดินบางพันธุ์ของข้าวโพดหัวแข็ง (flint corn) อาจเจริญเป็นหน่อได้ (สนิท, 2527; กรมวิชาการเกษตร, 2547)

3. ใบ (leaf) เมื่ออยู่ในเมล็ด ใบจะซ้อนกันอยู่ประมาณ 5-6 ใบเป็นรูปกรวยโดยมีเยื่อหุ้มยอดอ่อน (coleoptile) หุ้มเอาไว้ ใบของข้าวโพดจะเกิดทุกข้อของลำต้น ข้าวโพดจะมีใบตั้งแต่ 10-22 ใบ ใบมีลักษณะกว้างจากฐานและเรียวยาวไปทางปลายใบ ใบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่หุ้มลำต้น เรียกว่า กาบใบ (leaf sheath) และอีกส่วนหนึ่งมีเส้นกลางใบ เรียกว่า แผ่นใบ (leaf blade) โดยทั่วไปจะมีความกว้างตั้งแต่ 5-12 เซนติเมตร และยาวประมาณ 15-110 เซนติเมตร แผ่นใบประกอบด้วยเส้นกลางใบ (midrib) ขอบใบ (rim) และปลายใบ (leaf apex) แผ่นใบมีเส้นใบหรือมัดท่อลำเลียงน้ำและอาหารขนานกัน ผิวด้านบนของใบ (adaxial) ค่อนข้างเป็นมันมีขนกระจัดกระจายอยู่ทั่วไป มีปากใบขนาดใหญ่ ผิวด้านใต้ใบ (abaxial) ไม่มีขนและมีปากใบขนาดเล็ก ใบที่อยู่ใต้ฝัก 2 ใบแรกและใบที่อยู่เหนือฝักขึ้นไปจะสังเคราะห์ด้วยแสงนำอาหารไปสะสมไว้ที่เมล็ด ส่วนใบที่ต่ำลงมาจะส่งอาหารไปเลี้ยงรากและลำต้น ตรงรอยต่อระหว่างแผ่นใบและกาบใบจะมีแผ่นสีเหลืองหรือสีชาอ่อนลักษณะคล้ายลิ้นอยู่ด้านในของรอยต่อรอบลำต้น แผ่นนี้เรียกว่า ลิ้นใบ (ligule) ซึ่งทำหน้าที่ไม่ให้น้ำไหลเข้าไปในซอกของกาบใบ กาบใบหรือก้านใบ (leaf sheath) มีลักษณะหยาบ มีความสำคัญมากในขณะที่ต้นข้าวโพดยังเล็กอยู่ โดยกาบใบจะรวมตัวอัดกันแน่นทำหน้าที่คล้ายกับลำต้น กาบใบมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้สัตว์และแมลงต่างๆ มาทำอันตรายตา ตรงด้านบนสุดของกาบใบจะมีแผ่นงอคล้ายรูปตัววี ซึ่งอาจจะมีอยู่ทั้งสองข้างหรือข้างเดียว หรือไม่มีเลยก็ได้ แผ่น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นี้เรียกว่าหูใบ (auricle) มีหน้าที่ช่วยยึดให้กาบใบแนบสนิทกับลำต้น เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำและแมลงเข้าไปทำอันตรายตา (สนิท, 2527; กรมวิชาการเกษตร, 2547)

4. ช่อดอก (inflorescence) ข้าวโพดมีช่อดอก 2 ชนิด ได้แก่ ช่อดอกเพศผู้และช่อดอกเพศเมีย

4.1 ช่อดอกเพศผู้ (staminate inflorescence) เป็นช่อแยกแขนง (panicle) จะเรียงตัวกันเป็นเกลียวรอบแกนของช่อดอก ดอก (spikelet) เกิดเป็นคู่ ดอกหนึ่งมีก้านดอก (pedicelled) ส่วนอีกดอกหนึ่งไม่มีก้านดอก (sessile) แต่ละดอกถูกหุ้มด้วยกาบช่อย่อย (glumes) 2 อัน กาบช่อย่อยมีลักษณะคล้ายเรือและมีขน แต่ละดอกจะมีดอกย่อย (florets) อยู่ 2 ดอก แต่ละดอกจะมีกาบล่าง (lemma) กาบบน (palea) เกสรเพศผู้ (stamen) 3 อัน กลีบเกล็ด (lodicules) 2 อัน และ เกสรเพศเมียที่ไม่เจริญ (rudimentary pistil) 1 อัน ดอกย่อยด้านบนจะเจริญเร็วกว่าดอกล่าง ส่วนกาบล่างและกาบบนจะบางกว่ากาบช่อย่อย ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันอับเรณูของข้าวโพด การบานของดอกข้าวโพดจะเริ่มบานตอนเช้า แล้วจะเริ่มปล่อยละอองเกสรเพศผู้หลังจากที่น้ำค้างแห้งไปแล้ว ดอกจะเริ่มบานจากส่วนกลางของช่อดอกก่อน แล้วจะบานขึ้นไปทางปลายและลงมาทางฐานของดอกพร้อมๆ กัน ในระยะนี้กลีบเกล็ดจะขยายตัวออกแล้วดันกาบล่างและกาบบน ให้แยกออกจากกัน แล้วก้านของอับเรณูก็จะขยายตัวตามยาวชูอับเรณูให้โผล่พ้นกลีบดอกออกมา

4.2 ช่อดอกเพศเมีย (pistillate inflorescence) ฝักข้าวโพดเกิดจากตาที่อยู่ข้างลำต้นเปลี่ยนแปลงมากลายเป็นฝัก แต่ละปล้องของลำต้นจะหดสั้นเข้ากลายเป็นก้านของฝัก (shank) ส่วนกาบใบมีหน้าที่ป้องกันตา แต่เนื่องจากว่าปล้องหดสั้นเข้ามากจึงทำให้กาบใบซึ่งทำหน้าที่เป็นเปลือกหุ้มฝักอยู่ซ้อนกันมาก ส่วนตัวใบจะหดหายไป ช่อดอกเพศเมียเป็นช่อดอกแบบ ช่อเชิงลด (spike) โดยมีแกนกลาง (cob) ทำหน้าที่คล้ายช่อดอก ดอก (spikelet) เกิดเป็นคู่ตามแถวยาวของแกนกลาง ก้านของดอกสั้นมากจึงดูคล้ายดอกติดกับซังโดยตรง ดอกหนึ่งๆ มีดอกย่อย (floret) อยู่ 2 ดอก แต่เจริญเพียงดอกเดียวเท่านั้น จึงทำให้แถวของเมล็ดข้าวโพดเกิดเป็นคู่ ถ้าหากดอกย่อยเจริญทั้งสองดอกก็จะทำให้เมล็ดข้าวโพดในฝักเบียดกันแน่น กระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ ดอก (spikelet) ของเพศเมียจะถูกหุ้มด้วยกาบช่อย่อย 2 อัน แต่กาบช่อย่อยทั้งสองนั้นสั้นมาก จึงไม่สามารถจะหุ้มดอกได้ ส่วนกาบบนและกาบล่าง จะบางและสั้นกว่ากาบช่อย่อย ทั้งกาบช่อย่อย กาบบนและกาบล่าง รวมกันเรียกว่า เกล็ดบาง (chaff) ไหม (style หรือ silk) จะทำหน้าที่คล้ายยอดเกสรเพศเมีย (stigma) ของพืชใบเลี้ยงคู่ เมื่อไหมโผล่ออกมาจากรังไข่ใหม่ๆ จะมีสีขาวหรือสีม่วงขึ้นอยู่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กับพันธุ์ ที่ปลายของเส้นไหมจะเห็นเป็น 2 แฉก (bifurcate stigma) รอบๆ เส้นไหมจะมีขนคอยดักรับละอองเกสรเพศผู้ ไหมสามารถมีชีวิตอยู่ได้ประมาณ 2 สัปดาห์ ถ้าหากว่าไม่ได้รับการผสมจากเกสรเพศผู้เลย เส้นไหมก็จะยาวออกมาเรื่อยๆ เมื่อได้รับการผสมจากเกสรเพศผู้แล้วก็จะเริ่มเหี่ยวกลายเป็นสีน้ำตาลและดำ การบานของดอกเพศเมียเริ่มจากไหมจากตรงกลางฝักจะเริ่มโผล่ออกมาก่อน แล้วไหมจากทางปลายและโคนฝักจะโผล่ออกมาภายหลัง

จำนวนของฝักข้าวโพดขึ้นอยู่กับพันธุ์ โดยทั่วไปจะมีต้นละ 2 ฝัก ฝักที่อยู่ด้านบนจะมีขนาดใหญ่กว่าฝักล่าง ขนาดของฝักข้าวโพดขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน (สนิท, 2527; กรมวิชาการเกษตร, 2547)

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมเดี่ยวพันธุ์สุวรรณ 4452 (โชคชัย, 2551)

รหัสพืช Ksx 4452

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Zea mays* L. ชื่อสามัญ Field Corn

ประวัติพันธุ์ ได้มาจากการผสมระหว่างสายพันธุ์แท้ Ki 47 กับ Kei 0102 ในปี 2543 ทำการทดสอบพันธุ์ในแหล่งปลูกข้าวโพดต่างๆ จนกระทั่งในปี 2546 ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติได้แนะนำพันธุ์สู่เกษตรกรภาครัฐและเอกชนต่างๆ

ลักษณะดีเด่น เป็นพันธุ์ที่ปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมที่เลวถึงดี มีระบบรากและลำต้นแข็งแรง ไม่หักล้มง่าย มีความสูงต้น 214 ซม. ใบตั้ง สีเขียวเข้ม ลำต้น และช่อดอกสีม่วง ความสูงฝัก 128 ซม. มีอายุวันสลัดละอองเกสร 50 เปอร์เซ็นต์ 53 วัน วันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ 54 วัน มีเปลือกหุ้มฝักมิดชิด เมล็ด สีส้มเหลืองหัวแข็งมี 16 แถว จำนวน 38 เมล็ด/แถว ซังมีสีขาว ต้านทานต่อโรคราน้ำค้างและโรคทางใบ

ผลผลิต ให้ผลผลิตเฉลี่ย 1,187-1,454 กิโลกรัมต่อไร่ มีเปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ด 81.9 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด 310.14 กรัม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การจำแนกประเภทของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จำแนกประเภทของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จากลักษณะภายนอกของเมล็ดและพฤกษศาสตร์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (สนิท, 2527; กรมวิชาการเกษตร, 2547) ได้ดังนี้

1. ข้าวโพดไร่ชนิดหัวบุบ (dent corn) เป็นข้าวโพดที่เมล็ดด้านบนมีรอยบุบสีขาว เนื่องจากด้านบนเป็นแป้งชนิดอ่อน (soft starch) และด้านข้างเมล็ดเป็นแป้งชนิดแข็ง (corneous starch) เมื่อแห้งบริเวณที่เป็นแป้งอ่อนจึงหดยุบตัว เกิดลักษณะหัวบุบ

2. ข้าวโพดไร่ชนิดหัวแข็ง (flint corn) เป็นข้าวโพดที่มีเมล็ดค่อนข้างแข็งแรง กลม เรียบ หัวไม่บุบ มีแป้งชนิดอ่อนอยู่ตรงกลางแต่ด้านนอกถูกห่อหุ้มด้วยแป้งชนิดแข็ง เมื่อตากแห้งจึงไม่หดตัว

3. ข้าวโพดหวาน (sweet corn) เป็นข้าวโพดที่ส่วนน้ำตาลในเมล็ดเปลี่ยนแปลงไปเป็นแป้งไม่สมบูรณ์ มีรสหวาน เมื่อเมล็ดแก่จะหดตัวและเหี่ยวย่น

4. ข้าวโพดคั่ว (pop corn) เมล็ดมีขนาดค่อนข้างเล็ก มีแป้งชนิดแข็งอยู่ภายใน มีเปลือกหุ้มเมล็ดหนาเมื่อเมล็ดที่มีความชื้นอยู่ภายในถูกความร้อน จะเกิดแรงดันภายในเมล็ดและพองตัวออกมา มีปริมาตรเพิ่มขึ้น 20-30 เท่า

5. ข้าวโพดข้าวเหนียว (waxy corn) เป็นข้าวโพดที่ภายในเมล็ดมีแป้งชนิดอ่อนแต่มีความเหนียว เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นอะไมโลเพคติน (amylopectin) เมื่อถูกความร้อนจะเหนียวคล้ายขี้ผึ้ง

6. ข้าวโพดแป้ง (flour corn) เมล็ดประกอบด้วยแป้งชนิดอ่อนมาก มีรูปร่างและลักษณะเมล็ดคล้ายข้าวโพดไร่ชนิดหัวแข็งแต่หัวไม่บุบ หรือบุบเล็กน้อยโดยสม่ำเสมอทั่วเมล็ด มีลักษณะทึบแสง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. ข้าวโพดป่า (pod corn) เป็นข้าวโพดที่ เมล็ดมีเปลือกหุ้มทุกเมล็ด และยังมีเปลือกฝักอีกชั้นหนึ่ง ส่วนเมล็ดมีลักษณะต่างๆ กัน คือ มีทั้งพวกหัวบุบ หัวแข็ง ข้าวโพดแป้ง ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดคั่ว

การงอกและการเจริญเติบโตของข้าวโพด (สนิท, 2527)

1. เมล็ด (seed) เมล็ดข้าวโพดประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ เปลือกหุ้มเมล็ด (pericarp) เอนโดสเปิร์ม (endosperm) และเอ็มบริโอ (embryo) เกิดจากเนื้อเยื่อของผนังรังไข่หลังจากที่ได้รับการผสม เปลือกหุ้มเมล็ดจะทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันเมล็ดทั้งก่อนและหลังงอก เพื่อไม่ให้เชื้อราและแบคทีเรียเข้าไปในเมล็ด ในเมล็ดที่แก่และแห้งเต็มที่เปลือกหุ้มเมล็ดจะอยู่นอกสุด ส่วนชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) จะอยู่ติดกับเอนโดสเปิร์ม ระหว่างเปลือกหุ้มเมล็ดและชั้นแอลิวโรน จะมีผนังเซลล์อยู่เรียกว่านิวเซสลัสเอพิเดอร์มิส (nucellus epidermis) ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของน้ำที่จะผ่านเข้าไปในเมล็ด ตรงด้านบนของเมล็ดจะเห็นรอยไหม (silk scar) ปรากฏอยู่ ส่วนด้านล่างจะเห็นก้านดอกย่อยติดอยู่ เมล็ดข้าวโพดจะมีแป้งประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 7 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือจะเป็นน้ำมัน เกลือแร่ น้ำตาล และวิตามินต่างๆ หน้าที่สำคัญของเอนโดสเปิร์ม คือ เป็นแหล่งสะสมอาหารและพลังงานไว้ให้ใบเลี้ยง (scutellum) ลำเลียงส่งไปให้ต้นอ่อนในขณะที่เมล็ดเริ่มงอกจนกระทั่งรากและใบสามารถดูดน้ำและแร่ธาตุ และสังเคราะห์ด้วยแสงเองได้ เอ็มบริโอประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ (1) ใบเลี้ยง ประกอบด้วยน้ำมันประมาณ 35-40 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลและแร่ธาตุอื่นๆ ที่ช่วยในการงอกและเจริญเติบโตในระยะต้นอ่อน ใบเลี้ยงจะอยู่ระหว่างเอนโดสเปิร์มและแกนเอ็มบริโอ ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารที่สลายจาก เอนโดสเปิร์มส่งไปให้รากและยอดแรกเกิด (plumule) ใช้ในระหว่างที่ต้นอ่อนยังไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ (2) แกนเอ็มบริโอ จะอยู่ด้านนอกสุดของเมล็ด ประกอบด้วย ยอดแรกเกิดและรากแรกเกิด (radicle) ยอดแรกเกิดก็คือยอดอ่อนภายในเมล็ด มีลักษณะเป็นรูปทรงกรวยประกอบด้วยใบอ่อน 5-6 ใบ ซ้อนกัน ด้านบนของยอดแรกเกิดจะถูกหุ้มไว้ด้วยเยื่อบางๆ คล้ายใบ เรียกว่าเนื้อเยื่อหุ้มยอดแรกเกิด (coleoptile) ซึ่งจะป้องกันไม่ให้ยอดอ่อนได้รับอันตรายในระหว่างการงอกออกจากเมล็ดขึ้นสู่พื้นดิน ส่วนรากแรกเกิดจะทำหน้าที่เป็นรากแรกของลำต้น (primary root) ที่ปลายสุดของรากแรกเกิดจะมีเนื้อเยื่อหุ้มรากแรกเกิด (coleorhiza) หุ้มอยู่ เยื่อนี้จะคอยป้องกันไม่ให้รากได้รับอันตรายในระหว่างที่รากแทงลงไปในดินขณะงอก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การงอกของเมล็ด (seed germination) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในดิน ความชื้นในดิน และอาหารที่สะสมในเมล็ดข้าวโพด เมล็ดจะดูดน้ำเข้าไปในเมล็ดผ่านเปลือกหุ้มเมล็ด มีการสลายแป้งให้กลายเป็นน้ำตาล ถ้าอุณหภูมิเหมาะสมการงอกก็จะเริ่มขึ้น โดยรากแรกเกิดจะยาวโผล่ออกมานอกเมล็ด ภายใน 2-3 วัน หลังจากนั้นยอดแรกเกิด และรากพิเศษแรกเกิด (seminal root) จะเริ่มเจริญ ปล้องแรกจะเริ่มขยายตัวยาวออกไปจนกระทั่งเหลืออีกประมาณ 3 เซนติเมตรจากหน้าดิน เนื้อเยื่อหุ้มยอดแรกเกิดก็จะขยายตัวออกนำยอดอ่อนโผล่พ้นพื้นดิน ระยะตั้งแต่ปลูกไปจนกระทั่งยอดอ่อนโผล่พ้นพื้นดินนี้จะใช้เวลาประมาณ 4-5 วัน แต่ถ้าอุณหภูมิค่อนข้างเย็นอาจใช้เวลาถึง 15 วัน

3. การเจริญเติบโตของข้าวโพด (growth and development of maize) ภายในสัปดาห์แรกหลังจากที่ยอดอ่อนโผล่พ้นพื้นดิน ก็จะมีใบใหม่เกิดขึ้น 2 ใบ ทุกๆ สัปดาห์ การเจริญเติบโตของข้าวโพดในระยะต่างๆ ต้องการน้ำและธาตุอาหารแตกต่างกันไป สามารถแบ่งได้เป็น 5 ระยะ ดังนี้

3.1 ระยะเริ่มตั้งตัว ระยะนี้จะใช้เวลา 15-25 วันหลังจากปลูก การเจริญเติบโตจะช้ามากในสัปดาห์แรกหลังจากงอก การใช้น้ำและอาหารก็น้อยมาก กาบใบจะอัดกันแน่นทำหน้าที่คล้ายลำต้น

3.2 ระยะการเจริญเติบโตของลำต้นและใบ ระยะนี้จะใช้เวลา 25-40 วันก่อนออกดอก การเจริญเติบโตในระยะนี้จะเป็นไปอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับระยะที่ 1 พื้นที่ของใบจะเพิ่มขึ้นเป็น 5-10 เท่า ส่วนน้ำหนักของลำต้นจะเพิ่มขึ้นเป็น 50-100 เท่า เริ่มมีช่อดอกเพศผู้เมื่อข้าวโพดปลูกได้ 25-35 วัน หรือเมื่อข้าวโพดสูงประมาณ 50 เซนติเมตร และใบที่ 8 ได้โผล่ออกมาจากลำต้นแล้ว ส่วนปลายยอดอ่อนจะโผล่อยู่เหนือพื้นดินหรือประมาณ 5 เซนติเมตร เหนือพื้นดิน

3.3 ระยะออกช่อดอกและไหม ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 15-20 วัน เป็นระยะที่สำคัญที่สุดในการปลูกข้าวโพด เพราะจะมีผลต่อการผลิตข้าวโพดมาก ถ้าสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น ขาดน้ำ ความชื้นในบรรยากาศต่ำจะมีผลต่อการออกดอกและไหมมาก ถ้าสภาพแวดล้อมเหมาะสม เกสรเพศผู้จะร่วงหลังจากที่ช่อดอกเพศผู้เริ่มเกิดอยู่ในลำต้นมาได้ 5-6 สัปดาห์ เมื่อเกสรเพศผู้ร่วงจากช่อดอกหมดแล้ว การขยายตัวของปล้องจะหยุดชะงัก ก่อนที่เกสรเพศผู้จะร่วง ข้าวโพดต้องการความชื้นมาก ถ้าหากขาดน้ำในช่วงนี้จะทำให้ผลผลิตลดลง เกสรเพศผู้จะเริ่มร่วงในเวลาเช้าประมาณ 8.00-9.00 นาฬิกา ส่วนไหมจะโผล่ออกมาและพร้อมที่จะผสมได้ภายใน 2-5 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.4 ระยะสะสมอาหารของเมล็ด ผลผลิตข้าวโพดจะมีส่วนสัมพันธ์กับการสะสมอาหารของเมล็ด ถ้าระยะในการสะสมอาหารยาวนานกว่าระยะการเจริญเติบโตของลำต้นแล้ว จะให้ผลผลิตของเมล็ดสูง การสะสมอาหารของข้าวโพดจะเริ่มหลังจากที่เกสรเพศผู้ตกลงไปบนเส้นไหมของดอกเพศเมีย ไข่จะได้รับการผสมภายใน 12-24 ชั่วโมง นิวเคลียสจะแบ่งเซลล์ภายใน 4 ชั่วโมง หลังจากนั้น 3-4 วัน การสร้างผนังเซลล์ก็จะเริ่มขึ้น ในวันที่ห้าจะเริ่มมีการสะสมแป้งในเซลล์ ในระยะนี้เส้นไหมจะเริ่มเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาล จนกระทั่ง 12 วันหลังจากผสม แป้งภายในเมล็ดก็จะเป็นน้ำนมซึ่งมีน้ำตาลอยู่มาก หลังจากนั้นก็จะเปลี่ยนเป็นแป้งแข็ง ต้นอ่อนก็จะเริ่มมีขึ้นพร้อมกับใบรากแรกเกิดก็เริ่มปรากฏ ต้นอ่อนจะเจริญเต็มที่อยู่ภายในเมล็ด ขณะนี้การสะสมอาหารภายในเมล็ดและลำต้นจะหยุดลง

3.5 ระยะเมล็ดแก่ ระยะนี้จะใช้เวลา 10-15 วัน พบว่า ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้งจะเพิ่มขึ้นในสองสัปดาห์หลังนี้ จากนั้นความชื้นของเมล็ดและลำต้นก็จะเริ่มลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งใบและเปลือกหุ้มฝักแห้ง ข้าวโพดในระยะนี้จะมีความชื้นอยู่ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ และพร้อมที่จะเก็บฝักได้โดยไม่ทำให้ผลผลิตลดลง

4. การสะสมน้ำหนักแห้ง (dry matter accumulation) การเจริญเติบโตของข้าวโพดในระยะ 5 สัปดาห์แรกจะช้ามาก ในช่วงดังกล่าวต้นข้าวโพดจะสะสมน้ำหนักแห้งได้เพียง 15เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งสุดท้าย ในระยะนี้การดูดซึมธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) มาใช้จะมากกว่าน้ำหนักแห้ง ข้าวโพดจะดูดซึมธาตุอาหารและสะสมน้ำหนักแห้งเพิ่มมากขึ้นในระยะที่ออกไหม ซึ่งในระยะนี้ข้าวโพดจะดูดซึมธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมาสะสมไว้ในลำต้นประมาณ 76, 67 และ 89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักแห้งในระยะนี้จะมีประมาณ 46 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งสุดท้าย หลังจากนั้นการเพิ่มน้ำหนักแห้งจะเป็นไปในรูปของแกนข้าวโพด เปลือกหุ้มฝักและเมล็ด ธาตุอาหารต่างๆ จะเคลื่อนย้ายจากใบ ลำต้น และส่วนอื่นๆ ไปที่ฝัก ในระยะนี้การดูดซึมธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมาใช้ยังคงดำเนินต่อไปจนกระทั่งเมล็ดแก่ ส่วนการดูดซึมธาตุโพแทสเซียมจะหยุดลงเมื่อเมล็ดข้าวโพดเริ่มแข็ง

การเตรียมการปลูกและวิธีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

1. การเตรียมดินเพื่อปลูกข้าวโพดควรจะเริ่มเมื่อใกล้เวลาปลูกข้าวโพด เวลาที่เหมาะในการไถเตรียมดิน หลังฝนตกแล้ว 1-2 ครั้ง การไถควรให้ดินลึกประมาณ 15 เซนติเมตร การไถพรวนทำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ให้มีการถ่ายเทอากาศในดิน และเป็นการกำจัดวัชพืชด้วย เริ่มไถด้วยผาลสาม 1 ครั้ง ลึก 20-30 เซนติเมตร ตากดิน 7-10 วัน เพื่อช่วยทำลายวัชพืชและโรคพืชบางชนิด พรวนด้วยผาลเจ็ด 1 ครั้ง ปรับระดับดินให้สม่ำเสมอ แล้วคราดเก็บเศษซาก ราก เหง้า หัว และไหล ของวัชพืชข้ามปีออกจากแปลง

2. วิธีการปลูก ใช้ระยะห่างระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างหลุม 25 เซนติเมตร ทำการปลูกข้าวโพดโดยการหยอดเมล็ดด้วยเครื่องกระทุ้ง (Jab seeder) หยอดหลุมละ 2-3 เมล็ด เมื่ออายุได้ 15 วัน จึงถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม

3. การให้น้ำ มีการให้น้ำแบบฝนเทียม (sprinkler irrigation) โดยให้สัปดาห์ละ 3 ครั้ง ครั้งละ 1 ชั่วโมง

4. การให้ปุ๋ย ดินแต่ละชนิดมีความอุดมสมบูรณ์ของดินไม่เท่ากันและการใส่ปุ๋ยเคมีกับข้าวโพด ควรจะต้องใช้ปุ๋ยให้ถูกชนิดหรือถูกสูตร ถูกอัตรา ถูกเวลา

ดินเหนียวสีดำ ถ้ามีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่า 10 ส่วนในล้านส่วน ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 21-0-0 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ หรือสูตร 46-0-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ โรยข้างแถวหลังปลูก 20-25 วัน ถ้ามีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า 10 ส่วนในล้านส่วน ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 20-20-0 อัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่ หรือสูตร 16-20-0 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ รองก้นร่องพร้อมปลูก และให้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ หรือสูตร 21-0-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ โรยข้างแถวหลังปลูก 20-25 วัน แล้วพรวนดินกลบ

ดินเหนียวสีแดง ดินเหนียวสีน้ำตาล หรือดินร่วนเหนียวสีน้ำตาล ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 หรือ 16-16-8 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ รองก้นร่องพร้อมปลูก และให้ปุ๋ยเคมีสูตร 21-0-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ หรือสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ โรยข้างแถวหลังปลูก 20-25 วัน แล้วพรวนดินกลบ

ดินร่วน หรือดินร่วนทราย ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 หรือสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ รองก้นร่องพร้อมปลูก และให้ปุ๋ยเคมีสูตร 21-0-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ โดยข้าวแถวหลังปลูก 20-25 วันแล้วพรวนดินกลบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. การป้องกันกำจัดวัชพืช ระยะเวลา 13-25 วันหลังข้าวโพดงอกคือช่วงวิกฤตที่ข้าวโพดอ่อนแอกว่าวัชพืชที่สุดคือ ถ้ามีวัชพืชรบกวนจะทำให้ผลผลิตข้าวโพดเสียหายสูงสุด ดังนั้นการปลูกข้าวโพดให้ได้ผลผลิตสูง จะต้องให้ปลอดวัชพืชตลอดช่วง 1 เดือนแรกตั้งแต่ปลูก โดยเลือกกำจัดวัชพืชที่เหมาะสมด้วยการไถพรวน และสารป้องกันกำจัดวัชพืช

ธาตุอาหารของข้าวโพด

ข้าวโพดต้องการธาตุอาหารต่างๆ ในการเจริญเติบโตและกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีพ ปริมาณของธาตุอาหารที่ข้าวโพดดูดมาใช้ขึ้นอยู่กับระยะการเจริญเติบโต ธาตุอาหารบางชนิด ข้าวโพดต้องการมากในระยะต้นอ่อน บางชนิดก็ต้องการมากในระยะออกช่อดอกและไหม และบางชนิดจะดูดมาใช้ตลอดฤดูการปลูก ธาตุอาหารพืชจำแนกตามปริมาณที่พืชต้องการใช้เป็น 2 แบบ คือ มหธาตุ (macronutrient elements) และจุลธาตุ (micronutrient elements)

1. มหธาตุ คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมาก ความเข้มข้นของธาตุโดยน้ำหนักแห้งเมื่อพืชเจริญเต็มวัยสูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) ข้าวโพดต้องการธาตุอาหารเหล่านี้จำนวนมาก ถ้าหากขาดธาตุเหล่านี้ก็จะทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงัก ลำต้นอ่อนแอ ผลผลิตลดลงมาก (ยงยุทธ, 2552)

1.1 ไนโตรเจน (Nitrogen, N) เป็นธาตุอาหารที่รากพืชดูดในรูปไนเทรตไอออน (NO_3^-) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) มีผลต่อการเติบโตและผลผลิตของพืชในกระบวนการสรีรวิทยาและชีวเคมีของพืช เป็นสารประกอบที่สำคัญของโปรตีน กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไทด์ คลอโรฟิลล์ โคเอนไซม์ โดยทั่วไปพืชมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในระหว่าง 2–5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชได้รับไนโตรเจนในปริมาณที่ต่ำกว่าระดับปกติย่อมมีการเจริญเติบโตน้อยลง การขาดธาตุไนโตรเจนจะปรากฏอาการชัดเจนที่ใบแก่ก่อน เนื่องจากไนโตรเจนเคลื่อนย้ายจากใบแก่ไปเลี้ยงเนื้อเยื่อที่กำลังพัฒนา ทำให้ใบแก่ร่วงหล่นเร็ว ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืช ส่วนรูปของไนโตรเจนมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของพืช (ยงยุทธ, 2552) ข้าวโพดใช้ธาตุไนโตรเจนมากกว่าธาตุอื่นๆ และใช้ตลอดฤดูการปลูก ปริมาณการนำไนโตรเจนมาใช้ขึ้นอยู่กับระยะการเจริญเติบโต ในระยะต้นอ่อนข้าวโพดจะดูดน้ำมาใช้น้อยมากแต่จะใช้มากที่สุด 2 สัปดาห์ก่อนออกดอกและ 3 สัปดาห์ ภายหลัง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากออกดอก ในระยะนี้ข้าวโพดจะใช้ธาตุไนโตรเจนประมาณวันละ 4 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ และประมาณครึ่งหนึ่งของไนโตรเจนจะถูกนำไปใช้ระหว่าง 5 สัปดาห์ดังกล่าว ปริมาณการดูดมาใช้จะลดลงหลังจากที่เมล็ดเริ่มสะสมอาหาร ไนโตรเจนจะถูกนำไปสร้างเมล็ด ในระยะเก็บเกี่ยวจะมีไนโตรเจนสะสมอยู่ในเมล็ดประมาณสองในสามของไนโตรเจนทั้งหมด นอกจากนี้ในแปลงที่ขาดน้ำ ปริมาณของไนโตรเจนในเมล็ดก็จะเพิ่มขึ้น อาการขาดธาตุไนโตรเจน จะพบในต้นอ่อนที่มีอายุตั้งแต่ 7 วันจนกระทั่งต้นข้าวโพดมีอายุมาก อาการขาดจะปรากฏดังนี้ ในต้นอ่อน ถ้าขาดไนโตรเจนต้นข้าวโพดจะแคระแกน ใบล่างสุดจะเหลืองคล้ายกับอาการขาดน้ำ แต่ใบจะไม่เหี่ยว การขาดในระยะนี้จะทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงัก ช่อดอกจะออกช้ากว่าปกติประมาณ 10 วัน ในต้นแก่อาการขาดไนโตเจนจะเห็นได้ชัดมาก โดยปลายใบล่างสุด (ใบแก่) จะเหลืองเพราะไนโตรเจนจะเคลื่อนย้ายไปยังใบอ่อน สีเหลืองที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากคลอโรฟิลล์ (chlorophyII) ในใบสูญเสียไปทำให้แคโรทีน (carotene) และแซนโทฟิลล์ (xanthophyII) เพิ่มมากขึ้นถ้าหากว่าขาดธาตุนี้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ก็จะทำให้สีเหลืองนั้นเคลื่อนเข้าไปตามเส้นกลางใบ (midrib) เป็นรูปตัววี (V) หัวออก โดยที่ขอบใบจะยังเขียวอยู่ ต่อมาตัวใบทั้งหมดก็จะกลายเป็นสีเหลืองแล้วอาการขาดก็จะลามขึ้นไปยังใบอ่อนเหนือขึ้นไปอีกประมาณ 3-4 ใบ ในบางครั้งจะพบตัวใบมีสีเหลืองทั้งหมด แต่ไม่มีลักษณะรูปตัววีปรากฏ (สนิท, 2527)

1.2 ฟอสฟอรัส (Phosphorus, P) เป็นองค์ประกอบสำคัญของสารอินทรีย์ในพืช โดยเป็นองค์ประกอบในสารอินทรีย์พวกแมโครโมเลกุล เช่น กรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (DNA) กรดไรโบนิวคลีอิก (RNA) และฟอสโฟลิพิดในเนื้อเยื่อ เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในเมแทบอลิซึม เช่น กลูโคสฟอสเฟต โคเอนไซม์และอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (ATP) เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณในเซลล์ เช่น อินโนซิทอลไตรฟอสเฟต และฟอสฟอรัสยังทำหน้าที่ปรับสภาพของโปรตีนโดย ATPทำปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชันกับโปรตีน รวมถึงการส่งผ่านไอออนข้ามเยื่อหุ้มเซลล์ พืชดูดฟอสฟอรัสในรูป $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-} พืชต้องการฟอสฟอรัส 0.3–0.5 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) เพื่อให้การเจริญเติบโตในระยะเติบโตไม่อาศัยเพศ (vegetative stage) เป็นไปตามปกติ ภายในพืชฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ (Pi) มีความสำคัญต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมอย่างมาก เนื่องจาก Pi มีบทบาทสำคัญในการความคุมเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและการสังเคราะห์แสง เช่น Pi มีบทบาทควบคุมการสังเคราะห์แป้งในอะไมโลพลาสต์ของเนื้อเยื่อสะสม (ยงยุทธ, 2552) ข้าวโพดจะดูดเอาธาตุฟอสฟอรัสไปใช้ตลอดฤดูการปลูก ในขณะที่ต้นยังเล็กอยู่ข้าวโพดจะต้องการฟอสฟอรัสเป็นจำนวนมาก แต่รากสามารถดูดเอามาใช้ได้น้อย จึงทำให้ข้าวโพดแสดงอาการขาดธาตุนี้ก่อนที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้าวโพดจะสูง 60-75 เซนติเมตร ปริมาณที่ข้าวโพดดูดธาตุฟอสฟอรัสไปใช้จะมากถ้าหากว่าประมาณของไนโตรเจนในดินมีมากและจำนวนต้นต่อหน่วยพื้นที่สูง ระยะที่ข้าวโพดใช้ฟอสฟอรัสมากที่สุดคือ ระยะ 3-6 สัปดาห์หลังจากปลูก หรือเมื่อข้าวโพดสูงประมาณ 50 เซนติเมตรขึ้นไปจนกระทั่งถึงระยะออกช่อ ปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวโพดนำมาใช้ประมาณวันละ 0.55 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ หลังจากออกช่อดอกแล้วบางส่วนของฟอสฟอรัส ที่อยู่ตามส่วนต่างๆ ของลำต้นจะเคลื่อนย้ายเข้าไปอยู่ในเมล็ด ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสทั้งหมดจะอยู่ในเมล็ด ตลอดฤดูปลูกข้าวโพดจะดูดเอาธาตุฟอสฟอรัสมาใช้ประมาณ 35-90 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ ฟอสฟอรัสเคลื่อนย้ายได้ช้ามาก และไม่ซึมลงไปใต้ดินกับน้ำเหมือนไนโตรเจน พืชสามารถนำฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปมาใช้ได้ประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างฤดูการปลูกส่วนที่เหลือจะสะสมอยู่ในดิน ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าหลังจากใส่ปุ๋ยที่มีธาตุฟอสฟอรัสลงไป เช่น ซุปเปอร์ฟอสเฟต (Superphosphate) หรือดับเบิ้ลซุปเปอร์ฟอสเฟต (Double superphosphate) ปุ๋ยนี้จะเปลี่ยนไปเป็นกรดภายใน 6 ชั่วโมงถึง 3 วัน กรดนี้จะทำปฏิกิริยากับแมงกานีส อลูมิเนียม เหล็กและแคลเซียมที่อยู่ในดิน จึงทำให้ฟอสฟอรัสถูกตรึงแน่นอยู่กับธาตุเหล่านี้ และสลายตัวออกมาให้พืชใช้ได้น้อยมากเช่นกัน พบว่าในดินที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5 ฟอสฟอรัสจะถูกตรึงแน่นอยู่กับเหล็ก อลูมิเนียมและแมงกานีส แต่ถ้าหากความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 7 ฟอสฟอรัสจะรวมตัวกับแคลเซียมกลายเป็นไตรแคลเซียมฟอสเฟต (Tricalcium phosphate) สะสมอยู่ในดิน ฟอสฟอรัสจะสลายตัวออกมาให้พืชใช้ได้มากที่สุดเมื่อความเป็นกรด-ด่างของดินอยู่ระหว่าง 5.5-7 อาการขาดธาตุฟอสฟอรัสเนื่องจากว่าฟอสฟอรัสช่วยในการแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อเจริญต่างๆ ตามปลายยอด ปลายรากและลำต้น ดังนั้นอาการขาดจะปรากฏตั้งแต่ต้นข้าวโพดยังเล็กอยู่ และอาการขาดจะหมดไปเมื่อต้นข้าวโพดสูง 60-75 เซนติเมตร ในต้นอ่อน การเจริญเติบโตจะช้ากว่าปกติ เพราะว่ารากดูดเอาธาตุนี้มาใช้ได้น้อยลงลำต้นและใบจะมีสีเขียวแก่ แต่ถ้าอาการขาดมีมากขึ้นปลายใบและขอบใบจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงจนถึงสีน้ำตาลแก่ เนื่องจากว่ามีน้ำตาลและแอนโทไซยานินไปสะสมอยู่ในลำต้นและใบมากกว่า ส่วนแป้ง เซลลูโลสและคลอโรฟิลล์ในใบจะลดลง ในต้นแก่ ถ้าอาการขาดธาตุนี้ปรากฏก่อนที่ข้าวโพดจะออกดอกและไหมแล้ว จะทำให้การออกดอกและไหมช้ากว่าปกติ ไหมที่ออกมาก็จะเจริญช้ามาก ทำให้การผสมเกสรไม่ค่อยดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งไหมที่อยู่ทางปลายฝัก จะไม่ค่อยได้รับการผสมทำให้ปลายฝักบิดเบี้ยวและแถวของเมล็ดข้าวโพดที่อยู่ทางปลายฝักไม่ค่อยเป็นระเบียบ (สนิท, 2527)

1.3 โพแทสเซียม (Potassium, K) เป็นธาตุหลักซึ่งปริมาณที่พืชต้องการใกล้เคียงกับไนโตรเจน แต่สูงกว่าฟอสฟอรัสมาก โพแทสเซียมในดินส่วนมากไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช มีเพียง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนน้อยเท่านั้นที่พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้ รากพืชดูดโพแทสเซียมในรูป K^+ จากดินด้วยกลไกที่มีความจำเพาะเจาะจง ประสิทธิภาพการดูดซึมโพแทสเซียมของรากพืชแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ ความสามารถในการเคลื่อนย้ายหรือละลายโพแทสเซียมในดินที่ไม่เป็นประโยชน์มาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ที่รากพืชดูดไปใช้ได้ และความสามารถของกลไกการดูดซึมที่เยื่อหุ้มเซลล์และการเคลื่อนย้ายส่วนที่ดูดซึมไปยังอวัยวะส่วนอื่นๆ พืชต้องการโพแทสเซียมในการเจริญเติบโตประมาณ 2–5 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) ของอวัยวะที่เจริญโดยไม่อาศัยเพศ ผล และหัว พืชที่ขาดโพแทสเซียมจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีมาก เช่น เกี่ยวกับการปลุกฤทธิ์เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแป้ง คือเอนไซม์ starch synthetase ซึ่งจะทำให้มีการเพิ่มการสะสมคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ ลดปริมาณแป้ง และเพิ่มการสะสมสารประกอบไนโตรเจนที่ละลายได้ แต่ถ้าความเข้มข้นของโพแทสเซียมมากเกิน 2–5 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลในเชิงยับยั้งและทำให้ปริมาณแป้งลดลง โดยเฉพาะในอวัยวะที่สะสมแป้ง (ยงยุทธ, 2552) ข้าวโพดต้องการธาตุโพแทสเซียมใช้ในการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับต้องการธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส แต่ในดินจะมีธาตุนี้อยู่มาก ประมาณ 80-98 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นในดินที่เป็นทรายจะขาดธาตุนี้ ถึงแม้ในดินจะมีธาตุโพแทสเซียมอยู่มากก็ตาม แต่ข้าวโพดสามารถนำไปใช้ได้เพียง 1-2 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น โพแทสเซียมจะไม่ซึมลงไปกับน้ำ หรือระเหยไปในอากาศเหมือนกับไนโตรเจนและจะไม่ตรึงติดอยู่ในดินธาตุอื่นๆ เหมือนฟอสฟอรัส แต่จะค่อยๆ สลายตัวออกมาให้พืชใช้ได้ที่ละน้อย โพแทสเซียมมีส่วนในการสร้างน้ำตาล แป้ง เซลลูโลส และโปรตีนในพืชนอกจากนี้ยังทำหน้าที่โดยตรงกับการเจริญเติบโตของเซลล์ต่างๆ ที่มีหน้าที่ควบคุมการหายใจของพืช ป้องกันการสูญเสียน้ำเมื่ออากาศแห้งแล้ง ข้าวโพดจะไม่ใช้ธาตุโพแทสเซียมตลอดฤดูการปลูก แต่จะใช้มากที่สุดระหว่าง 2 สัปดาห์ก่อนและหลังที่ข้าวโพดจะออกดอก ในระยะนี้ข้าวโพดจะใช้โพแทสเซียมประมาณวันละ 4 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของโพแทสเซียมทั้งหมดจะสะสมอยู่ในลำต้น เมื่อข้าวโพดเริ่มออกไหม การดูดธาตุนี้ไปใช้จะลดลงหลังจากที่ข้าวโพดออกไหมได้ประมาณ 10-15 วัน โพแทสเซียมที่ข้าวโพดดูดเข้าไปกระจายอยู่ตามส่วนต่างๆ ของลำต้น และฝัก (ประมาณ 30-33 เปอร์เซ็นต์ของโพแทสเซียมทั้งหมดจะพบอยู่ในเมล็ด) เนื่องจากธาตุนี้เคลื่อนย้ายได้รวดเร็วมาก ดันนั้นอาการขาดจะเริ่มปรากฏในใบแก่ล่างสุดขึ้นไปเรื่อยๆ โดยจะเคลื่อนย้ายจากใบแก่ไปสู่ใบอ่อน ในต้นอ่อน ถ้าขาดธาตุนี้จะทำให้การเจริญเติบโตค่อยๆ หยุดชะงักใบจะเริ่มเขียว-เหลือง ต่อมาปลายใบและขอบใบจะเหลืองและตายไป อาการดังกล่าวจะเริ่มจากปลายใบล่างก่อน แล้วจะปรากฏยังใบถัดขึ้นไปเรื่อยๆ ส่วนใบยอดจะยังคงปกติ แต่ถ้าอาการขาดมีมากจะทำให้ใบทั้งหมดกลายเป็นสีเหลือง ลักษณะอาการในต้นแก่ ก็คล้ายกับที่พบในต้นอ่อน กล่าวคือ ใบจะเขียวเหลืองซ้ำตามขอบใบและปลายใบจะไหม้แห้งเกรียม ถ้าขาดมากใบจะไหม้เกือบทั้งหมด ลำต้นจะแคระแกน เพราะเนื้อเยื่อระหว่างข้อไม่เจริญเต็มที่ ถ้าผ่าลำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต้นดูจะพบเนื้อเยื่อตรงข้อเป็นสีแดง เนื่องจากมีเหล็กไปสะสมอยู่มาก ปล้องจะหดสั้นกว่าปกติจึงทำให้ลำต้นเตี้ย ส่วนใบจะยาวเป็นปกติ จึงทำให้ไม่สมดุลกับลำต้น ถ้าหักลำต้นดูจะพบว่าค่อนข้างเปราะหักง่าย รากจะถูกทำลาย ได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้เมล็ดทางปลายฝักจะไม่ค่อยติด อาการขาดโพแทสเซียมจะปรากฏในดินที่เป็นทราย ดินเปียกหรือดินแน่นเกินไปจะทำให้การเจริญของรากหยุดชะงัก (สนิท, 2527)

1.4 แมกนีเซียม (Magnesium, Mg) มีบทบาทสำคัญในพืชหลายอย่าง เช่น เป็นองค์ประกอบของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ โดยแมกนีเซียมอยู่ที่ใจกลางของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ แมกนีเซียมมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน ปลุกฤทธิ์เอนไซม์และถ่ายโอนพลังงาน เป็นต้น พืชดูดแมกนีเซียมในรูป Mg^{2+} ใบแก่ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายของพืชที่ขาดแมกนีเซียมมักสะสมแป้งและน้ำตาลอันเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ได้เป็นโครงสร้าง (nonstructural carbohydrates) ทำให้ใบพืชเหล่านี้มีน้ำหนักแห้งสูง แสดงว่าจะส่งผลกระทบต่อการสลายตัวของแป้งในคลอโรพลาสต์ และเมแทบอลิซึมของน้ำตาลหรือการเคลื่อนย้ายน้ำตาลเข้าสู่โฟลเอม การสะสมคาร์โบไฮเดรตในใบถั่วที่ขาดแมกนีเซียม ย่อมทำให้ฝักอ่อนและรากได้รับคาร์โบไฮเดรตน้อยลง เมื่อรากได้รับอาหารไปหล่อเลี้ยงน้อยย่อมชะงักการเจริญเติบโตเป็นเหตุให้อัตราส่วนของส่วนเหนือดินกับรากสูงขึ้น พืชปกติมีแมกนีเซียมในอวัยวะส่วนที่ไม่อาศัยเพศ อยู่ในช่วง 0.15–0.35 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง แต่บางพืชก็อาจจะมีความเข้มข้นสูงกว่านี้ เมื่อพืชขาดแมกนีเซียมจะมีผลกระทบในด้านสรีระ 4 ประการ คือ 1. มีอาการพร่องคลอโรฟิลล์ 2. เนื่องจากอัตราการสังเคราะห์แสงลดลงจึงสร้าง ATP ได้น้อย ทำให้ขาดพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายผลผลิตของการสังเคราะห์แสงจากแหล่งจ่ายไปยังแหล่งรับ 3. สะสมแป้งในใบมากขึ้น 4. ปริมาณแป้งในหัวมันฝรั่งและเมล็ดธัญพืชลดลงเนื่องจากการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากแหล่งจ่ายมายังแหล่งรับน้อยลง และมีการสะสมฟอสฟอรัสในรูปอนิน-ทรีย์ (Pi) ในหัวมากขึ้น จึงทำให้การสังเคราะห์แป้งลดลง (ยงยุทธ, 2552) อาการขาดแมกนีเซียมในข้าวโพดจะพบที่ในใบแก่ก่อนโดยปรากฏสีเหลืองเป็นทางยาวระหว่างมัดท่อลำเลียงหลังจากนั้นอาการดังกล่าวก็จะลามไปยังใบอ่อน ถ้าอาการขาดมีมากก็จะทำให้ใบสีเหลืองซีดหรือสีขาว ปลายใบจะเป็นสีแดงปนม่วงและตายในที่สุด อาการดังกล่าวจะคล้ายกับการขาดฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม อาการขาดธาตุนี้จะพบในดินที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำ เป็นทราย-กรด และดินในบริเวณที่มีฝนตกมาก เพราะว่าแมกนีเซียมจะซึมลงไปใต้ดินกับน้ำ นอกจากนี้อาการขาดจะปรากฏในดินที่มีธาตุโพแทสเซียมและแคลเซียมมาก (สนิท, 2527)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.5 แคลเซียม (Calcium, Ca) มีบทบาทสำคัญในกระบวนการแบ่งเซลล์ การยืดยาวและมีความสำคัญในการรักษายืดหยุ่นของเยื่อหุ้มเซลล์ของพืช และเป็นองค์ประกอบของแคลเซียมเพคเตท (calcium pectate) ในมิลเดิลลาเมลลา (middle lamella) ของเซลล์เพลท (cell plate) นอกจากนี้แคลเซียมยังมีบทบาทสำคัญในการรักษาโครงสร้างและการทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณที่ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึมเพื่อตอบสนองต่อสัญญาณจากภายนอกเซลล์ พืชดูดแคลเซียมในรูป Ca^{2+} ความเข้มข้นของแคลเซียมในเนื้อเยื่อพืชแตกต่างกันตามสภาพการปลูก พันธุ์พืชและอวัยวะ ซึ่งผันแปรอยู่ในช่วง 0.1 ถึง มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง ในกรณีที่พืชขาดแคลเซียม การเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมในดินมีผลทำให้ความเข้มข้นของธาตุนี้ในใบเพิ่มขึ้น แต่มักไม่กระทบต่อความเข้มข้นในอวัยวะที่มีการคายน้ำต่ำหรือไม่มีการคายน้ำ เช่น ผลและหัว (ยงยุทธ, 2552) แคลเซียมเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดมาก ธาตุนี้จะอยู่ตามเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของข้าวโพดโดยเฉพาะอย่างยิ่งจะพบในใบมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ลำต้นและรากส่วนเมล็ดและแกนจะมีแคลเซียมอยู่น้อยที่สุด แคลเซียมเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ (cell wall) ซึ่งมีความสำคัญต่อการดูดซึมอาหารที่ได้รับการสังเคราะห์แล้ว และยังช่วยให้พืชสามารถนำธาตุอาหารอื่นๆ ที่อยู่ในดินมาใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้ยังช่วยเป็นตัวกลางและป้องกันไม่ให้สารต่างๆ ที่เป็นพิษสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของพืช ข้าวโพดดูดเอาธาตุแคลเซียมมาใช้ตั้งแต่ระยะต้นอ่อนไปจนกระทั่งเมล็ดเริ่มแก่ก็จะหยุด แคลเซียมที่ดูดมาใช้จะอยู่ตามส่วนต่างๆ ของใบ อาการขาดแคลเซียมในต้นอ่อนจะพบว่าปลายยอดของใบที่ยังม้วนอยู่จะเปลี่ยนเป็นสีดำและมีน้ำเหนียวๆ (gelatinize) ติดอยู่ใบจะปิดทำให้ปลายยอดไม่สามารถคลี่ออกจากกัน เมื่อข้าวโพดโตขึ้น ปลายของทุกๆ ใบก็จะยังติดกันอยู่ ข้าวโพดที่ขาดธาตุจะมีสีเหลืองเล็กน้อยที่โคนของลำต้นจะใหญ่ ตาที่อยู่ตามข้างของลำต้นจะแตกหน่อ อาการขาดธาตุนี้จะพบในดินที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำ มีแมกนีเซียมและโพแทสเซียมมาก

1.6 กำมะถัน (Sulfur, S) เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดอะมิโนซิสเทอีนและเมไทโอนีน โอลิโกเพปไทด์ วิตามินและโคเอนไซม์ พืชดูดกำมะถันในรูป SO_4^{2-} พืชปกติมีกำมะถัน 0.1–0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเมื่อพืชขาดกำมะถันจะมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสัณฐานลักษณะและกระบวนการทางสรีระวิทยา กล่าวคือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักราก : ส่วนเหนือดินสูงขึ้น และแผ่นใบโค้ง ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ลดลงแต่แอนโทไซยานินสูงขึ้น การขาดกำมะถันทำให้พืชสังเคราะห์โปรตีนและคลอโรฟิลล์ได้น้อยลง (ยงยุทธ, 2552) ข้าวโพดต้องการกำมะถันน้อยมาก กำมะถันช่วยทำให้ข้าวโพดเจริญรวดเร็ว แก่เร็วและทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ข้าวโพดที่ขาดกำมะถันจะทำให้ลำต้นแคระแกน ใบจะมีสีเขียวสลับเหลืองระหว่างมัดท่อลำเลียง อาการดังกล่าวจะพบมากในระยะต้นอ่อน (seedling stage) บางครั้งจะพบว่าขอบใบเป็นสีเขียว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนตัวใบสีเหลืองซีด คล้ายขาดไนโตรเจน แต่ว่าจะพบในเฉพาะใบอ่อน (แต่อาการขาดไนโตรเจนพบในใบแก่) อาการขาดธาตุนี้จะพบในดินที่เป็นกรด มีอินทรียวัตถุต่ำ อากาศเย็นและดินเปียกจะทำให้กำมะถันสลายตัวออกมาได้น้อย จึงทำให้ขาดธาตุนี้ (สนิท, 2527)

2. จุลธาตุ คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อย ความเข้มข้นของธาตุโดยน้ำหนักแห้งเมื่อพืชเจริญเต็มวัยต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ ธาตุ เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) (ยงยุทธ, 2552)

2.1 เหล็ก (Iron, Fe) เหล็กรูปที่เป็นประโยชน์ในดินมักขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างของดิน เหล็กมีบทบาทในเมแทบอลิซึมของพืช 5 ด้าน คือ 1. เป็นองค์ประกอบในโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในไมโทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์ และโปรตีนชนิดอื่นๆ 2. มีบทบาทในการสังเคราะห์ฮอร์โมนพืช เช่น จิบเบอเรลลิน เอทิลีน และกรดจาสโมนิก 3. ไอออนของเหล็กเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์พวก non-heam 4. เป็นองค์ประกอบของฮีมจึงอยู่ในโครงสร้างของฮีมเอนไซม์ และ 5. เหล็กอยู่ในรูปของเหล็ก-กำมะถันคลัสเตอร์ ทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์หลายชนิด พืชใช้เหล็กในรูป Fe^{2+} และ Fe^{3+} และรวมไปถึงคีเลตซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเหล็กไอออนกับสารคีเลตธรรมชาติ เช่น กรดฮิวมิก ความเข้มข้นที่เหมาะแก่การเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 10^{-9}–10^{-4} โมลาร์ (ยงยุทธ, 2552) เหล็กเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อพืชธาตุหนึ่ง แต่ว่าพืชต้องการธาตุนี้น้อยมาก ปริมาณเหล็กทั้งหมดในระดับที่เพียงพอในพืชคือ 50-250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งในดินส่วนใหญ่ก็จะมีเหล็กอยู่มากมาย ในดินที่เป็นกรดจะมีธาตุนี้อยู่มาก แต่ในดินที่เป็นกลางหรือเป็นด่างอาจจะทำให้ข้าวโพดขาดธาตุนี้ เพราะจะทำปฏิกิริยากับอนุภาคดินเหนียว (clay) แล้วไม่ยอมสลายตัว ข้าวโพดที่ขาดธาตุเหล็กจะสังเกตได้โดยบนข้างบนของลำต้นจะมีสีเขียวเหลือง โดยระหว่างมัดท่อลำเลียงจะเป็นสีขาวตลอดตามความยาวของใบถ้าขาดมากใบจะกลายเป็นสีขาวและตายในที่สุด อาการดังกล่าวนี้จะไม่ค่อยพบบ่อยนัก เนื่องจากว่าข้าวโพดไม่ต้องการธาตุเหล็กมากนัก อาการขาดธาตุนี้จะพบในดินด่างที่มีความเป็นกรด-ด่างสูงหรือ ดินเปียกมีการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศในดินไม่ดีพอ นอกจากนี้อากาศเย็นและดินใส่ปูนขาวมากเกินไปก็ทำให้ข้าวโพดขาดธาตุนี้ (สนิท, 2527)

2.2 ทองแดง (Copper, Cu) บทบาทของทองแดงต่อพืช คือ 1. เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ซึ่งมีบทบาทด้านปฏิกิริยารีดอกซ์ และปฏิกิริยารีดอกซ์ขั้นสุดท้ายของกระบวนการหายใจในไมโทคอนเดรีย 2. จับตัวได้ง่ายกับโปรตีนที่มีซิสเทอีนสูง 3. มีบทบาทด้านการสังเคราะห์แสง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พืชดูดทองแดงในรูป Cu^{2+} พืชที่มีทองแดงในใบ 3–5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ถือว่าค่อนข้างต่ำและหากต่ำกว่านี้จะแสดงอาการขาดธาตุ เมื่อขาดทองแดง พืชจะแสดงอาการผิดปกติ จะมีผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีระ เช่น การสังเคราะห์แสง การสะสมคาร์โบไฮเดรต พืชที่ขาดทองแดงจะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ต่ำกว่าพืชปกติมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะที่พืชเจริญโดยไม่อาศัยเพศ (ยงยุทธ, 2552) ในข้าวโพดที่ขาดทองแดง ใบอ่อนที่โผล่ออกมาใหม่ๆ จะเริ่มเหลือง แผ่นใบจะเห็นมีรอยไหม้เป็นทางคล้ายกับอาการขาดเหล็ก ลำต้นจะอ่อนปวกเปียกไม่แข็งแรง ถ้าขาดมากๆ ใบยอดจะม้วนติดกัน ขอบของใบจะไหม้เหมือนการขาดโพแทสเซียมจะพบอาการขาดในดินที่มีอินทรียวัตถุสูง ดินที่มีแคลเซียมมากหรือใส่ปูนขาวมากเกินไป นอกจากนี้ยังพบในดินทรายที่เป็นกรด (สนิท, 2527)

2.3 สังกะสี (Zinc, Zn) สังกะสีในดินส่วนมากอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ รากพืชดูดสังกะสีในรูป Zn^{2+} ซึ่งมีเพียงเล็กน้อยด้วยโปรตีนขนส่งที่เยื่อหุ้มเซลล์แล้วลำเลียงไปยังส่วนต่างๆ เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต โดยส่วนใหญ่บทบาทของสังกะสีในพืชจะเกี่ยวข้องกับเอนไซม์และโคแฟกเตอร์ ระดับวิกฤติขาดแคลนของสังกะสีในใบพืชทั่วไปมีค่าต่ำกว่า 15–20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชขาดสังกะสีจะมีการตอบสนองตั้งแต่ระดับโมเลกุล ซึ่งส่งผลให้มีการปรับเปลี่ยนกระบวนการทางชีวเคมี สรีระ นอกจากกิจกรรมของเอนไซม์คาร์บอกนิก แอนไฮเดรสจะลดลงอย่างมากแล้ว ยังมีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตอีกสองชนิดลดลงอย่างเด่นชัดด้วย คือ 1. fructose-1,6-bisphosphatase เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยน fructose-1,6-bisphosphate เป็น fructose-6-phosphate ซึ่งใช้สังเคราะห์ซูโครสและแป้ง และ 2. aldolase เร่งปฏิกิริยาการแยก fructose-1,6-bisphosphate เป็นสารประกอบซึ่งมีคาร์บอน 3 อะตอม จำนวน 2 ชนิด (ยงยุทธ, 2552) อาการขาดจะสังเกตได้จากใบโดยจะเห็นเป็นทางขาวระหว่างมัดท่อลำเลียงโดยเริ่มจากขอบใบไปยังเส้นกลางใบ การเจริญของลำต้นจะชะงักโดยปล้องจะหดสั้นทำให้ดูคล้ายกับว่าลำต้นอ้วนเตี้ย ใบอ่อนบางครั้งมีสีเกือบขาว บางครั้งจะพบว่าขอบใบและลำต้นค่อนข้างสีม่วง เมื่อขาดมากใบจะแห้งตายในที่สุด อาการเช่นนี้เนื่องจากว่าจะมีเหล็กไปอุดอยู่ตรงข้อของลำต้น เมื่อผ่าออกดูจะเห็นเป็นสีน้ำตาลหรือแดง อาการขาดธาตุนี้จะพบในดินที่เป็นด่างมีความเป็นกรดด่างสูง มีฟอสฟอรัสอยู่ในดินมาก อากาศเย็นและดินเปียกจะทำให้ขาดธาตุนอกจากนี้ในดินที่ถูกขุดหน้าดินออกก็จะขาดธาตุนี้เช่นกัน (สนิท, 2527)

2.4 แมงกานีส (Manganese) บทบาทของแมงกานีสที่สำคัญในพืชได้แก่ 1. มีพันธะเคมีกับออกซิเจนในองค์ประกอบของสารอินทรีย์ 2. ร่วมอยู่ในโครงสร้างของโปรตีนอันเป็นศูนย์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปฏิกิริยาของระบบแสง II 3. เป็นตัวเร่งการทำงานหรือเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ 4. ลดพิษของอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ และ 5. การพัฒนาของพืชในระยะเจริญพันธุ์ พืชดูดแมงกานีสมาใช้ในรูป Mn^{2+} ความเข้มข้นของแมงกานีสในพืชทั่วไปที่ถือว่าเพียงพอ คือ 50–100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชขาดแมงกานีส ความสามารถในการรีดิวซ์ไนเทรตและความต้องการแอมโมเนียมไปใช้ก็ลดลง จึงมีไนโตรเจนที่ละลายได้เพิ่มขึ้น ในขณะที่คาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ในใบ ต้น และรากลดลง จึงเป็นเหตุให้อวัยวะต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรากของพืชที่ขาดแมงกานีสหยุดเจริญ (ยงยุทธ, 2552) ข้าวโพดต้องการธาตุนี้น้อยมาก ดังนั้นอาการขาดจึงไม่ค่อยปรากฏเด่นชัด เมื่อพืชขาดแมงกานีสใบจะปรากฏเป็นสีเขียวสลับเหลืองระหว่างมัดท่อลำเลียง ถ้าอาการขาดมีมากจะทำให้ใบมีสีขาวเป็นทาง แล้วเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่ตรงกลางใบ หลังจากนั้นจะทำให้เนื้อเยื่อส่วนนั้นตาย ลำต้นอ่อนไม่แข็งแรงหักง่าย อาการขาดธาตุนี้จะพบในดินทราย ดินที่มีอินทรียวัตถุสูง มีความเป็นกรด-ด่างสูงเป็นต้น (สนิท, 2527)

ตารางที่ 1 ปริมาณธาตุอาหารในใบข้าวโพดที่อยู่ตรงปลายกาบหุ้มฝัก (ear leaf) ในระยะออกไหม

ธาตุ	ต่ำ	พอเพียง	สูง
ไนโตรเจน (%)	2.00-2.60	2.70-4.00	> 4.00
ฟอสฟอรัส (%)	0.15-0.24	0.25-0.50	0.51-0.80
โพแทสเซียม (%)	1.00-1.60	1.70-3.00	3.10-5.00
แคลเซียม (%)	0.10-0.20	0.21-1.00	> 1.00
แมกนีเซียม (%)	0.10-0.19	0.20-1.00	>1.00
กำมะถัน (%)	0.10-0.20	0.20-0.50	0.51-0.80
เหล็ก (mg/kg)	10-20	21-250	251-350
แมงกานีส (mg/kg)	10-19	20-200	201-300
สังกะสี (mg/kg)	15-24	25-100	101-150
ทองแดง (mg/kg)	2-5	6-20	21-70

ที่มา : Jones (1991)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช (ศรีสม, 2547)

1. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในระดับที่เพียงพอในพืชคือ 2-5 เปอร์เซ็นต์ แต่ปริมาณที่พบทั่วไปในพืชคือ 0.2-4 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิด อายุ หรือส่วนต่างๆ ของพืช พืชดูดไนโตรเจนในรูปอนุมูลไนเทรต (NO_3^-) และอนุมูลแอมโมเนียม (NH_4^+) การวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนในพืชนี้ คือ การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ในเนื้อเยื่อพืช ดังนั้นตัวอย่างพืชที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ต้องย่อยสลายด้วยกรดเพื่อเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนชนิดต่างๆ ในพืชให้มาอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ไนโตรเจน (แอมโมเนียม-ไนโตรเจน: NH_4^+-N) ซึ่งเป็นรูปที่สามารถวิเคราะห์ได้โดยการกลั่น ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า Kjeldahl method โดยย่อยตัวอย่างใบพืชด้วย total N digestion mixture (H_2SO_4) นำสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายดังกล่าวไปกลั่นหาไนโตรเจนตามวิธีของ Kjeldahl

2. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ในระดับที่เพียงพอในพืชคือ 0.2-0.5 เปอร์เซ็นต์ พืชสามารถดูดฟอสฟอรัสได้ในรูปของอนุมูลไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$) และโมโนไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{2-}) การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสวิธีนี้เป็นการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) โดยวิธีการวัดการดูดกลืนแสงของสารที่มีสี (colorimetry) ซึ่งเป็นวิธีการทำให้เกิดสี และนำไปวัดความเข้มของสีที่เกิดขึ้นโดยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร เมื่อนำค่าไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ก็จะทำให้สามารถทราบค่าฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ โดยย่อยตัวอย่างใบพืชด้วย HNO_3:$HClO_4$ (5:2) นำสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายดังกล่าว ไปหาฟอสฟอรัสด้วยการทำสีและวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของสีที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

3. ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) ในระดับที่เพียงพอในพืชคือ 1-5 เปอร์เซ็นต์ แต่โดยทั่วไปแล้วปริมาณโพแทสเซียมที่พบในพืชอยู่ระหว่าง 0.2-3.5 เปอร์เซ็นต์ พืชดูดโพแทสเซียมในรูปอนุมูลโพแทสเซียม (K^+) การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมโดยวิธีนี้เป็นการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมโดย flame emission spectrophotometry โดยวัดปริมาณของพลังงานแสงที่อะตอมของโพแทสเซียมปลดปล่อยออกมา ด้วยเครื่อง flame emission spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 766.5 นาโนเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณแคลเซียมทั้งหมด (total calcium) ในระดับที่เพียงพอในพืชคือ 0.1-1 เปอร์เซ็นต์ พืชดูดแคลเซียมในรูปอนุมูลแคลเซียม (Ca^{2+}) วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมโดย atomic absorption spectrophotometry โดยวัดปริมาณของพลังงานแสงที่ถูกดูดกลืนโดยอะตอมของแคลเซียม ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 422.7 นาโนเมตร

ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมด (total magnesium) ในระดับที่เพียงพอในพืชคือ 0.1-0.4 เปอร์เซ็นต์ พืชดูดแมกนีเซียมในรูปอนุมูลแมกนีเซียม (Mg^{2+}) เมื่อพืชดูดอนุมูลแมกนีเซียมเข้าไปแล้วจะนำไปสร้างสารประกอบอินทรีย์ที่มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบ เช่น คลอโรฟิลล์ นอกจากนี้แมกนีเซียมยังอาจจะอยู่ในรูปอนุมูลอิสระในเซลล์และทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ การวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมโดยวิธีนี้เป็นการวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมโดย atomic absorption spectrophotometry โดยวัดปริมาณของพลังงานแสงที่ถูกดูดกลืนโดยอะตอมของแมกนีเซียม ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 285.2 นาโนเมตร

ปริมาณเหล็กทั้งหมด (total iron) ในระดับที่เพียงพอในพืชคือ 50-250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พืชดูดเหล็กในรูปอนุมูลเฟอร์รัส (Fe^{2+}) และพืชสามารถดูดเหล็กในรูปอนุมูลเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ได้ถ้าอนุมูลเฟอร์ริกนั้นอยู่ในรูปของสารประกอบคีเลต วิเคราะห์ปริมาณเหล็กโดยวิธีนี้เป็นการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กโดย atomic absorption spectrophotometry โดยวัดปริมาณของพลังงานแสงที่ถูกดูดกลืนโดยอะตอมของเหล็กด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร

ปริมาณแมงกานีสทั้งหมด (total manganese) ในระดับที่เพียงพอในพืชคือ 20-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พืชดูดแมงกานีสในรูปอนุมูลแมงกานัส (Mn^{2+}) วิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสโดยวิธีนี้เป็นการวิเคราะห์โดย atomic absorption spectrophotometry โดยวัดปริมาณของพลังงานแสงที่ถูกดูดกลืนโดยอะตอมของแมงกานีส ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 279.5 นาโนเมตร

ปริมาณสังกะสีทั้งหมด (total zinc) ในระดับที่เพียงพอในพืชคือ 20-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พืชดูดสังกะสีในรูปอนุมูลสังกะสี (Zn^{2+}) วิเคราะห์ปริมาณสังกะสีโดยวิธีนี้เป็นการวิเคราะห์โดย atomic absorption spectrophotometry โดยวัดปริมาณของพลังงานแสงที่ถูกดูดกลืนโดยอะตอมของสังกะสี ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 213.9 นาโนเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณทองแดงทั้งหมด (total copper) ในระดับที่เพียงพอในพืชคือ 5-20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พืชดูดทองแดงในรูปอนุมูลคิวปริก (Cu^{2+}) วิเคราะห์ปริมาณทองแดงโดยวิธีนี้เป็นการวิเคราะห์โดย atomic absorption spectrophotometry โดยวัดปริมาณของพลังงานแสงที่ถูกดูดกลืนโดยอะตอมของทองแดง ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 324.8 นาโนเมตร

โดยย่อยตัวอย่างใบพืชด้วย HNO_3:$HClO_4$ (5:2) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ด้วย เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

4. ปริมาณกำมะถันทั้งหมด (otal sulfur) ในระดับที่เพียงพอในพืชคือ 0.1-0.3 เปอร์เซ็นต์ พืชดูดกำมะถันในรูปอนุมูลซัลเฟต (SO_4^{2-}) การวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างพืชเป็นการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันทั้งหมด ทำได้โดยย่อยตัวอย่างใบพืชด้วย HNO_3:$HClO_4$ (5:2) และใช้การวิเคราะห์โดยวิธี turbidimetry ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้เกิดตะกอนแล้ววัดปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นโดยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันทั้งหมดที่มีอยู่ในพืช

5. ปริมาณโลหะหนัก (สารหนู ตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม) ในพืช โดยย่อยตัวอย่างใบพืชด้วย HNO_3:$HClO_4$ (5:2) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) ของสารหนู ตะกั่ว โครเมียม และแคดเมียม เพื่อคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นด้วย เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเบื้องต้นของดิน

ความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญประการหนึ่งที่มีอิทธิผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยการวิเคราะห์ดินจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะสามารถอธิบายถึงการตอบสนองของพืชได้

1. การวัดความเป็นกรด–ด่างของดิน (pH) เป็นสมบัติทางเคมีที่สำคัญต่อกระบวนการทางเคมี กายภาพ และชีวภาพที่เกิดขึ้นภายในดิน มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชทั้งทางตรงและทางอ้อม (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) ความเป็นกรด–ด่างของดินมีผลกระทบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นประโยชน์ของธาตุต่างๆ ในดินทั้งที่เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช นอกจากนี้ความเป็นกรด–ด่างของดินยังมีผลกระทบต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ดินอีกด้วย วิธีที่นิยมในการวัดความเป็นกรด–ด่างของดินมี 2 วิธี ได้แก่ วิธี Colorimetry และ วิธี Electrometry ซึ่งวิธีการนี้จะให้ค่าที่ถูกต้องและเที่ยงตรงกว่า วิธี Electrometry เป็นการวัดความต่างศักย์ระหว่าง glass electrode กับ reference electrode ที่จุ่มใน soil suspension โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า pH meter ความต่างศักย์ของ glass electrode จะเปลี่ยนตามการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ H^+ ใน suspension แต่ความต่างศักย์ของ reference electrode จะคงที่ ความต่างศักย์ที่วัดได้จะถูกเปลี่ยนเป็นค่าความเป็นกรด–ด่าง การวัดความเป็นกรด–ด่างของดินคล้ายคลึงกับการวัดความเป็นกรด–ด่างของสารละลาย แต่มีความแตกต่างกันตรงที่ดินมีความเป็นกรดอยู่ 2 ชนิด คือ กรดจริง (active acidity) และ กรดแฝง (potential acidity) ในการวัดความเป็นกรด–ด่างดินนั้นเป็นการวัดสภาพกรดจริง จากความเข้มข้นของ H^+ ใน soil suspension ที่ไม่ถูกดูดซับซึ่งจะสมดุลกับ H^+ ส่วนที่ถูกดูดซับหรือสภาพกรดแฝง (พัชรี, 2550)

2. อินทรียวัตถุในดิน (organic matter, OM) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อสมบัติต่างๆ ของดิน เป็นแหล่งธาตุอาหารพืชที่มีทั้งธาตุหลัก ธาตุรอง และจุลธาตุ ซึ่งจะถูกปลดปล่อยออกมาช้าๆ ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารพืชหรือเพิ่มความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ช่วยต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด–ด่างของดิน ช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน เป็นสารเชื่อมทำให้โครงสร้างดินดีขึ้น ลดความหนาแน่นรวมของดิน(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) อินทรียวัตถุในดินประกอบด้วยสารอินทรีย์หลายชนิดซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกันอย่างมาก และไม่สามารถใช้สารสกัดชนิดหนึ่งชนิดใดสกัดอินทรียวัตถุออกจากดินได้หมดโดยไม่เปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่เดิมในดิน เมื่อพิจารณาองค์ประกอบที่สำคัญๆ ของอินทรียวัตถุ พบว่า มีธาตุคาร์บอน (C)ในโครงสร้างมากที่สุด และอยู่ในสภาพที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการวิเคราะห์อินทรียวัตถุในดินจึงสามารถหาได้ทางอ้อมจากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในอินทรียวัตถุ วิธีการวิเคราะห์อินทรียวัตถุในดินที่นิยมกันอย่างกว้างขวางคือ Walkley & Black Method (พัชรี, 2550)

3. ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation Exchange Capacity, CEC) เป็นปริมาณไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ทั้งหมดในดิน มีหน่วยเป็นเซนติโมลต่อดิน 1 กิโลกรัม (cmol/kg) ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณประจุลบของดินหรือคอลลอยด์ดิน คอลลอยด์ดินมีทั้งประจุลบและประจุบวก แต่จะมีประจุลบมากกว่า ประจุของดินทั้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประจุลบและประจุบวกมี 2 ลักษณะ คือ 1. ประจุถาวร (permanent charge) เป็นประจุที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อมหรือความเป็นกรด-ด่างของดิน ประจุส่วนใหญ่ของแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 จะมีลักษณะดังกล่าว 2. ประจุที่เปลี่ยนแปลง(variable charge) ขึ้นกับความเป็นกรด-ด่างของดิน เป็นประจุที่เปลี่ยนแปลงตามความเป็นกรด-ด่างของดิน เมื่อความเป็นกรด-ด่างของดินเพิ่มขึ้นประจุลบจะเพิ่มขึ้นและเมื่อความเป็นกรด-ด่างของดินลดลงประจุบวกจะเพิ่มขึ้น ประจุส่วนใหญ่ของแร่ดินเหนียวชนิด 1:1 และออกไซด์และไฮดรอกไซด์ของเหล็กอะลูมินัม อินทรีย์คอลลอยด์ จะมีลักษณะดังกล่าว สัดส่วนปริมาณระหว่างประจุถาวรและประจุที่เปลี่ยนแปลงโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของคอลลอยด์ดิน และสภาพแวดล้อมในดิน

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินมีดังนี้

3.1 อิทธิพลของปริมาณและชนิดของแร่ดินเหนียว โดยทั่วไปเมื่อปริมาณอนุภาคดินเหนียวในดินเพิ่มขึ้นความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ของดินจะเพิ่มขึ้น ดินทรายจะมีความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกน้อยกว่าดินเหนียว ดินที่มีเนื้อดินประเภทเดียวกัน ถ้าชนิดของแร่ดินเหนียวในดินหรือคอลลอยด์แตกต่างกัน ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกจะต่างกัน

3.2 อิทธิพลของอินทรียวัตถุ อินทรีย์คอลลอยด์จะมีความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงสุดเมื่อเทียบกับคอลลอยด์ชนิดต่างๆ ในดิน โดยจะมีความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกประมาณ 200–300 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น

3.3 อิทธิพลของความเป็นกรด-ด่างของดิน เนื่องจากดินมีประจุที่เปลี่ยนแปลงขึ้นกับความเป็นกรด-ด่างดังนั้นค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินจึงขึ้นกับความเป็นกรด-ด่างด้วยเช่นกัน ดินชนิดหนึ่งอาจมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกหลายค่าขึ้นกับความเป็นกรด-ด่างของน้ำยาที่วิเคราะห์ มีรายงานว่าโดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่างในช่วงจาก 2.5–5 ประจุของดินจะไม่เปลี่ยนแปลงมาก แต่เมื่อความเป็นกรด-ด่างของระบบเพิ่มขึ้นในช่วง 5–7 ประจุลบของดินจะเพิ่มขึ้น

วิธีวิเคราะห์ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน มีหลายวิธี อาทิ วิธี NH_4OAc, $BaCl_2$-TEA, NaOAc, Unbuffer Salt Extraction และ Summation of Cations (Effective CEC) การ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เลือกวิธีวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดิน ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่วิเคราะห์ได้จะแตกต่างในแต่ละวิธีที่วิเคราะห์ (จงรักษ์, 2550)

4. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินอยู่ในรูปของอินทรียวัตถุ ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินจึงต้องเปลี่ยนรูป organic nitrogen ให้เป็น inorganic nitrogen ก่อน การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยวิธี Kjeldahl เป็นวิธีที่ทำให้สารประกอบไนโตรเจนเปลี่ยนสภาพเป็นสารประกอบที่เป็นไอในรูปของ NH_3 จากนั้นจึงใช้เทคนิคการไทเทรตเพื่อวิเคราะห์ปริมาณ NH_3 การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินโดยวิธี Kjeldahl ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

4.1 การย่อยสารอินทรีย์ (Digestion) ไนโตรเจนในตัวอย่างดินซึ่งอยู่ในรูปสารอินทรีย์จะเปลี่ยนรูปเป็น NH_4^+-N ภายใต้การทำปฏิกิริยากับ H_2SO_4 เข้มข้นที่ร้อนโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งประกอบด้วย K_2SO_4 (หรือ Na_2SO_4), $CuSO_4.5H_2O$ และ Se K_2SO_4 (หรือ Na_2SO_4) ช่วยยกระดับจุดเดือดให้สูงขึ้น ส่วน $CuSO_4.5H_2O$ และ Se ช่วยเร่งปฏิกิริยาโดยทำให้อินทรียวัตถุสลายเร็วขึ้น จุดเดือดของการย่อยซึ่งเป็นผลจาก K_2SO_4 (หรือ Na_2SO_4) จะอยู่ที่ 360 องศาเซลเซียส

4.2 การกลั่น (Distillation) NH_4^+-N ในสารละลายตัวอย่างที่ย่อยได้จะถูกนำมากลั่นกับด่างได้ NH_3 และ NH_3 ที่ได้จากการกลั่นจะถูกดักจับด้วย boric acid indicator

4.3 การไทเทรต (Titration) นำสารละลายที่ได้จากการดักจับ NH_3 ด้วย boric acid indicator ในขั้นตอนการกลั่น ซึ่งอยู่ในรูป ammonium borate ($NH_4H_2BO_3$) ไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดที่จุดยุติจะมีการเปลี่ยนรูปกลับคืนมาเป็น boric acid (H_3BO_3) ที่ pH 5 (พัชรี, 2550)

5. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) ฟอสฟอรัสในดินมีอยู่ด้วยกันหลายรูป ประมาณครึ่งหนึ่งจะพบได้ในอินทรียวัตถุ ส่วนที่เหลืออยู่ในรูป inorganic-P ประกอบด้วย Al-phosphate, Fe-phosphate และ Ca-phosphate สัดส่วนของ inorganic-P ทั้งสามรูปขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่างของดินเป็นสำคัญ โดย Al-phosphate และ Fe-phosphate พบมากในดินกรด ส่วน Ca-phosphate พบมากในดินที่เป็นกลางถึงเป็นด่าง ดังนั้นวิธีการสกัดเพื่อวิเคราะห์หาฟอสฟอรัสจึงขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสสามารถทำได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยสกัดตัวอย่างดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II ซึ่งเป็นสารละลายที่มีส่วนผสมระหว่าง 0.03 N NH_4F และ 0.1 N HCl มีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 2.6 NH_4F ในน้ำยาสกัดมีคุณสมบัติในการละลาย Al-phosphate และ Fe-phosphate โดยรวมตัวกับไอออนของโลหะทั้งสองเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนในสารละลายที่มีสภาพเป็นกรด แคลเซียมยังถูกทำให้ตกตะกอนโดย F^- ได้ นอกจากนี้สารละลายกรดที่มีความเป็นกรด-ด่าง 2-3 จะให้ H^+ activity มากพอที่จะละลาย Ca-phosphate และยังสามารถละลาย Al-phosphate รวมทั้ง Fe-phosphate ได้บางส่วน น้ำยา Bray II จึงสามารถสกัด inorganic-P ได้ดีทั้งในรูป Al-phosphate, Fe-phosphate และ Ca-phosphate โดยเรียงจากมากไปหาน้อยดังนี้ Ca-phosphate > Al-phosphate > Fe-phosphate ฟอสฟอรัสในสารละลายที่สกัดได้นำไปพัฒนาสีเพื่อตรวจวัดปริมาณโดยวิธีของ Murphy-Riley โดยทำปฏิกิริยากับ ammonium molybdate ในสารละลายตัวกลางที่มีฤทธิ์เป็นกรดเกิดเป็น molybdophosphoric acid ซึ่งจะถูกรีดิวซ์โดย ascorbic acid ได้สารละลายที่มีสีฟ้า ความเข้มของสีที่ได้จะแปรผันตามปริมาณฟอสฟอรัส จากกนั้นนำสารละลายที่พัฒนาสีได้ไปอ่านค่าด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 820 นาโนเมตร เปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างที่วัดได้กับกราฟของสารละลายมาตรฐาน

6. ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium, Calcium and Magnesium) ซึ่งปรากฏในดินในรูปของ exchangeable cation บนผิวอนุภาคดิน การสกัดไอออนบวกเหล่านี้ทำได้โดยใช้ exchange cation ต่างๆ เช่น NH_4^+, H^+ หรือ Na^+ ที่มีอยู่ในส่วนผสมของน้ำยาสกัดชนิดต่างๆ วิธีมาตรฐานที่ใช้ในการสกัด exchangeable cation คือ วิธีการสกัดด้วย 1 N NH_4OAc pH 7 วิธีการนี้ใช้สารละลายเกลือที่เป็นกลางไปแทนที่ไอออนบวกที่ปรากฏอยู่บน exchange complex ของอนุภาคดิน ดังนั้นความเข้มข้นของไอออนบวกที่ตรวจวัดได้โดยวิธีนี้จึงหมายถึงไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ และนำสารละลายที่ได้หลังจากการสกัดไปวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

7. ปริมาณกำมะถัน (Extractable Sulphate) กำมะถันในดินมีอยู่ด้วยกันหลายรูปทั้งรูปอินทรีย์และอนินทรีย์ ส่วนใหญ่ของกำมะถันในดินโดยเฉพาะในเขตชุ่มชื้นจะมีความสัมพันธ์กับอินทรียวัตถุในดิน และเนื่องจากมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของกำมะถันที่พบในดินจะอยู่ในรูปอินทรีย์ ดังนั้นอินทรียวัตถุในดินจึงเป็นแหล่งปฐมภูมิของกำมะถันในดินและจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูป SO_4^{2-} ซึ่งเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยกระบวนการเปลี่ยนรูปทางชีววิทยา การสกัดกำมะถันในดินสามารถใช้น้ำยาสกัดหลายชนิดแต่น้ำยาสกัดที่มีส่วนผสมของ phosphate เช่น $CaH_4(PO_4)_2.H_2O$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตรวจวัดปริมาณกำมะถันที่สกัดได้โดยวิธีการวัดความขุ่น (turbidimetry) ของ SO_4^{2-} ให้อยู่ในรูป $BaSO_4$ ซึ่งเป็นตะกอนสีขาวขุ่น ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนระหว่าง SO_4^{2-} กับสารละลาย Barium chloride และวิเคราะห์ปริมาณด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

8. ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และ สังกะสี (Extractable Iron, Manganese, Copper and Zinc) การวิเคราะห์ธาตุเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และ สังกะสี สามารถทำได้โดยใช้น้ำยาสกัดที่มีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน เกลือที่เป็นกลางและสารคีเลต ซึ่งวิธีการในการสกัดเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และ สังกะสี ที่ใช้กันทั่วไปได้แก่วิธี DTPA (Diethylene triamine penta acetic acid) เนื่องจากน้ำยาสกัด DTPA ช่วยทำให้เกิดการรวมกันอย่างมีเสถียรภาพในเวลาเดียวกันของสารประกอบเชิงซ้อนเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และ สังกะสี น้ำยาสกัด DTPA ประกอบด้วยสารละลาย 0.005 M DTPA, 0.005 M $CaCl_2$ และ 0.1 M TEA (triethanolamine) มีสภาพเป็น buffer และมีความเป็นกรด-ด่าง 7.30 DTPA มีคุณสมบัติทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียร และ TEA ทำหน้าที่เป็น buffer มีคุณสมบัติต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง ช่วยป้องกันไม่ให้จุลธาตุเหล่านี้ซึ่งเป็น pH dependent ละลายออกมาอย่างผิดปกติ การสกัดทำได้โดยสกัดดินด้วย DTPA และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

9. ปริมาณ โครเมียม แคดเมียม ตะกั่ว สารหนู นิกเกิล และปรอท สามารถวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักได้โดยย่อยตัวอย่างด้วยกรด HNO_3 : $HClO_4$ และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

ดินสำหรับปลูกข้าวโพด

ดินที่เหมาะสมในการปลูกข้าวโพดและให้ผลผลิตสูงนั้นจะต้องเป็นดินที่มีการระบายน้ำดี หน้าดินลึก ปริมาณอินทรียวัตถุสูง ปริมาณธาตุอาหารพอเพียง ลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนถึงร่วนเหนียว (loam-clay loam) มีความเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) แต่ข้าวโพดสามารถปลูกได้ในดินที่เป็นกรดแก่ (pH 5.0) ถึงเป็นด่างอ่อน (pH 7.5) ดินในแหล่งปลูกข้าวโพดส่วนใหญ่ที่เกษตรกรได้ใช้ในการเพาะปลูกมาเป็นเวลานานเกินกว่า 20 ปี จะให้ผลผลิตต่ำ การที่ได้ผลผลิตของข้าวโพดต่ำนั้นมีสาเหตุที่สำคัญคือ ลักษณะของพื้นที่ สถานะความอุดมสมบูรณ์ของดิน และการจัดการดิน ลักษณะดินที่มีอยู่เดิมตามธรรมชาตินั้นส่วนใหญ่มักจะมีวัตถุต้นกำเนิดที่ให้ธาตุอาหารที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เป็นประโยชน์ต่อพืชเป็นจำนวนน้อย อาศัยผิวหน้าดินที่เกิดจากการทับถมของอินทรียวัตถุ เมื่อพื้นดินที่ถูกนำมาใช้ในการเพาะปลูก อินทรียวัตถุต่างๆ จะสลายตัวรวดเร็วและส่วนหนึ่งจะถูกพืชที่ปลูกดูดนำไปใช้ โดยปราศจากการนำอินทรียวัตถุมาใส่ทดแทน ความอุดมสมบูรณ์ของดินก็ลดลงเรื่อยๆ (กรมวิชาการเกษตร, 2524)

สาเหตุสำคัญที่ทำให้ดินเสื่อมโทรม คือ 1. การปลูกพืชติดต่อกันนานโดยไม่มีการปรับปรุงบำรุงดิน 2. ปลูกพืชโดยมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมีหรือใช้ทั้ง 2 อย่างแต่ใช้น้อยเกินไปไม่เพียงพอต่อปริมาณธาตุอาหารที่พืชดูดใช้ไปจากดิน 3. ไม่มีการควบคุมการสูญเสียเนื้อดินและน้ำ หรือมีการควบคุมไม่ดีพอ ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินในพื้นที่ทุกปีและเกิดการสูญเสียเนื้อดิน(สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน, 2550) การปรับปรุงดินเลวที่มีคุณภาพต่ำปฏิบัติได้โดย ใช้ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์หรือใช้ทั้ง 2 อย่าง การใช้ปุ๋ยเคมีแต่เพียงอย่างเดียวอาจช่วยเพิ่มผลผลิตพืชได้ดีแบบฤดูปลูกต่อฤดูปลูก แต่โดยทั่วๆ ไปปุ๋ยเคมีที่ใช้จะไม่ตกค้างอยู่ในดินได้นานเกิน 1-2 ปี ควรใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ และการใช้สารปรับปรุงดิน ดินบางประเภทมีปัญหาทางด้านเนื้อดินที่ไม่จับตัวกันเป็นก้อน ไม่อุ้มน้ำ เกิดการชะล้างพังทลายง่ายหรือผิวหน้าดินอาจเกิดการแข็งตัวแน่นทึบหลังจากดินเปียกและแห้งตัวลง ปัญหาต่างๆ เหล่านี้จำเป็นต้องมีการใช้สารปรับปรุงดิน (สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน, 2550) สารปรับปรุงดิน (soil amendments) เป็นสารใดๆ ก็ได้ที่เมื่อใส่ลงไปในดินแล้วสามารถช่วยปรับปรุงดินให้มีสภาพเหมาะสมต่อการเติบโตของพืชมากขึ้น ทั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงด้านกายภาพ เคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดินหรือสภาพทางชีวภาพในดินยกเว้นปุ๋ยเคมี ตัวอย่างของสารปรับปรุงดินบางชนิดได้แก่ ปูนขาว หินปูน ยิปซัม ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรม ที่อาจมีธาตุอาหารพืชบางชนิดเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย แต่การใช้สารปรับปรุงดินนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อปรับปรุงสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี และทางชีวภาพ มากกว่าการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารพืชในดิน สารปรับปรุงดินที่มีการผลิตใช้กันมีหลายชนิด เช่นสารอินทรีย์ที่ได้จากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ขึ้น เช่น ปุ๋ยอินทรีย์ เศษพืชและผลพลอยได้จากผลิตผลพืช สารอินทรีย์สังเคราะห์ชนิดต่างๆ สารอนินทรีย์ที่ได้จากธรรมชาติในรูปหินหรือแร่และกรดฮิวมิก (ปิยะ, 2553)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารฮิวมิก

สารฮิวมิก (Humic substance) เป็นกลุ่มของสารประกอบที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นหลังการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์โดยกระบวนการ Humification (นัทธีรา และคณะ, 2553) สามารถสรุปได้ 4 กระบวนการ ดังนี้

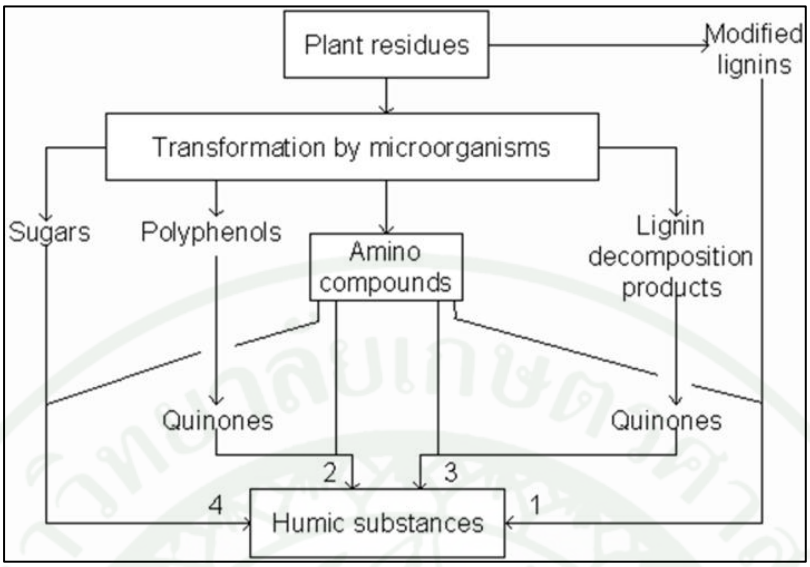
กระบวนการที่ 1 เกิดจากลิกนินในพืชถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในดิน แต่เกิดการย่อยสลายไม่สมบูรณ์ กลายมาเป็นส่วนหนึ่งของฮิวมัส โดยจะมีการเปลี่ยนโครงสร้างของหมู่เมทอกซิล (demethylation) เป็นออโทไฮดรอกซีฟีนอล (o–Hydroxy phenols) และเกิดการออกซิเดชันของหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxylic group; –COOH) หลังจากนั้นจึงรวมกับโปรตีนเกิดเป็นกรดฮิวมิกและกรดฟูลวิก ตามลำดับ

กระบวนการที่ 2 เกิดจากเซลลูโลส (nonlignin C sources) ในพืชถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในดิน ได้เป็นโพลีฟีนอล (polyphenol)และถูกออกซิไดซ์กลายเป็นควิโนน (Quinones) แล้วจึงรวมกับโปรตีนให้สารฮิวมิก

กระบวนการที่ 3 เกิดจากในระหว่างที่พืชถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในดินกลายเป็นลิกนิน จะมีสารฟีโน-ลิก แอลดีไฮด์ (phenolic aldehydes) และกรดเกิดขึ้น ซึ่งจะถูกย่อยสลายกลายเป็นควิโนน(Quinones) แล้วจึงรวมกับโปรตีนให้สารฮิวมิก

กระบวนการที่ 4 เกิดจากน้ำตาลที่เกิดจากพืชถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในดินแล้วรวมกับโปรตีนให้สารฮิวมิก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 กระบวนการเกิดสารฮิวมิก

กรดฮิวมิกเป็นสารประกอบฮิวมิกชนิดหนึ่ง มีสีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้ม มีโมเลกุลขนาดใหญ่ มีมวลโมเลกุล 10,000-100,000 ดาลตัน ละลายในสารละลายด่าง จากการศึกษาองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของกรด ฮิวมิกพบว่า โมเลกุลของกรดฮิวมิกมีหมู่ฟังก์ชันนัลหลักที่สำคัญ ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxylic, –COOH group) และหมู่ฟีนิลหรือหมู่ฟีนอลิก (phenyl or phenolic, $–C_6H_5OH$ group) ซึ่งทั้งสองหมู่นี้มีบทบาทสำคัญมากต่อความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cations exchange capacity; CEC) และความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดิน (Soil buffering capacity) หมู่ฟังก์ชันนัลที่มีรองลงมา ได้แก่ อินอลิก (Enalic, –CH=C–OH) และคาร์บอนิล (Carbonyl, =C=O) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปควิโนน (Quinine) และคีโตน (Ketone) (นัทธีรา และคณะ, 2553)

ธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของกรดฮิวมิกได้แก่ คาร์บอน (C≃49.6 – 58.7%) ไฮโดรเจน (H≃3.9 – 5.4%) ออกซิเจน (O≃32.9 – 43.5%) ไนโตรเจน (N≃1.2 – 5.0%) และซัลเฟอร์ (S≃n.d. – 0.8%) (Tan, 2003)

สมบัติที่สำคัญของกรดฮิวมิกจะมีผลอย่างมากต่อการปรับปรุงดินโดยเฉพาะสมบัติทางเคมีของดินก็คือ กรดฮิวมิกเป็นสารที่มีความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange capacity, CEC) สูงมากคือ มีค่าระหว่าง 500-870 มิลลิสมมูลต่อ 100 กรัม ซึ่งสูงกว่าสารฮิวมัส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประมาณ 3-4 เท่า ทำให้ถ้าใส่กรดฮิวมิกลงไปในดินในปริมาณมากจะมีผลทำให้ดินที่ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกรวมสูงขึ้นได้ไม่มากก็น้อย และทำให้ดินมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-ด่าง (buffering capacity) ของดินสูงขึ้นด้วย นอกจากนั้นยังสามารถดูดซับธาตุอาหารพืชที่มีประจุบวก เช่น โพแทสเซียม หรือดูดซับกับธาตุโลหะ เช่น เหล็ก แมงกานีส สังกะสีได้ (ปิยะ, 2553)

กรดฮิวมิกที่มีอยู่ในดินหรือที่ผลิตเพื่อเป็นการค้าเพื่อใช้ปรับปรุงดิน เป็นสารที่มีประโยชน์ต่อการปรับปรุงสมบัติของดิน ทั้งสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลชีวของดิน และสภาพสิ่งแวดล้อมในดิน ดังนี้

1. สมบัติทางกายภาพของดิน กรดฮิวมิกที่ใส่ลงไปในดินจะทำให้ดินมีสีคล้ำมากขึ้น ดินที่มีโครงสร้างไม่ดีมีโครงสร้างที่ดีขึ้น มีความแน่นทึบน้อยลง ทำให้เนื้อดินร่วนซุย อุ้มน้ำได้มากขึ้น และถ่ายเทอากาศได้ดีขึ้น

2. สมบัติทางเคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดิน เช่น เพิ่มความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน ทั้งนี้เพราะกรดฮิวมิกเป็นสารอินทรีย์คอลลอยด์ที่มีประจุลบสูง หรือค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูง ทำให้ดินบางชนิดที่มีความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกต่ำ เช่น ดินเนื้อหยาบที่มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำ สามารถดูดซับไอออนบวกไว้ได้ในปริมาณมากขึ้น ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียไปในกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการชะละลายในดิน และพืชยังสามารถดูดใช้ประโยชน์ได้โดยง่าย เพิ่มความสามารถในการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-ด่างของดินไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงเร็วเกินไป จนถึงระดับที่อาจมีผลในทางลบต่อการเจริญเติบโตของพืช ช่วยเพิ่มการดูดใช้ฟอสฟอรัสในดินของพืชที่ปลูกในดินที่มีสมบัติตรึงฟอสฟอรัสสูงเพราะมีปริมาณเหล็กมาก

3. สมบัติทางจุลชีวของดิน กรดฮิวมิกจะมีผลต่อการปรับปรุงสมบัติทางจุลชีวของดินโดยการเพิ่มจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ และช่วยทำให้จุลินทรีย์ดินมีกิจกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากยิ่งขึ้น (ปิยะ, 2553)

Fernandez-Escobar *et al*. (1996) ศึกษาการตอบสนองของต้น Olive ที่ได้รับ กรดฮิวมิกที่สกัดจากลีโอนาร์ไดต์ทางใบในสภาพแปลง พบว่าสารสกัดจากลีโอนาร์ไดต์ช่วยส่งเสริมการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เจริญเติบโตทางลำต้น และช่วยในการสะสมธาตุ โพแทสเซียม โบรอน แมกนีเซียม แคลเซียม และเหล็กในใบ Olive

กรดฮิวมิกเป็นองค์ประกอบหนึ่งของอินทรียวัตถุ ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยให้กับพืชโดยช่วยในการดูดซับธาตุอาหารไว้ให้กับพืชเนื่องจาก กรดฮิวมิกมีความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูง ช่วยในการดูดซึมธาตุอาหารเข้าไปในรากพืชโดยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ ATPase ลดการอัดแน่นของดินเนื่องจากมีปริมาณอินทรียวัตถุสูง อีกทั้งยังช่วยให้รากพืชเจริญได้ดีเนื่องจากเมื่อพืชได้รับกรดฮิวมิกแล้วจะมีการแสดงออกเหมือนกับการได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตประเภทออกซิน (Nardi *et al*., 2002)

Ertani *et al*. (2012) ศึกษาผลของ humic like-substances จากกากของเสียจากอุตสาหกรรมการเกษตรต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุไนโตรเจนในข้าวโพด พบว่า humic like-substances ช่วยเพิ่มกระบวนการเมแทบอลิซึมของไนโตรเจน การเจริญเติบโตและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวโพด

Eyheraguibel *et al*. (2007) ศึกษาผลของกรดฮิวมิกจากปุ๋ยหมักต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารของข้าวโพดโดยการใช้ระบบไฮโดรโพนิคส์ พบว่า กรดฮิวมิกไม่สามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวโพดได้ แต่จะช่วยเพิ่มในด้านการเจริญเติบโต ความยาวยอด ความยาวรากได้

กรดฮิวมิกสามารถพบได้ในดิน ปุ๋ยคอก พีต ถ่านหินลิกไนต์ และแร่ลีโอนาร์ไดต์ แต่สารประกอบฮิวมิกที่สกัดได้จากปุ๋ยคอก พีต และถ่านหินลิกไนต์มีคุณสมบัติต่อการปรับปรุงดินด้อยกว่ากรดฮิวมิกที่สกัดจากลีโอนาร์ไดต์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการดูดซับธาตุอาหารพืชที่มีประจุบวกในดิน (ปิยะ,2553)

การสกัดกรดฮิวมิกจากลีโอนาร์ไดต์

จากการศึกษาของวิวัฒน์ และคณะ (2552) พบว่ามูลแร่ มูลดินทราย (ลีโอนาร์ไดต์) เป็นดินปนถ่านหินเป็นต้นกำเนิดของกรดฮิวมิก สามารถนำมาสกัดเป็นกรดฮิวมิกได้ สอดคล้องกับ Mema (2006) ที่มีการรายงานเปรียบเทียบปริมาณกรดฮิวมิกที่สกัดได้จากแหล่งต่างๆ ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 ปริมาณของสารประกอบฮิวมิกที่ได้จากแหล่งต่างๆ

แหล่งธรรมชาติ	สารประกอบฮิวมิก (%)
Leonardite	25 – 90
Compost	5 – 25
Peat	5 – 20
Peat moss	5 – 20
Lignite	5 – 15
Manure	1 – 3
Soft coal	2 – 5
Hard coal	0 - 1

ที่มา : Mema (2006)

การเกิดลีโอนาร์ไดต์ตามธรรมชาติมีความเป็นไปได้ 2 ทฤษฎี คือเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการการเกิดถ่านหิน (Caolification) โดยจะเกิดปะปนกับถ่านหินโดยเฉพาะในถ่านหินลิกไนต์ (Lignite) และมีการย่อยสลาย (Decoposition and Oxidation) เกิดร่วมด้วย โดยพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับลิกไนต์ ลีโอนาร์ไดต์มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบถึง 30-35 เปอร์เซ็นต์ ส่วนลิกไนต์มีเพียง 25-30 เปอร์เซ็นต์ และเกิดจากการผุพังตามธรรมชาติ (Weathering and Oxidation) ของถ่านหินพีท ลิกไนต์ และสับบิทู-มินัส (Sub–bituminous) ที่ถูกยกตัวขึ้นมาในระดับตื้น (Sub crop) หรือโผล่เหนือผิวดินขึ้นมา (Out crop) แล้วถูกออกซิไดซ์โดยอากาศตามธรรมชาติ ต่อมาจึงเกิดการทับถมกันเป็นชั้นๆ

ลีโอนาร์ไดต์ เป็นชั้นดินปนถ่านหินที่ถูกออกซิไดท์ตามธรรมชาติ มีลักษณะนุ่มไม่แข็งตัว มีสีน้ำตาลอ่อน ปกติพบอยู่ในแหล่งถ่านหินที่มีความลึกไม่มาก ดินปนถ่านหินนี้เกิดจากการผุพังสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ด้วยกระบวนการทางเคมีและชีวภาพ ดินปนถ่านหินจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบของฮิวมัส (Humus) สารฮิวมิก (Humic substance) ซึ่งได้แก่ กรดฮิวมิก (Humic acid) กรดฟูลวิก (Fulvic acid) และฮิวมิน (Humin)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แหล่งลิโอนาร์ไดต์ในประเทศไทยในขณะนี้ที่มีรายงานพบปะปนอยู่กับแอ่งถ่านหินลิกไนต์แม่เมาะ ตั้งอยู่ที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีพื้นที่ประมาณ 38 ตารางกิโลเมตร มีส่วนกว้างสุด 4.0 กิโลเมตร และส่วนยาวสุด 9.5 กิโลเมตร ปริมาณถ่านหินลิกไนต์สำรองทางธรณีวิทยา มีประมาณ 1,139 ล้านตัน อยู่ในการดูแลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

การสกัดกรดฮิวมิก ตามวิธีการของ International Humic Substances Society (IHSS), (Tan, 2003)

1. อบตัวอย่างดิน/ลิโอนาร์ไดต์ ให้แห้งและร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาด 2 มิลลิเมตร
2. เติม 1 M HCl ลงในตัวอย่างดิน ให้ได้ความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 1-2
3. เติม 0.1 M HCl เพื่อปรับปริมาตรให้ได้อัตราส่วน 1:10 (1 กรัม ตัวอย่างดิน : 10 มิลลิลิตร สารละลาย)
4. เขย่าให้ผสมกันตลอดเวลา เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง
5. ปั่นเหวี่ยงแยกสารละลายและตะกอน
6. ละลายตะกอนด้วย 1 M NaOH ให้ความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง และเติม 0.1 M NaOH เพื่อปรับปริมาตรให้ได้อัตราส่วน 1:10 ภายใต้สภาพอากาศที่มีแต่ก๊าซไนโตรเจน
7. เขย่าให้ผสมกันตลอดเวลา เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง
8. เก็บตัวอย่างไว้ข้ามคืนให้เกิดการตกตะกอน หรือปั่นเหวี่ยงแยกสารละลายและตะกอน
9. นำสารละลายที่ได้มาปรับความเป็นกรด-ด่างให้เป็น 1 ด้วย 6 M HCl พักไว้ 12-16 ชั่วโมง และปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนกับสารละลาย ตะกอนที่ได้คือ กรดฮิวมิก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์การทดลองในห้องปฏิบัติการ

1.1 Spectrophotometer

1.2 Atomic Absorption Spectrophotometer

1.3 pH meter

1.4 Electrical conductivity meter

1.5 Micro Kjeldahl distillation apparatus

1.6 Digestion apparatus

1.7 Fume hood

1.8 เครื่องชั่ง 2 และ 3 ตำแหน่ง

1.9 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ

1.10 เครื่องบดตัวอย่างดินและตะแกรงร่อนดินขนาด 2, 0.5 มิลลิเมตร

1.11 เครื่องบดตัวอย่างพืช

1.12 เคมีภัณฑ์ (analytical reagent grade) สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช

2. อุปกรณ์การทดลองปลูกพืชในภาคสนาม

2.1 ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452

2.2 ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16

2.3 ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0

2.4 กรดฮิวมิก

2.5 สารเคมีที่ใช้ป้องกันกำจัดศัตรูพืช

2.6 อุปกรณ์ในการเตรียมแปลง

2.6.1 รถแทรกเตอร์ ใช้ในการไถพรวนและชักร่อง

2.6.2 เทปวัดระยะ

2.6.3 ไม้ปักแปลง และป้ายแสดงสิ่งทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.7 อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล

2.7.1 ไม้วัดระยะ

2.7.2 SPAD-502

2.8 อุปกรณ์ในการเก็บเกี่ยวผลผลิต

2.8.1 เครื่องชั่งน้ำหนักพืช

2.8.2 ถุงกระดาษและถุงพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างพืช

2.9 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน

2.9.1 พลั่วหรือจอบ

2.9.2 ถุงพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

1. ศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการและปริมาณธาตุอาหารของลีโอนาร์ไดต์

เตรียมตัวอย่างลีโอนาร์ไดต์ โดยนำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร และ 0.5 มิลลิเมตร และนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเบื้องต้น ดังนี้

1.1 ความเป็นกรด-ด่างของลีโอนาร์ไดต์ (pH) วัดโดยใช้ pH meter โดยใช้สัดส่วนระหว่างลีโอนาร์ไดต์ : น้ำ เท่ากับ 1:1

1.2 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter, OM) โดยวิธี Walkley and Black Titration

1.3 ค่าการนำไฟฟ้า (electric conductivity) โดยวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย ลีโอนาร์ไดต์ที่สกัดจากลีโอนาร์ไดต์ที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated water extract) วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องelectrical conductivity meter

1.4 ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของลีโอนาร์ไดต์ (Cation exchange capacity, CEC) โดยวิธี Leaching โดยใช้ 1 M NH_4OAc buffer pH 7, Isopropyl alcohol และ 10% NaCl

1.5 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl

1.6 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) ใช้วิธีสกัดลีโอนาร์ไดต์ด้วยน้ำยา Bray –II และวิเคราะห์ปริมาณด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

1.7 ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium, Calcium and Magnesium) โดยสกัดด้วย 1 N NH_4OAc pH 7 และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.8 ปริมาณกำมะถัน (Extractable Sulphate) โดยทำการสกัดด้วย $CaH_4(PO_4)_2.H_2O$ และวิเคราะห์ปริมาณด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

1.9 ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และ สังกะสี (Extractable Iron, Manganese, Copper and Zinc) โดยทำการสกัดลีโอนาร์ไดต์ ด้วย Diethylene triamine penta acetic acid (DTPA) และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

1.10 ปริมาณโครเมียม แคดเมียม นิกเกิล ตะกั่ว สารหนู และ ปรอท (Total Chromium Cadmium, Nickel, Lade, Arsenic and Mercury) โดยย่อยตัวอย่างลีโอนาร์ไดต์ ด้วยวิธี USEPA 3050B (USEPA, 1996) ซึ่งใช้กรด HNO_3 และ HCl ในการย่อย และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการและปริมาณธาตุอาหารของกรดฮิวมิก

เตรียมตัวอย่างกรดฮิวมิกที่สกัดจากลีโอนาร์ไดต์ โดย นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร และ 0.5 มิลลิเมตร และนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเบื้องต้นดังนี้

2.1 ความเป็นกรด-ด่างของกรดฮิวมิก (pH) วัดโดยใช้ pH meter โดยใช้สัดส่วนระหว่างกรดฮิวมิก : น้ำ เท่ากับ 1:1

2.2 ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter, OM) โดยวิธี Walkley and Black Titration

2.3 ค่าการนำไฟฟ้า (electric conductivity) โดยวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย กรดฮิวมิกที่สกัดจากกรดฮิวมิกที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated water extract) วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องelectrical conductivity meter

2.4 ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของกรดฮิวมิก (Cation exchange capacity, CEC) โดยวิธี Leaching โดยใช้ 1 M NH_4OAc buffer pH 7, Isopropyl alcohol และ 10% NaCl

2.5 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl

2.6 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) ใช้วิธีสกัดกรด ฮิวมิกด้วยน้ำยา Bray –II และวิเคราะห์ปริมาณด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

2.7 ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium, Calcium and Magnesium) โดยสกัดด้วย 1 N NH_4OAc pH 7 และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.8 ปริมาณกำมะถัน (Extractable Sulphate) โดยทำการสกัดกรดฮิวมิกด้วย $CaH_4(PO_4)_2.H_2O$ และวิเคราะห์ปริมาณด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

2.9 ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และ สังกะสี (Extractable Iron, Manganese, Copper and Zinc) โดยทำการสกัดกรดฮิวมิกด้วย Diethylene triamine penta acetic acid (DTPA) และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

2.10 ปริมาณโครเมียม แคดเมียม นิกเกิล ตะกั่ว สารหนู และ ปรอท (Total Chromium Cadmium, Nickel, Lade, Arsenic and Mercury) โดยย่อยตัวอย่างกรดฮิวมิก ด้วยวิธี USEPA 3050B (USEPA, 1996) ซึ่งใช้กรด HNO_3 และ HCl ในการย่อย และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ศึกษาผลของการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณธาตุอาหาร การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ดำเนินการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452 ณ สถาบันเกษตรอินทรีย์จันทรสถิตย์เพื่อการค้นคว้าและพัฒนาด้านพืชศาสตร์ สถานีวิจัยเขาหินซ้อน ตำบลเขาหินซ้อน อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2557 มีอุณหภูมิ 17-36 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 64-80 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณน้ำฝน 93.2 มิลลิเมตร (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2557)

3.1 การปลูก

ขนาดแปลงย่อย 5x5 เมตร ระยะห่างระหว่างแถว 0.75 เมตร ระยะห่างระหว่างต้น 0.25 เมตร และขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยว 3x2.25 เมตร ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยการหยอดเมล็ดด้วยเครื่องกระทุ้ง (Jab seeder) หยอดหลุมละ 2-3 เมล็ด ใส่ปุ๋ยเคมีตามลักษณะของดินร่วนทราย ตามคำแนะนำการปลูกข้าวโพดของกรมวิชาการเกษตร คือ ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 รองก้นหลุมพร้อมปลูก ในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 0.78 กิโลกรัมต่อแปลงย่อย (NPK 100%) และใส่กรดฮิวมิกเฉพาะตำรับการทดลองที่มีการทดสอบปัจจัยที่ต้องใส่กรดฮิวมิก โดยอ้างอิงจากรายงานการศึกษาของ stevenson (1994) โดยใส่กรดฮิวมิกในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 0.78 กิโลกรัมต่อแปลงย่อย เมื่ออายุได้ 15 วัน จึงถอนแยกเหลือหลุมละ 1 ต้น และใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 0.47 กิโลกรัมต่อแปลงย่อย (100%) ในตำรับการทดลองที่มีการใช้ปุ๋ยเคมี โดยโรยข้างแถวแล้วพรวนดินกลบ เมื่อข้าวโพดมีอายุ 20-25 วัน หลังงอก และใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 0.31 กิโลกรัมต่อแปลงย่อย (100%) ในตำรับการทดลองที่มีการใช้ปุ๋ยเคมี เมื่อข้าวโพดอยู่ในระยะออกไหม ให้น้ำโดยใช้ระบบ Sprinkler สัปดาห์ละ 2-3 ครั้ง ครั้งละ 1 ชั่วโมง เนื่องจากปริมาณน้ำฝนในฤดูปลูกมีเพียง 93.2 มิลลิเมตร ซึ่งข้าวโพดนั้นมีความต้องการน้ำในช่วงฤดูปลูกประมาณ 450-600 มิลลิเมตร (ราเชนทร์, 2539)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ 12 ตำรับการทดลอง โดยมีตำรับการทดลอง ดังนี้

ตำรับการทดลองที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยและกรดฮิวมิก (Control)

ตำรับการทดลองที่ 2 ใส่ปุ๋ย N P K 100% (สูตร 16-16-16 ในอัตรา 70 กิโลกรัม และสูตร 46-0-0 ในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่) (NPK 100%)

ตำรับการทดลองที่ 3 ใส่ปุ๋ย N P K 75% (NPK 75%)

ตำรับการทดลองที่ 4 ใส่ปุ๋ย N P K 50% (NPK 50%)

ตำรับการทดลองที่ 5 ใส่กรดฮิวมิก (HA) 50 กิโลกรัมต่อไร่ (HA 50)

ตำรับการทดลองที่ 6 ใส่กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ (HA 25)

ตำรับการทดลองที่ 7 ใส่ปุ๋ย N P K 100% + กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ (NPK 100%+HA 50)

ตำรับการทดลองที่ 8 ใส่ปุ๋ย N P K 100% + กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ (NPK 100%+HA 25)

ตำรับการทดลองที่ 9 ใส่ปุ๋ย N P K 75% + กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ (NPK 75%+HA 50)

ตำรับการทดลองที่ 10 ใส่ปุ๋ย N P K 75% + กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ (NPK 75%+HA 25)

ตำรับการทดลองที่ 11 ใส่ปุ๋ย N P K 50% + กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ (NPK 50%+HA 50)

ตำรับการทดลองที่ 12 ใส่ปุ๋ย N P K 50% + กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ (NPK 50%+HA 25)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 การบันทึกข้อมูล

3.3.1 สมบัติทางเคมีเบื้องต้นและปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

เตรียมตัวอย่างดิน โดยเก็บตัวอย่างดินจากแปลงปลูกที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เลือกวัสดุที่ไม่ใช่ดินออก ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำไปบดให้ละเอียดอีกครั้ง และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร และนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเบื้องต้น ดังนี้

ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) วัดโดยใช้ pH meter โดยใช้สัดส่วนระหว่างดิน : น้ำ เท่ากับ 1:1

ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic matter, OM) โดยวิธี Walkley and Black Titration

ค่าการนำไฟฟ้า (electric conductivity) โดยวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated water extract) วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องelectrical conductivity meter

ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (Cation exchange capacity, CEC) โดยวิธี Leaching โดยใช้ 1M NH_4OAc buffer pH 7, Isopropyl alcohol และ 10% NaCl

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) ใช้วิธีสกัดดินด้วยน้ำยา Bray –II และวิเคราะห์ปริมาณด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium, Calcium and Magnesium) โดยสกัดด้วย 1 N NH_4OAc pH 7 และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

ปริมาณกำมะถัน (Extractable Sulphate) โดยทำการสกัดด้วย $CaH_4(PO_4)_2.H_2O$ และวิเคราะห์ปริมาณด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และ สังกะสี (Extractable Iron, Manganese, Copper and Zinc) โดยทำการสกัดดินด้วย Diethylene triamine penta acetic acid, DTPA และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

ปริมาณโครเมียม แคดเมียม นิกเกิล ตะกั่ว สารหนู และ ปรอท (Total Chromium Cadmium, Nickel, Lade, Arsenic and Mercury) โดยย่อยตัวอย่างดินด้วยวิธี USEPA 3050B (USEPA, 1996) ซึ่งใช้กรด HNO_3 และ HCl ในการย่อย และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

3.3.2 ปริมาณธาตุอาหารในใบระยะออกไหม

เก็บตัวอย่างใบใบรองฝักของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เมื่ออยู่ในระยะออกไหม (Jones, 1991) นำมาล้างให้สะอาด อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นบดให้ละเอียด และนำมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืช ดังนี้

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยย่อยตัวอย่างพืชด้วย Total N digestion mixture (H_2SO_4) นำสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายดังกล่าวไปกลั่นหาไนโตรเจนตามวิธีของ Kjeldahl

ปริมาณฟอสฟอรัส โดยย่อยตัวอย่างพืชด้วย HNO_3:$HClO_4$ (5:2) นำสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายดังกล่าว ไปหาฟอสฟอรัสด้วย colorimetry และวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของสีที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง โดยย่อยตัวอย่างใบพืชด้วย HNO_3:$HClO_4$ (5:2) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นด้วย เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

ปริมาณกำมะถัน โดยย่อยตัวอย่างพืชด้วย HNO_3:$HClO_4$ (5:2) แล้วนำไปหากำมะถันด้วย Turbidimetry และวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของสีที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

3.3.3 ข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ความสูงต้นที่อายุ 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน โดยวัดจากพื้นดินถึงปลายใบที่ยาวที่สุด ซึ่งสุ่มวัดจาก 10 ต้นแล้วหาค่าเฉลี่ย

ความสูงคอใบสุดท้าย (leaf collar) ที่อายุ 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน โดยวัดจากพื้นดินถึงคอของใบธง ซึ่งสุ่มวัดจาก 10 ต้นแล้วหาค่าเฉลี่ย

3.3.4 ข้อมูลทางสรีรวิทยาของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ค่าความเขียวของใบ (SPAD index) ที่อายุ 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน โดยวัดด้วยเครื่อง chlorophyll meter (SPAD-502) ตำแหน่งใบที่ 3-4 จากปลายยอด ซึ่งสุ่มวัดจาก 10 ต้นๆ ละ 3 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย

3.3.5 ข้อมูลผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จำนวนฝักต่อต้น

จำนวนฝักสมบูรณ์ต่อต้น

ความยาวฝัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความยาวส่วนติดเมล็ด

เส้นผ่านศูนย์กลางฝัก

น้ำหนักฝักทั้งเปลือก

น้ำหนักฝัก

น้ำหนักเมล็ด (ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์)

เปอร์เซ็นต์กะเทาะ ซึ่งคำนวณจากสูตรดังนี้

$$= 100 \times \frac{\text{น้ำหนักเมล็ด}}{\text{น้ำหนักฝัก}}$$

ผลผลิตต่อไร่ ซึ่งคำนวณจากสูตรดังนี้

$$= 1600 \times \frac{\text{ผลผลิตต่อแปลงย่อย}}{\text{พื้นที่เก็บเกี่ยว (ตารางเมตร)}}$$

3.3.6 ปริมาณธาตุอาหารในเมล็ดข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยว

เก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยว นำมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืช และโลหะหนัก ดังนี้

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยย่อยตัวอย่างพืชด้วย Total N digestion mixture (H_2SO_4) นำสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายดังกล่าวไปกลั่นหาไนโตรเจนตามวิธีของ Kjeldahl

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณฟอสฟอรัส โดยย่อยตัวอย่างพืชด้วย HNO_3:$HClO_4$ (5:2) นำสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายดังกล่าว ไปหาฟอสฟอรัสด้วย colorimetry และวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของสีที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง โดยย่อยตัวอย่างใบพืชด้วย HNO_3:$HClO_4$ (5:2) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นด้วย เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

ปริมาณกำมะถัน โดยย่อยตัวอย่างพืชด้วย HNO_3:$HClO_4$ (5:2) แล้วนำไปหากำมะถันด้วย Turbidimetry และวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นของสีที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer

ปริมาณโครเมียม แคดเมียม นิกเกิล ตะกั่ว สารหนู และ ปรอท โดยย่อยตัวอย่างพืชด้วย HNO_3:$HClO_4$ (5:2) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นด้วย เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสมบัติดินในระยะออกไหมและหลังปลูก ปริมาณธาตุอาหารในใบข้าวโพด การเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารในเมล็ดข้าวโพด โดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับ .05

5. สถานที่และระยะเวลาในการทดลอง

5.1 สถานที่ทดลอง

5.1.1 ห้องปฏิบัติการทางสรีรวิทยา ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.1.2 ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.1.3 สถาบันเกษตรอินทรีย์จันทรสถิตย์เพื่อการค้นคว้าและพัฒนาด้านพืชศาสตร์ สถานีวิจัยเขาหินซ้อน ตำบลเขาหินซ้อน อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา

5.2 ระยะเวลาในการทดลอง

ระหว่างเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. สมบัติทางเคมีบางประการและปริมาณธาตุอาหารของลีโอนาร์ไดต์

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของลีโอนาร์ไดต์ที่เป็นสารตั้งต้นของกรดฮิวมิก โดยวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง จุลธาตุ และโลหะหนักบางธาตุ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 พบว่า มีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 2.69 แสดงว่าเป็นกรดรุนแรง ค่าการนำไฟฟ้า 5.41 เดซิซีเมนต่อเมตร อยู่ในระดับต่ำ(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกและปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูง ได้แก่ 57 เซนติโมลต่อกิโลกรัม และ 30.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทำให้มีความสามารถในการกักเก็บไอออนบวกได้มากและมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างได้ดี อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 176.20 หมายถึงมีการสะสมคาร์บอนในอัตราที่สูงกว่าการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (พัชรี, 2550)

ลีโอนาร์ไดต์มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.10 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 41.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 25.05 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 7845.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 1787.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กำมะถันเท่ากับ 5490.99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เหล็กเท่ากับ 622.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทองแดงที่สกัดได้เท่ากับ 0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้เท่ากับ 58.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสังกะสีที่สกัดได้เท่ากับ 17.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ลีโอนาร์ไดต์มีปริมาณโครเมียมน้อยกว่า0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคดเมียมเท่ากับ 2.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นิกเกิลเท่ากับ 25.56 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่วเท่ากับ 48.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สารหนูทั้งหมดเท่ากับ 33.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปรอททั้งหมดเท่ากับ 0.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีปริมาณต่ำกว่าค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร (ตารางภาคผนวกที่ 1)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 สมบัติทางเคมีบางประการและปริมาณธาตุอาหารของลีโอนาร์ไดต์และกรดฮิวมิก

รายการที่วิเคราะห์	ลีโอนาร์ไดต์		กรดฮิวมิก	
	ค่าวิเคราะห์	ความหมาย	ค่าวิเคราะห์	ความหมาย
ความเป็นกรด-ด่าง	2.69	ไม่เหมาะสม[1/]	1.05	ไม่เหมาะสม[1/]
ค่าการนำไฟฟ้า (ds/m)	5.41	เหมาะสม[1/]	14.61	ไม่เหมาะสม[1/]
ความจุในการแลกเปลี่ยน ไอออนบวก (cmol(+)/kg)	57.00	-	137.71	-
อินทรียวัตถุ (%)	30.38	-	35.28	-
อัตราส่วนคาร์บอน : ไนโตรเจน	176.20	ไม่เหมาะสม[1/]	47.59	ไม่เหมาะสม[1/]
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.10	ไม่เหมาะสม[1/]	0.43	ไม่เหมาะสม[1/]
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	41.66	-	9.27	-
โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	0.14	ไม่เหมาะสม[1/]	0.16	ไม่เหมาะสม[1/]
แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)	7845.05	-	89.19	-
แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)	1787.85	-	144.06	-
กำมะถันที่สกัดได้ (mg/kg)	5490.99	-	585.77	-
เหล็กที่สกัดได้ (mg/kg)	622.44	-	763.29	-
สังกะสีที่สกัดได้ (mg/kg)	17.29	-	4.34	-
ทองแดงที่สกัดได้ (mg/kg)	0.10	-	0.07	-
แมงกานีสที่สกัดได้ (mg/kg)	58.72	-	7.49	-
โครเมียมทั้งหมด (mg/kg)	<0.01	ต่ำกว่ามาตรฐาน[1/]	7.39	ต่ำกว่ามาตรฐาน[1/]
แคดเมียมทั้งหมด (mg/kg)	2.01	ต่ำกว่ามาตรฐาน[1/]	1.55	ต่ำกว่ามาตรฐาน[1/]
นิกเกิลทั้งหมด (mg/kg)	25.56	-	9.30	-
ตะกั่วทั้งหมด (mg/kg)	48.65	ต่ำกว่ามาตรฐาน[1/]	37.06	ต่ำกว่ามาตรฐาน[1/]
สารหนูทั้งหมด (mg/kg)	33.11	ต่ำกว่ามาตรฐาน[1/]	3.64	ต่ำกว่ามาตรฐาน[1/]
ปรอททั้งหมด (mg/kg)	0.45	ต่ำกว่ามาตรฐาน[1/]	0.53	ต่ำกว่ามาตรฐาน[1/]

หมายเหตุ [1/]มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร (ตารางภาคผนวกที่ 1)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. สมบัติทางเคมีบางประการและปริมาณธาตุอาหารของกรดฮิวมิก

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของกรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอนาร์ไดต์ โดยวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง จุลธาตุ และโลหะหนักบางธาตุ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

ผลจากการศึกษา พบว่า มีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 1.05 แสดงว่าเป็นกรดรุนแรง ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในระดับปานกลาง 14.61 เดซิซีเมนต่อเมตร (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกและปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูงได้แก่ 137.71 มิลลิโมลต่อกิโลกรัม และ 35.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าสูงกว่าที่พบในลีโอนาร์ไดต์ ทำให้มีความสามารถในการกักเก็บไอออนบวกได้มากและมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างได้ดี อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 176.20

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.43 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 9.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 518.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 89.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 144.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กำมะถันที่สกัดได้เท่ากับ 585.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เหล็กที่สกัดได้เท่ากับ 763.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทองแดงที่สกัดได้เท่ากับ 0.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมงกานีสที่สกัดได้เท่ากับ 7.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณสังกะสีที่สกัดได้เท่ากับ 4.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด ได้แก่ โครเมียม แคดเมียม นิกเกิล ตะกั่ว สารหนู และปรอท มีปริมาณต่ำกว่าค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร (ตารางภาคผนวกที่ 1) และต่ำกว่าลีโอนาร์ไดต์ แสดงว่ากรดฮิวมิกที่ได้จากลีโอนาร์ไดต์สามารถใช้ในการทำเกษตรกรรมได้ Tan (2003) รายงานว่า กรดฮิวมิกมีความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงช่วยในการดูดซับธาตุอาหารให้แก่รากพืชโดยแลกเปลี่ยนกับ ไฮโดรเจนไอออนที่เกิดจากกระบวนการหายใจของรากพืช มากกว่าเป็นแหล่งธาตุอาหารให้แก่พืช สอดคล้องกับ Daur and Bakhashwain (2013) ที่ได้ศึกษาการใช้กรดฮิวมิกในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยโรยผงกรดฮิวมิกข้างแถวปลูกตั้งแต่เมล็ดเริ่มงอก พบว่า การใช้กรดฮิวมิกช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ผลของการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อสมบัติทางเคมีบางประการและปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการและปริมาณธาตุอาหารของดินในแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของการศึกษาครั้งนี้ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ก่อนทำการปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยว ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-9

3.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) และอินทรียวัตถุ (OM) ของตัวอย่างดินก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว

ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินก่อนปลูก มีค่าอยู่ระหว่าง 5.19-5.67 มีความเป็นกรดปานกลาง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) เป็นช่วงความเป็นกรด-ด่างที่ข้าวโพดสามารถเจริญเติบโตได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2542) ค่าการนำไฟฟ้าของดินขณะอิ่มตัวก่อนปลูกมีค่า 0.03 เดซิซีเมนต่อเมตร ในทุกตำรับการทดลอง แสดงว่า ดินนี้มีค่าความเค็มต่ำ พืชทั่วไปสามารถเจริญเติบโตได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกก่อนปลูกในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 1.60-1.78 มิลลิโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับดินทั่วไป (พัชรี, 2550) ปริมาณอินทรียวัตถุก่อนปลูกไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.72-0.89 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมาก กล่าวได้ว่าดินก่อนปลูกข้าวโพดนี้มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (ตารางที่ 5)

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตพบว่า ความเป็นกรด-ด่างของดิน มีค่าอยู่ระหว่าง 5.73-6.38 และไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบความเป็นกรด-ด่างก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าการนำไฟฟ้าของดินขณะอิ่มตัวหลังเก็บเกี่ยวมีค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.03-0.07 เดซิซีเมนต่อเมตร แสดงว่าดินนี้มีค่าความเค็มต่ำ ไม่แตกต่างจากดินก่อนปลูก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกหลังเก็บเกี่ยวไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 1.84-1.91 มิลลิโมลต่อกิโลกรัม และเมื่อเปรียบเทียบค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ปริมาณอินทรียวัตถุหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.71-0.91 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุก่อนปลูก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากดินที่ใช้ปลูกพืชส่วนใหญ่จะมีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำลงหลังการปลูกพืชและเก็บเกี่ยวผลผลิต (วรสิทธิและปิยะ, 2554) (ตารางที่ 5)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 สมบัติทางเคมีเบื้องต้นและปริมาณธาตุอาหารของดินก่อนการปลูกและหลังเก็บเกี่ยวข้าวโพด

รายการที่วิเคราะห์	ดินก่อนปลูก		ดินหลังเก็บเกี่ยว	
	ค่าวิเคราะห์	ความหมาย	ค่าวิเคราะห์	ความหมาย
ความเป็นกรด-ด่าง	5.45	กรดปานกลาง[1/]	6.07	กรดปานกลาง[1/]
ค่าการนำไฟฟ้า (ds/m)	0.03	ต่ำ[1/]	0.04	ต่ำ[1/]
ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cmol(+)/kg)	1.54	ต่ำ[1/]	1.87	ต่ำ[1/]
อินทรียวัตถุ (%)	0.81	ต่ำ[1/]	0.78	ต่ำ[1/]
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.02	ต่ำ[1/]	0.01	ต่ำ[1/]
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	9.22	ต่ำ[1/]	26.14	สูง[1/]
โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	20.15	ต่ำ[1/]	38.83	ต่ำ[1/]
แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)	69.84	ต่ำ[1/]	181.29	ต่ำ[1/]
แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)	14.12	ต่ำ[1/]	16.83	ต่ำ[1/]
กำมะถันที่สกัดได้ (mg/kg)	<0.05	ต่ำ[1/]	<0.05	ต่ำ[1/]
เหล็กที่สกัดได้ (mg/kg)	20.10	ปานกลาง[1/]	47.91	ปานกลาง[1/]
สังกะสีที่สกัดได้ (mg/kg)	0.53	ต่ำ[1/]	0.74	ต่ำ[1/]
ทองแดงที่สกัดได้ (mg/kg)	0.12	ต่ำ[1/]	0.22	ต่ำ[1/]
แมงกานีสที่สกัดได้ (mg/kg)	21.07	ปานกลาง[1/]	57.35	ปานกลาง[1/]
โครเมียมทั้งหมด (mg/kg)	<0.01	ต่ำกว่ามาตรฐาน[2/]	<0.01	ต่ำกว่ามาตรฐาน[2/]
แคดเมียมทั้งหมด (mg/kg)	0.58	ต่ำกว่ามาตรฐาน[2/]	<0.01	ต่ำกว่ามาตรฐาน[2/]
นิกเกิลทั้งหมด (mg/kg)	<0.01	ต่ำกว่ามาตรฐาน[2/]	<0.01	ต่ำกว่ามาตรฐาน[2/]
ตะกั่วทั้งหมด (mg/kg)	13.55	ต่ำกว่ามาตรฐาน[2/]	28.41	ต่ำกว่ามาตรฐาน[2/]
สารหนูทั้งหมด (mg/kg)	0.32	ต่ำกว่ามาตรฐาน[2/]	0.16	ต่ำกว่ามาตรฐาน[2/]
ปรอททั้งหมด (mg/kg)	0.02	ต่ำกว่ามาตรฐาน[2/]	<0.01	ต่ำกว่ามาตรฐาน[2/]

หมายเหตุ [1/]สมบัติทางเคมีบางประการและปริมาณธาตุอาหารในดินที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช (ตารางภาคผนวกที่ 2)

[2/]มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม (ตารางภาคผนวกที่ 3)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) และอินทรียวัตถุ (OM) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลอง ก่อนปลูก (ก่อน) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)

ตำรับการทดลอง	pH		EC (ds/m)		CEC (cmol/kg)		OM (%)	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
Control	5.19	6.17	0.03	0.03	1.70	1.91	0.72	0.75
NPK 100%	5.23	6.01	0.03	0.04	1.64	1.81	0.75	0.71
NPK 75%	5.43	6.00	0.03	0.05	1.62	1.88	0.87	0.79
NPK 50%	5.67	6.20	0.03	0.05	1.63	1.84	0.78	0.82
HA 50	5.65	6.24	0.03	0.04	1.70	1.84	0.86	0.72
HA 25	5.37	6.12	0.03	0.03	1.63	1.90	0.88	0.77
NPK 100%+HA 50	5.20	5.73	0.03	0.07	1.70	1.88	0.86	0.80
NPK 100%+HA 25	5.65	6.08	0.03	0.03	1.60	1.90	0.81	0.77
NPK 75%+HA 50	5.52	5.92	0.03	0.03	1.72	1.85	0.75	0.77
NPK 75%+HA 25	5.47	6.38	0.03	0.03	1.78	1.83	0.75	0.80
NPK 50%+HA 50	5.55	6.02	0.03	0.04	1.72	1.86	0.89	0.91
NPK 50%+HA 25	5.45	6.00	0.03	0.03	1.72	1.88	0.83	0.79
F-test	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	ns
CV (%)	6.47	5.47	12.92	68.16	4.68	3.34	20.56	18.58

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ของตัวอย่างดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยว

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนปลูกมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01-0.02 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 6) ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) และเมื่อวิเคราะห์ดินในระยะข้าวโพดออกไหมและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ระหว่าง 0.01-0.05 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในระดับต่ำในทุกตำรับการทดลอง รวมทั้งในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ย 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากข้าวโพดใช้ธาตุไนโตรเจนมากกว่าธาตุอื่นๆ และใช้ตลอดฤดูการปลูก (สนิท, 2527)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนปลูกมีค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 8.71-15.08 เปอร์เซ็นต์ เป็นปริมาณที่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) เช่นเดียวกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินในระยะที่ข้าวโพดออกไหมซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 13.86-18.33 เปอร์เซ็นต์ ข้าวโพดจะดูดเอาธาตุฟอสฟอรัสไปใช้ตลอดฤดูการปลูก ในขณะที่ต้นยังเล็กอยู่ข้าวโพดจะต้องการฟอสฟอรัสเป็นจำนวนมาก (สนิท, 2527) และเมื่อวิเคราะห์หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นในตำรับการทดลองที่ได้ใส่ปุ๋ยเคมี เนื่องจากมีการใส่ปุ๋ยเคมี สูตร 16-16-16 ในอัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ เพิ่มให้แก่ข้าวโพดหลังระยะออกไหม แต่พืชสามารถนำฟอสฟอรัสที่ใส่ลงไปมาใช้ได้ประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างฤดูการปลูกส่วนที่เหลือจะสะสมอยู่ในดิน ปุ๋ยนี้จะเปลี่ยนไปเป็นกรดภายใน 6 ชั่วโมงถึง 3 วัน กรดนี้จะทำปฏิกิริยากับแมงกานีส อลูมิเนียม และเหล็กที่อยู่ในดิน จึงทำให้ฟอสฟอรัสถูกตรึงแน่นอยู่กับธาตุเหล่านี้ (สนิท, 2527) นอกจากนี้กรดฮิวมิกมีส่วนช่วยในการปลดปล่อยฟอสฟอรัสให้แก่พืชเนื่องจากกรดฮิวมิกจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับแมงกานีส เหล็ก และสังกะสีแทนที่ฟอสฟอรัส ทำให้ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่นั้นหลุดออกมาทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Tan, 2003) ส่วนในตำรับการทดลองที่ไม่ได้รับปุ๋ยเคมีจะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงเนื่องจากถูกพืชดูดใช้ไปในกิจกรรมการเจริญเติบโตของพืช (ตารางที่ 6)

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูกมีค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 17.40-22.45 เปอร์เซ็นต์ จัดว่ามีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกณฑ์ต่ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) เช่นเดียวกับปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินในระยะที่ข้าวโพดออกไหมซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 19.99-26.36 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้หลังเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ ใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดฮิวมิกในอัตรา 50 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดฮิวมิกในอัตรา 50 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดฮิวมิกในอัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากมีการใส่ปุ๋ยเคมี สูตร 16-16-16 ในอัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ เพิ่มให้แก่ข้าวโพดหลังระยะออกไหม อีกทั้งกรดฮิวมิกที่ใช้ก็มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง และมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูง ทำให้สามารถดูดซับโพแทสเซียมได้มากขึ้น ซึ่งข้าวโพดจะไม่ใช้ธาตุโพแทสเซียมตลอดฤดูการปลูก แต่จะใช้มากที่สุดระหว่าง 2 อาทิตย์ก่อนและหลังที่ข้าวโพดจะออกดอก การดูดธาตุโพแทสเซียมไปใช้จะลดลงหลังจากที่ข้าวโพดออกไหมได้ประมาณ 10-15 วัน (สนิท, 2527) ทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับในดินก่อนปลูก และในระยะออกไหม (ตารางที่ 6)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลอง ก่อนปลูก (ก่อน) ระยะออกไหม (ออกไหม) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)

ตำรับการทดลอง	Total N (%)			Available P (mg/kg)			Exchangeable K (mg/kg)		
	ก่อน	ออกไหม	หลัง	ก่อน	ออกไหม	หลัง	ก่อน	ออกไหม	หลัง
Control	0.01	0.01	0.01	8.71	13.86	10.92 d[1/]	20.76	21.74	22.26 d[1/]
NPK 100%	0.02	0.01	0.01	15.08	18.33	33.77 ab	17.66	19.99	40.92 ab
NPK 75%	0.02	0.02	0.01	13.35	16.77	35.68 a	19.23	26.36	38.32 b
NPK 50%	0.01	0.02	0.01	10.31	14.96	31.65 ab	18.55	24.32	37.75 b
HA 50	0.01	0.01	0.01	11.89	14.21	11.24 d	22.45	21.44	38.88 b
HA 25	0.01	0.02	0.01	11.55	12.64	7.15 d	22.18	21.28	30.05 c
NPK 100%+HA 50	0.02	0.05	0.01	13.23	17.51	36.09 a	21.25	25.13	45.82 a
NPK 100%+HA 25	0.02	0.01	0.01	12.44	17.26	34.93 a	19.09	21.77	43.44 ab
NPK 75%+HA 50	0.01	0.01	0.01	10.74	16.72	33.31 ab	18.26	24.15	43.34 ab
NPK 75%+HA 25	0.02	0.01	0.01	14.02	17.58	31.91 ab	17.40	20.87	45.00 a
NPK 50%+HA 50	0.01	0.02	0.01	14.41	15.12	25.59 bc	22.18	21.07	38.87 b
NPK 50%+HA 25	0.01	0.02	0.01	11.78	15.69	21.44 c	22.77	23.55	41.26 ab
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*
CV (%)	36.66	31.00	34.74	30.11	19.61	43.94	24.01	23.73	18.64

หมายเหตุ * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca and Mg) และกำมะถันที่สกัดได้ (Extractable S) ของตัวอย่างดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยว

แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมีค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง (ตารางที่ 7) และมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น มีค่าอยู่ระหว่าง 43.52-75.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 128.91-166.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 150.57-224.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จัดว่ามีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในเกณฑ์ต่ำ(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554) ซึ่งข้าวโพดดูดเอาธาตุแคลเซียมมาใช้ตั้งแต่ระยะต้นอ่อนไปจนกระทั่งเมล็ดเริ่มแก่ (สนิท, 2527)

ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมีค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 10.89-16.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 13.35-20.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 14.07-20.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จัดว่ามีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในเกณฑ์ต่ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554)

ปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ในดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมีค่าน้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในทุกตำรับการทดลอง (ตารางที่ 7) จัดว่ามีปริมาณกำมะถันที่สกัดได้อยู่ในเกณฑ์ต่ำ (Howeler, 1996) เนื่องจากกำมะถันส่วนใหญ่ในดินจะมีความสัมพันธ์กับอินทรียวัตถุในดิน และมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของกำมะถันจะอยู่ในรูปอินทรีย์ ดังนั้นอินทรียวัตถุจึงเป็นแห่งปฐมภูมิของปริมาณกำมะถันในดิน (พัชรี, 2550) สอดคล้องกับปริมาณอินทรียวัตถุในดินก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตที่มีค่าต่ำเช่นกัน (ตารางที่ 5)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca and Mg) และกำมะถันที่สกัดได้ (Extractable S) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลอง ก่อนปลูก (ก่อน) ระยะออกไหม (ออกไหม) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)

ตำรับการทดลอง	Exchangeable Ca (mg/kg)			Exchangeable Mg (mg/kg)			Extractable S (mg/kg)		
	ก่อน	ออกไหม	หลัง	ก่อน	ออกไหม	หลัง	ก่อน	ออกไหม	หลัง
Control	63.37	131.21	161.06	15.15	17.65	16.09	nd	nd	nd
NPK 100%	55.73	149.76	174.98	10.89	13.35	16.95	nd	nd	nd
NPK 75%	43.52	157.91	173.23	12.50	15.58	15.95	nd	nd	nd
NPK 50%	62.79	128.91	184.76	13.34	17.08	14.29	nd	nd	nd
HA 50	75.79	135.26	172.69	16.54	20.33	20.21	nd	nd	nd
HA 25	52.81	129.29	194.16	14.35	18.83	20.30	nd	nd	nd
NPK 100%+HA 50	54.89	166.53	178.41	13.14	18.59	18.82	nd	nd	nd
NPK 100%+HA 25	57.72	150.43	158.35	14.43	18.38	15.37	nd	nd	nd
NPK 75%+HA 50	59.56	134.40	192.51	12.31	16.13	15.76	nd	nd	nd
NPK 75%+HA 25	67.98	144.20	210.33	13.14	16.47	14.09	nd	nd	nd
NPK 50%+HA 50	67.59	143.27	224.43	14.33	19.11	20.02	nd	nd	nd
NPK 50%+HA 25	59.78	135.40	150.57	13.12	15.85	14.07	nd	nd	nd
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-
CV (%)	25.71	26.82	27.40	26.34	28.25	26.51	-	-	-

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

nd ไม่สามารถหาค่าได้ (not detectable)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.4 ปริมาณเหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Fe, Zn, Cu and Mn) ของตัวอย่างดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยว

ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมีค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง ซึ่งในระยะออกไหมและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่าดินก่อนปลูกเล็กน้อย มีค่าอยู่ระหว่าง 15.25-24.86 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 26.81-36.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 39.27-56.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 8) จัดว่ามีปริมาณเหล็กที่สกัดได้อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง (Howeler, 1996)

ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมีค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง ซึ่งปริมาณสังกะสีที่สกัดได้หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่าดินก่อนปลูกเล็กน้อย มีค่าอยู่ระหว่าง 0.44-0.70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 0.31-0.56 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 0.63-0.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 8) จัดว่ามีปริมาณสังกะสีที่สกัดได้อยู่ในเกณฑ์ต่ำ (Howeler, 1996))

ปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมีค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง ซึ่งปริมาณทองแดงที่สกัดได้หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่าดินก่อนปลูกเล็กน้อย มีค่าอยู่ระหว่าง 0.07-0.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 0.16-0.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 9) จัดว่ามีปริมาณทองแดงที่สกัดได้อยู่ในเกณฑ์ต่ำ (Howeler, 1996)

ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมีค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง ซึ่งปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้หลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่าดินก่อนปลูก มีค่าอยู่ระหว่าง 16.14-25.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 27.37-37.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 51.21-65.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 9) จัดว่ามีปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง (Howeler, 1996)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 ปริมาณเหล็กและสังกะสีที่สกัดได้ (Extractable Fe and Zn) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลอง ก่อนปลูก (ก่อน) ระยะออกไหม (ออกไหม) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)

ตำรับการทดลอง	Extractable Fe (mg/kg)			Extractable Zn (mg/kg)		
	ก่อน	ออกไหม	หลัง	ก่อน	ออกไหม	หลัง
Control	20.55	31.73	45.84	0.44	0.40	0.63
NPK 100%	20.52	35.65	50.81	0.44	0.42	0.76
NPK 75%	18.74	36.18	48.07	0.53	0.42	0.75
NPK 50%	17.26	32.29	44.62	0.51	0.35	0.73
HA 50	19.74	29.00	39.27	0.70	0.55	0.70
HA 25	15.25	26.81	44.29	0.64	0.42	0.78
NPK 100%+HA 50	21.33	35.26	49.10	0.47	0.35	0.72
NPK 100%+HA 25	21.09	30.68	56.70	0.56	0.56	0.75
NPK 75%+HA 50	20.98	34.20	50.61	0.52	0.40	0.73
NPK 75%+HA 25	17.74	29.42	40.67	0.50	0.36	0.78
NPK 50%+HA 50	23.13	34.56	52.96	0.53	0.50	0.79
NPK 50%+HA 25	24.86	30.88	51.94	0.57	0.31	0.74
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	23.02	20.43	22.02	50.44	49.74	18.33

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 ปริมาณทองแดงและแมงกานีสที่สกัดได้ (Extractable Cu and Mn) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลอง ก่อนปลูก (ก่อน) ระยะออกไหม (ออกไหม) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)

ตำรับการทดลอง	Extractable Cu (mg/kg)			Extractable Mn (mg/kg)		
	ก่อน	ออกไหม	หลัง	ก่อน	ออกไหม	หลัง
Control	0.07	nd	0.17	19.29	29.45	52.76
NPK 100%	0.10	nd	0.18	21.57	34.54	60.28
NPK 75%	0.12	nd	0.16	18.13	32.29	53.90
NPK 50%	0.12	nd	0.20	16.14	33.38	51.21
HA 50	0.13	nd	0.22	25.87	36.78	52.26
HA 25	0.13	nd	0.20	20.30	27.37	48.51
NPK 100%+HA 50	0.18	nd	0.35	23.33	37.00	65.34
NPK 100%+HA 25	0.11	nd	0.16	23.47	35.86	63.62
NPK 75%+HA 50	0.10	nd	0.26	22.84	33.46	63.66
NPK 75%+HA 25	0.12	nd	0.24	22.55	36.39	65.72
NPK 50%+HA 50	0.12	nd	0.32	21.57	34.87	56.88
NPK 50%+HA 25	0.17	nd	0.22	20.29	28.00	54.07
F-test	ns	-	ns	ns	ns	ns
CV (%)	56.37	-	50.57	33.35	28.74	25.83

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

nd ไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าได้ (not detectable)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.5 ปริมาณโลหะหนักในดินก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว

ปริมาณโครเมียม แคดเมียม นิกเกิล ตะกั่ว สารหนู และปรอท ในดินก่อนปลูก และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต มีปริมาณไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม (ตารางที่ 10, 11) สามารถกล่าวได้ว่าการใช้กรดฮิวมิกในการปลูกข้าวโพดไม่ได้ทำให้มีปริมาณโลหะหลักในดินเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 10 ปริมาณโครเมียม แคดเมียม และนิกเกิลทั้งหมด (Total Cr, Cd and Ni) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลอง ก่อนปลูก (ก่อน) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)

ตำรับการทดลอง	Total Cr (mg/kg)		Total Cd (mg/kg)		Total Ni (mg/kg)	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
Control	nd	nd	0.17	nd	0.10	nd
NPK 100%	nd	nd	0.08	nd	0.48	nd
NPK 75%	nd	nd	1.90	nd	0.88	nd
NPK 50%	nd	nd	0.13	nd	0.09	nd
HA 50	nd	nd	0.76	nd	0.93	nd
HA 25	nd	nd	2.33	nd	0.39	nd
NPK 100%+HA 50	nd	nd	0.17	nd	1.47	nd
NPK 100%+HA 25	nd	nd	0.62	nd	0.14	nd
NPK 75%+HA 50	nd	nd	0.24	nd	0.12	nd
NPK 75%+HA 25	nd	nd	0.26	nd	1.76	nd
NPK 50%+HA 50	nd	nd	0.16	nd	1.13	nd
NPK 50%+HA 25	nd	nd	0.12	nd	0.00	nd
F-test	-	-	ns	-	ns	-
CV (%)	-	-	269.97	-	186.51	-

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

nd ไม่สามารถหาค่าได้ (not detectable)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 ปริมาณตะกั่ว สารหนู และปรอททั้งหมด (Total Pb, As and Hg) ของตัวอย่างดินจากแต่ละตำรับการทดลอง ก่อนปลูก (ก่อน) และหลังเก็บเกี่ยว (หลัง)

ตำรับการทดลอง	Total Pb (mg/kg)		Total As (mg/kg)		Total Hg (mg/kg)	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
Control	10.58	25.87	0.27	0.12	0.01	nd
NPK 100%	12.69	26.30	0.28	0.12	0.01	nd
NPK 75%	13.39	28.01	0.32	0.15	0.03	nd
NPK 50%	12.21	31.23	0.30	0.16	0.01	nd
HA 50	14.73	24.52	0.34	0.19	0.02	nd
HA 25	13.66	30.74	0.35	0.13	0.01	nd
NPK 100%+HA 50	15.60	29.37	0.39	0.23	0.01	nd
NPK 100%+HA 25	12.28	20.72	0.31	0.12	0.01	nd
NPK 75%+HA 50	13.04	29.44	0.31	0.17	0.00	nd
NPK 75%+HA 25	15.20	32.84	0.30	0.17	0.01	nd
NPK 50%+HA 50	15.29	31.37	0.36	0.21	0.00	nd
NPK 50%+HA 25	14.01	30.54	0.30	0.15	0.07	nd
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	-
CV (%)	40.04	30.98	22.84	48.32	252.60	-

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

nd ไม่สามารถหาค่าได้ (not detectable)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบข้าวโพดในระยะออกไหม

4.1 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด (Total N, P and K) ในใบข้าวโพดในระยะออกไหม

ผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนในใบรองฝักข้าวโพด ในระยะที่ข้าวโพดเริ่มออกไหมได้แสดงไว้ในตารางที่ 12 พบว่า ในตำรับการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ย 100 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด รองลงมาคือ ใส่ปุ๋ย 100 เปอร์เซ็นต์ ใส่ปุ๋ยร่วมกับกรดฮิวมิกในอัตราต่างๆ ใส่ปุ๋ย 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว ใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว และตำรับการทดลองควบคุม ตามลำดับ แต่ปริมาณไนโตรเจนในทุกตำรับการทดลองนี้จัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช

เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนในตำรับการทดลองที่มีการใส่กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีและใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว พบว่า ปริมาณไนโตรเจนมีแนวโน้มสูงกว่าตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอย่างเดียว เนื่องจากรอบโครงสร้างของกรดฮิวมิกสามารถจับกับกรดอะมิโนและตรึงไนโตรเจนไว้ได้ (NH_3-N) และเมื่อกรดฮิวมิกมีการสลายตัวก็จะปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ให้แก่พืช (Tan, 2003) สอดคล้องกับ Palanivell และคณะ (2013) ที่ศึกษากรดฮิวมิกที่หมักจากขี้เลื่อยผสมกับกากน้ำตาล ยูเรีย และหินฟอสเฟต ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด พบว่า กรดฮิวมิกช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต น้ำหนักแห้ง อีกทั้งช่วยในการดูดซึมธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับกรดฮิวมิก เช่นเดียวกับ Haghighi และคณะ (2014) ได้ศึกษาการใช้กรดฮิวมิก ร่วมกับสารละลายปุ๋ยในการปลูกเยอบีร่าแบบไร้ดิน พบว่า การใช้กรดฮิวมิกร่วมกับสารละลายธาตุอาหารพืชที่ลดลงครึ่งหนึ่งจากอัตราปกติ ทำให้น้ำหนักสดต่อน้ำหนักแห้งของยอดต่อรากและจำนวนดอก มีค่าใกล้เคียงกับการใช้สารละลายธาตุอาหารพืชอัตราปกติ อีกทั้งยังมีปริมาณไนโตรเจนในใบและรากมากกว่าการใช้สารละลายธาตุอาหารพืชในอัตราปกติเพียงอย่างเดียว กล่าวคือกรดฮิวมิกสามารถช่วยทดแทนปริมาณไนโตรเจนเมื่อมีการลดปุ๋ยได้ในระดับหนึ่ง และมีรายงานในการศึกษาผลของสารประกอบจากกากของเสียจากอุตสาหกรรมการเกษตรต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุไนโตรเจนในข้าวโพด พบว่า กรดฮิวมิกช่วยเพิ่มกระบวนการเมแทบอลิซึมของไนโตรเจน การเจริญเติบโตและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวโพดอีกด้วย (Ertani *et al*., 2012)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณฟอสฟอรัสในใบข้าวโพด พบว่า มีปริมาณไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.14-0.32 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 12) โดยเฉลี่ยแล้วอยู่ในเกณฑ์พอเพียงจนถึงต่ำ (ศรีสม, 2547) เมื่อพิจารณาปริมาณฟอสฟอรัสในตำรับการทดลองที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยเคมี พบว่า มีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมี ซึ่งจะสอดคล้องกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ในระยะข้าวโพดออกไหม (ตารางที่ 4) ซึ่งระยะที่ข้าวโพดใช้ฟอสฟอรัสมากที่สุด คือ ระยะ 3-6 สัปดาห์หลังจากปลูก หรือเมื่อข้าวโพดสูงประมาณ 50 เซนติเมตรขึ้นไปจนกระทั่งถึงระยะออกช่อ (สนิท, 2527)

ปริมาณโพแทสเซียมในใบข้าวโพด พบว่า มีปริมาณไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 1.49-2.17 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 12) โดยจัดอยู่ในเกณฑ์พอเพียง (ศรีสม, 2547) ซึ่งข้าวโพดจะไม่ใช้ธาตุโพแทสเซียมตลอดฤดูการปลูก แต่จะใช้มากที่สุดระหว่าง 2 สัปดาห์ก่อนและหลังที่ข้าวโพดจะออกดอก และจะลดลงหลังจากที่ข้าวโพดออกไหมได้ประมาณ 10-15 วัน โพแทสเซียมที่ข้าวโพดดูดเข้าไปกระจายอยู่ตามส่วนต่างๆ ของลำต้น และฝัก (สนิท, 2527) เมื่อพิจารณาปริมาณโพแทสเซียมในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับกรดฮิวมิก พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตำรับการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและกรดฮิวมิก ซึ่งจะสอดคล้องกับปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ในระยะข้าวโพดออกไหม (ตารางที่ 6)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด (Total N, P and K) ในใบข้าวโพดในระยะออกไหมในแต่ละตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	ปริมาณธาตุอาหารหลักในใบข้าวโพด (%)		
	Total N	Total P	Total K
Control	1.40 bc[1/]	0.16	1.49
NPK 100%	1.85 ab	0.30	1.85
NPK 75%	1.55 bc	0.22	1.71
NPK 50%	1.38 bc	0.30	1.51
HA 50	1.60 bc	0.14	1.66
HA 25	1.25 b	0.15	1.53
NPK 100%+HA 50	2.29 a	0.32	2.17
NPK 100%+HA 25	1.80 b	0.26	2.12
NPK 75%+HA 50	1.63 bc	0.20	1.67
NPK 75%+HA 25	1.70 bc	0.26	1.70
NPK 50%+HA 50	1.56 bc	0.18	1.72
NPK 50%+HA 25	1.40 bc	0.19	1.60
F-test	*	ns	ns
CV (%)	24.73	44.71	22.54

หมายเหตุ * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2 ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันทั้งหมด (Total Ca, Mg and S) ในใบข้าวโพดในระยะออกไหม

ปริมาณแคลเซียมในใบข้าวโพด พบว่า มีปริมาณไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.26-0.42 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 13) โดยจัดอยู่ในเกณฑ์พอเพียง (ศรีสม, 2547) เป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดมาก ข้าวโพดดูดเอาธาตุแคลเซียมมาใช้ตั้งแต่ระยะต้นอ่อนไปจนกระทั่งเมล็ดเริ่มแก่ก็จะหยุด แคลเซียมที่ดูดมาใช้จะอยู่ตามส่วนต่างๆ ของใบ (สนิท, 2527) เมื่อพิจารณาปริมาณแคลเซียมในตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับกรดฮิวมิก พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และไม่ใส่ทั้งปุ๋ยเคมีและกรดฮิวมิก

ปริมาณแมกนีเซียมในใบข้าวโพด พบว่า มีปริมาณไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.10-0.12 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 13) โดยจัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ (ศรีสม, 2547) อาการขาดแมกนีเซียมในข้าวโพดจะพบที่ในใบแก่ก่อนโดยปรากฏสีเหลืองเป็นทางยาวระหว่างมัดท่อลำเลียง หลังจากนั้นอาการดังกล่าวก็จะลามไปยังใบอ่อน (สนิท, 2527) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต (ตารางที่ 7) พบว่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำเช่นเดียวกัน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2554)

ปริมาณกำมะถันในใบข้าวโพด พบว่า มีปริมาณไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.06-0.12 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 13) โดยจัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ (ศรีสม, 2547) ข้าวโพดต้องการกำมะถันน้อยมาก กำมะถันช่วยทำให้ข้าวโพดเจริญเติบโตรวดเร็ว แก่เร็วและทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น อาการขาดธาตุนี้จะพบในดินที่เป็นกรด มีอินทรียวัตถุต่ำ อากาศเย็นและดินเปียกจะทำให้กำมะถันสลายตัวออกมาได้น้อย (สนิท, 2527) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ในดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต (ตารางที่ 7) พบว่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำเช่นเดียวกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันทั้งหมด (Total Ca, Mg and S) ในใบข้าวโพดในระยะออกไหมในแต่ละตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	ปริมาณธาตุอาหารรองในใบข้าวโพด (%)		
	Total Ca	Total Mg	Total S
Control	0.27	0.11	0.08
NPK 100%	0.39	0.11	0.08
NPK 75%	0.35	0.12	0.06
NPK 50%	0.39	0.12	0.09
HA 50	0.30	0.11	0.12
HA 25	0.26	0.12	0.12
NPK 100%+HA 50	0.42	0.12	0.11
NPK 100%+HA 25	0.39	0.11	0.09
NPK 75%+HA 50	0.39	0.10	0.09
NPK 75%+HA 25	0.39	0.12	0.09
NPK 50%+HA 50	0.41	0.12	0.07
NPK 50%+HA 25	0.31	0.10	0.08
F-test	ns	ns	ns
CV (%)	25.74	22.33	51.03

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3 ปริมาณเหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีสทั้งหมด (Total Fe, Zn, Cu and Mn) ในใบข้าวโพดในระยะออกไหม

ปริมาณเหล็กในใบข้าวโพด พบว่า มีปริมาณไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 114.51-172.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 14) โดยจัดอยู่ในเกณฑ์พอเพียง (ศรีสม, 2547) ข้าวโพดต้องการธาตุนี้น้อยมาก ซึ่งในดินส่วนใหญ่ก็จะมีเหล็กอยู่มาก โดยเฉพาะในดินที่เป็นกรดจะมีธาตุนี้อยู่มาก (สนิท, 2527) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณเหล็กที่สกัดได้ในดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต (ตารางที่ 8) พบว่าอยู่ในเกณฑ์ปานกลางเพียงพอต่อความต้องการของพืช

ปริมาณสังกะสีในใบข้าวโพด พบว่า มีปริมาณไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 7.79-15.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 14) โดยจัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ (ศรีสม, 2547) อาการขาดธาตุนี้จะพบในดินที่เป็นด่างมีความเป็นกรดด่างสูง มีฟอสฟอรัสอยู่ในดินมาก อากาศเย็นและดินเปียก (สนิท, 2527) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ในดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต (ตารางที่ 8) พบว่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำเช่นเดียวกัน

ปริมาณทองแดงในใบข้าวโพด พบว่า มีปริมาณไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 3.53-6.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 14) โดยจัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ (ศรีสม, 2547) พบอาการขาดในดินที่มีอินทรียวัตถุสูง ดินที่มีแคลเซียมมากหรือใส่ปูนขาวมากเกินไป และในดินทรายที่เป็นกรด (สนิท, 2527) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณทองแดงที่สกัดได้ในดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต (ตารางที่ 9) พบว่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำเช่นเดียวกัน

ปริมาณแมงกานีสในใบข้าวโพด พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณแมงกานีสสูงที่สุด 240.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ ใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว ใส่ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกรดฮิวมิก ใส่ปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกรดฮิวมิก ใส่ปุ๋ยเคมี 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์ เพียงอย่างเดียว ใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียวและตำรับการทดลองควบคุมตามลำดับ (ตารางที่ 14) เนื่องจากกรดฮิวมิกสามารถดูดซับธาตุโลหะ เช่น เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ได้ (ปิยะ, 2553) ปริมาณแมงกานีสในทุกตำรับการทดลองจัดอยู่ในเกณฑ์พอเพียง (ศรีสม, 2547) ซึ่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินก่อนปลูก ระยะออกไหม และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต (ตารางที่ 9) พบว่าอยู่ในเกณฑ์ปานกลางเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 14 ปริมาณเหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีสทั้งหมด (Total Fe, Zn, Cu and Mn) ในใบข้าวโพดในระยะออกไหมในแต่ละตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	ปริมาณจุลธาตุในใบข้าวโพด (mg/kg)			
	Total Fe	Total Zn	Total Cu	Total Mn
Control	119.07	7.79	3.87	68.46 de[1/]
NPK 100%	122.96	15.25	6.15	164.57 abc
NPK 75%	114.51	15.41	5.19	104.27 cde
NPK 50%	140.62	8.85	4.06	83.86 cde
HA 50	156.90	11.97	4.46	70.60 de
HA 25	172.36	9.12	3.53	38.77 e
NPK 100%+HA 50	163.14	18.83	7.05	240.69 a
NPK 100%+HA 25	135.24	10.10	5.66	188.87 ab
NPK 75%+HA 50	134.47	9.47	4.60	139.61 bcd
NPK 75%+HA 25	129.98	13.96	5.94	126.67 bcd
NPK 50%+HA 50	137.72	11.07	4.70	86.34 cde
NPK 50%+HA 25	118.06	7.94	4.03	75.75 de
F-test	ns	ns	ns	*
CV (%)	20.92	55.44	35.31	64.12

หมายเหตุ * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. ผลของการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

5.1 ความสูงต้น

ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ หรือมีการเจริญเติบโตในด้านความสูงของลำต้นตั้งแต่เมล็ดเริ่มงอกจนถึง 45-55 วัน และสูงที่สุดที่ 90 วันตั้งแต่ปลูก (ราเชนทร์, 2539) ผลการศึกษาความสูงต้นข้าวโพดที่อายุ 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน ในแต่ละตำรับการทดลอง พบว่า มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาความสูงต้นข้าวโพดที่อายุ 90 วัน พบว่า การใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมี และการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวในทุกตำรับการทดลอง มีความสูงต้นตั้งแต่ 167.85-192.33 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าตำรับการทดลองที่ใช้กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียวและตำรับการทดลองควบคุม เมื่อพิจารณาตำรับการทดลองที่ใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีความสูงต้นอยู่ในระดับเดียวกับการใช้ปุ๋ย 100 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว อีกทั้งการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าความสูงต้นข้าวโพดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 15)

5.2 ความสูงคอใบสุดท้าย

ความสูงคอใบสุดท้ายของต้นข้าวโพดที่อายุ 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน ในแต่ละตำรับการทดลอง พบว่า มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาความสูงคอใบสุดท้ายที่อายุ 90 วัน พบว่า การใช้กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่กับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความสูงคอใบสุดท้ายสูงที่สุด เมื่อพิจารณาตำรับการทดลองที่ใช้กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์ และกรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีความสูงคอใบสุดท้ายอยู่ในระดับเดียวกับการใช้ปุ๋ย 100 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว อีกทั้งการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าความสูงคอใบสุดท้ายของข้าวโพดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 16)

5.3 ค่าความเขียวของใบ

ค่าความเขียวของใบข้าวโพดที่อายุ 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน ในตำแหน่งใบที่ 3-4 จากปลายยอด ในแต่ละตำรับการทดลอง พบว่า มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาค่าความ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เขียวของใบข้าวโพดที่อายุ 90 วัน พบว่า การใช้กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่กับปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเขียวของใบสูงที่สุดและสูงกว่าตำรับการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาตำรับการทดลองที่ใช้กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์ และกรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีค่าความเขียวของใบอยู่ในระดับเดียวกับการใช้ปุ๋ย 100 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว อีกทั้งการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าความเขียวของใบข้าวโพดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 17)

อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงต้นในวันที่ 45, 60, 75 และ 90 วัน มีค่าไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีอัตราการเติบโตสูงสุดที่อายุ 60 วัน ในทุกตำรับการทดลอง ซึ่งอยู่ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ และอัตราการเติบโตสัมพัทธ์จะเริ่มลดลงที่อายุ 75 และ 90 วัน เนื่องจากข้าวโพดเริ่มเข้าสู่ระยะออกดอก และระยะการสะสมน้ำหนักเมล็ดตามลำดับ (ภาพที่ 2) (ราเชนทร์, 2539)

อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงคอใบสุดท้ายมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงต้น (ภาพที่ 3) ดังนี้ อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงคอใบสุดท้ายในวันที่ 45 มีค่าสูงสุดในตำรับการทดลองที่ใช้กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงคอใบสุดท้ายในวันที่ 60 มีค่าสูงสุดในตำรับการทดลองที่ใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมี แต่อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงคอใบสุดท้ายในวันที่ 75 ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง ส่วนอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงคอใบสุดท้ายในวันที่ 90 มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับข้าวโพดที่อายุ 45, 60 และ 75 วัน ซึ่งจะมีค่าสูงสุดในตำรับการทดลองที่ใช้กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ และเมื่อพิจารณาข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน กับอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของข้าวโพดพบว่า อุณหภูมิในช่วงที่ปลูกข้าวโพดต่ำสุด 16 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดเล็กน้อย ส่วนอุณหภูมิสูงสุด 36 องศาเซลเซียส ข้าวโพดสามารถเจริญเติบโตได้ และค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 73.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าต่ำ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการให้น้ำตลอดฤดูปลูก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 15 ความสูงต้นข้าวโพดที่อายุ 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน ในแต่ละตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	ความสูงต้นข้าวโพด (เซนติเมตร)				
	30 วัน	45 วัน	60 วัน	75 วัน	90 วัน
Control	65.58 cd[1/]	79.80 cd[1/]	97.53 c[1/]	123.13 b[1/]	128.33 b[1/]
NPK 100%	78.55 abc	102.05 ab	143.90 ab	186.00 a	190.88 a
NPK 75%	78.60 abc	101.43 ab	138.58 ab	174.53 a	177.60 a
NPK 50%	81.50 ab	104.10 ab	137.75 ab	170.13 a	170.83 a
HA 50	57.08 d	68.88 d	87.30 c	105.35 b	113.55 b
HA 25	60.18 d	74.03 d	90.05 c	105.20 b	109.80 b
NPK 100%+HA 50	70.23 bcd	95.30 bc	133.70 ab	170.23 a	177.88 a
NPK 100%+HA 25	79.03 abc	102.63 ab	136.38 ab	175.10 a	182.75 a
NPK 75%+HA 50	87.18 a	115.10 a	154.10 a	189.65 a	192.33 a
NPK 75%+HA 25	74.80 abc	100.15 ab	136.00 ab	176.78 a	180.15 a
NPK 50%+HA 50	80.15 abc	104.85 ab	140.10 ab	172.35 a	174.03 a
NPK 50%+HA 25	74.73 abc	96.20 bc	130.13 b	163.95 a	167.85 a
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	16.51	18.16	20.32	21.19	19.83

หมายเหตุ * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 ความสูงคอใบสุดท้ายที่อายุ 30 45 60 75 และ 90 วัน ในแต่ละตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	ความสูงคอใบสุดท้าย (เซนติเมตร)				
	30 วัน	45 วัน	60 วัน	75 วัน	90 วัน
Control	15.40 cd[1/]	16.98 bcd[1/]	31.65 c[1/]	89.03 c[1/]	98.98 c[1/]
NPK 100%	19.35 abc	25.30 a	60.53 ab	138.30 ab	153.40 ab
NPK 75%	19.15 abc	23.75 ab	56.83 ab	132.10 ab	141.88 ab
NPK 50%	20.05 ab	25.60 a	59.80 ab	133.48 ab	135.83 b
HA 50	13.50 d	14.68 d	26.70 c	67.18 c	88.33 c
HA 25	15.40 cd	15.90 cd	28.28 c	73.70 c	87.23 c
NPK 100%+HA 50	17.20 bcd	23.13 ab	54.25 ab	115.73 b	138.38 ab
NPK 100%+HA 25	19.45 ab	25.33 a	60.48 ab	135.00 ab	143.98 ab
NPK 75%+HA 50	21.83 a	29.73 a	74.23 a	151.30 a	156.10 a
NPK 75%+HA 25	18.55 abc	23.53 ab	56.65 ab	134 58 ab	142.90 ab
NPK 50%+HA 50	19.60 ab	25.30 a	58.10 ab	135.00 ab	137.80 ab
NPK 50%+HA 25	18.13 abc	22.42 abc	51.73 b	126.35 ab	135.68 b
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	17.66	27.40	35.71	26.76	20.17

หมายเหตุ * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 ค่าความเขียวของใบ (SPAD index) ข้าวโพดที่อายุ 30 45 60 75 และ 90 วัน ในแต่ละตำรับการทดลอง

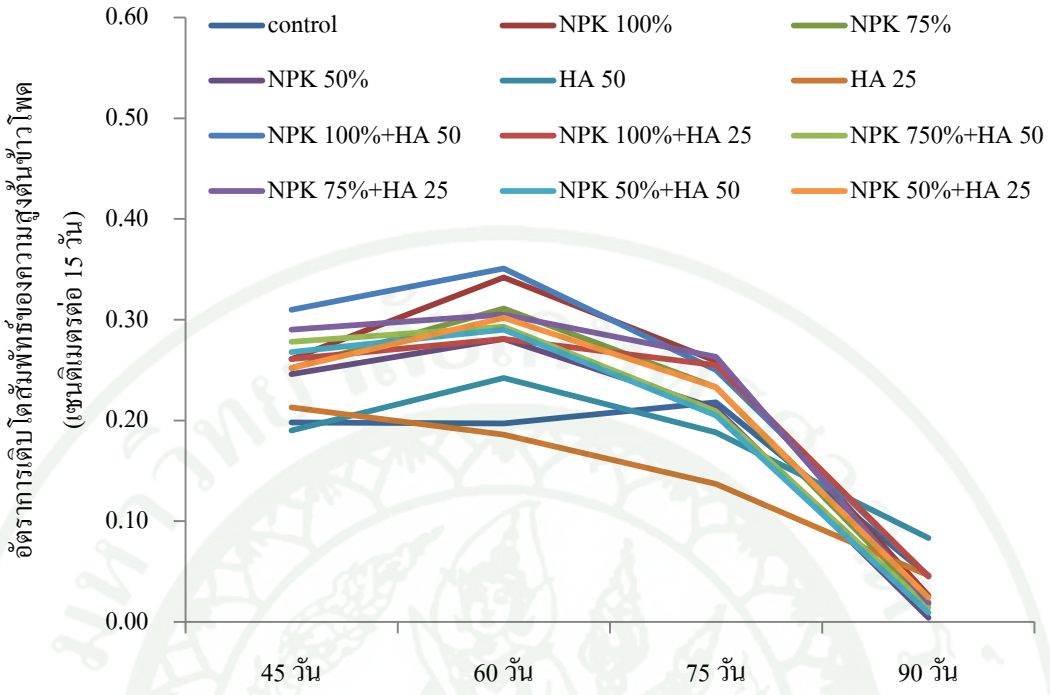
ตำรับการทดลอง	ค่าความเขียว (SPAD index)				
	30 วัน	45 วัน	60 วัน	75 วัน	90 วัน
Control	35.70 abc[1/]	29.88 bcd[1/]	31.70 cd[1/]	23.88 cd[1/]	29.45 bcd[1/]
NPK 100%	29.58 e	33.70 ab	37.70 abc	33.53 ab	39.85 a
NPK 75%	32.23 bcde	35.93 a	39.78 a	27.53 bcd	36.38 a
NPK 50%	38.00 a	35.10 a	40.43 a	28.18 bcd	34.55 abc
HA 50	33.68 abcde	28.13 cd	32.30 bcd	23.38 cd	28.05 cd
HA 25	31.20 cde	25.58 d	28.80 d	20.25 d	26.38 d
NPK 100%+HA 50	32.13 bcde	32.75 abc	39.23 ab	36.15 a	40.68 a
NPK 100%+HA 25	30.95 de	33.03 ab	38.18 abc	31.25 abc	39.10 a
NPK 75%+HA 50	35.28 abcd	35.90 a	40.10 a	28.03 bcd	38.15 a
NPK 75%+HA 25	33.10 bcde	34.15 ab	40.35 a	30.70 abc	37.65 a
NPK 50%+HA 50	36.08 ab	35.33 a	42.58 a	28.93 abc	35.83 ab
NPK 50%+HA 25	33.33 bcde	34.08 ab	39.00 ab	24.58 cd	33.80 abc
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	10.44	12.67	14.67	21.79	17.05

หมายเหตุ * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

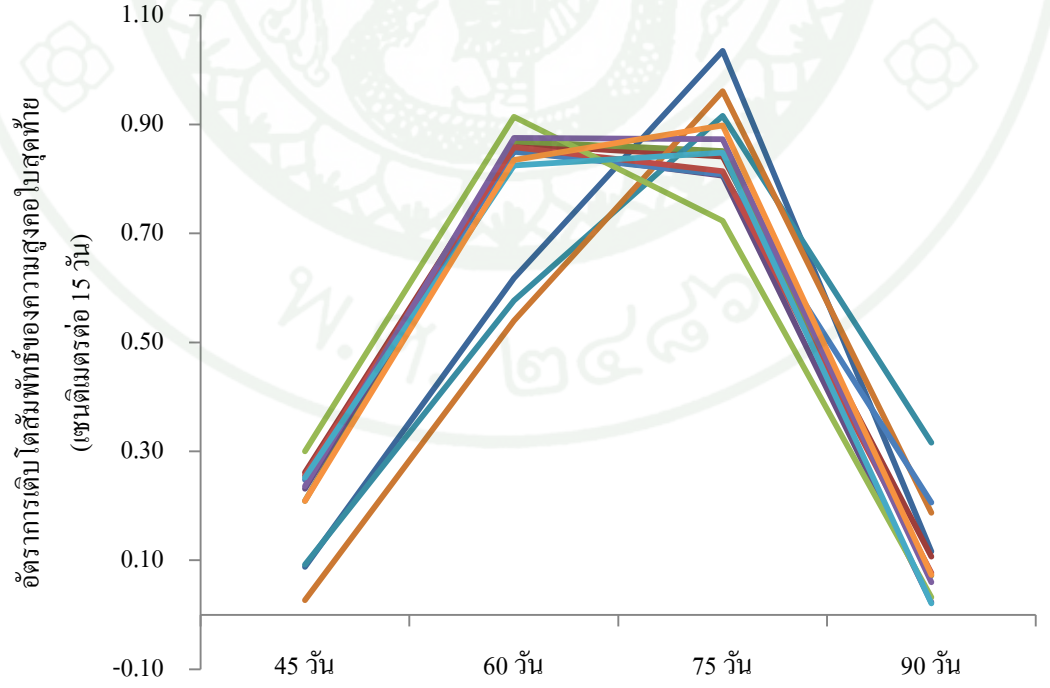
ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงต้นข้าวโพด



ภาพที่ 3 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงคอใบสุดท้าย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการศึกษาความสูงต้นข้าวโพด ความสูงคอใบสุดท้ายและค่าความเขียวของใบ พบว่าทั้ง 3 ค่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ การใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมี ในทุกตำรับการทดลองมีค่าความสูงต้นข้าวโพด ความสูงคอใบสุดท้ายและค่าความเขียวของใบสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ทั้ง 4 ตำรับการทดลองมีค่าความสูงต้นข้าวโพด ความสูงคอใบสุดท้ายและค่าความเขียวของใบเทียบเท่าการใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียวและมีแนวโน้มมากขึ้นกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์ เพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนในใบระยะออกไหม ในตำรับการทดลองที่ใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือ รอบโครงสร้างของกรดฮิวมิกสามารถจับกับกรดอะมิโนและตรึงไนโตรเจนไว้ได้ (NH_3-N) และเมื่อกรดฮิวมิกมีการสลายตัวก็จะปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ให้แก่พืช (Tan, 2003) ซึ่งไนโตรเจนมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดมาก เนื่องจากไนโตรเจนจะช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช เช่น กระบวนการเมแทบอลิซึม โดยไนเตรท (รูปของไนโตรเจนที่พืชดูดใช้) สามารถเหนี่ยวนำให้ยีนทำหน้าที่ควบคุมการสร้างโปรตีนชนิดต่างๆ ได้แก่ พาหะขนส่งไนเทรต (nitrate transporters) เอนไซม์ไนเทรตรีดักเทส และไนไทรต์รีดักเทส นอกจากนี้ไนเทรตยังเหนี่ยวนำให้ยีนเข้าควบคุมการสร้างโปรตีนที่เร่งปฏิกิริยารีดักชัน เช่น เฟอร์รีดอกซิน เอนไซม์ใน pentose phosphate pathway และ ไกลโคไลซิส เพื่อเปลี่ยนการสังเคราะห์แป้งและน้ำตาลมาสู่การสังเคราะห์กรดอินทรีย์ (ยงยุทธ, 2552) นอกจากนี้ไนโตรเจนยังเป็นองค์ประกอบภายในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ เมื่อมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น พืชจึงมีค่าความเขียวของใบเพิ่มมากขึ้น ส่งเสริมการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตของพืชได้มากขึ้น อาจกล่าวได้ว่ากรดฮิวมิกมีส่วนช่วยในการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ให้แก่พืช (Schnitzer and Khan, 1972) สอดคล้องกับ ผลของสารประกอบจากกากของเสียจากอุตสาหกรรมการเกษตรต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุไนโตรเจนในข้าวโพด พบว่า สารประกอบช่วยเพิ่มกระบวนการเมแทบอลิซึมของไนโตรเจน การเจริญเติบโตและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวโพดอีกด้วย (Ertani *et al*., 2012) นอกจากนี้ Palanivell และคณะ (2013) ได้ศึกษากรดฮิวมิกที่หมักจากขี้เลื่อยผสมกับกากน้ำตาล ยูเรีย และหินฟอสเฟต ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด พบว่า กรดฮิวมิกช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต น้ำหนักแห้ง อีกทั้งช่วยในการดูดซึมธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม เช่นเดียวกับการใช้กรดฮิวมิกในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยโรยข้างแถวปลูกแต่แต่เมล็ดเริ่มงอก พบว่า การใช้สารประกอบฮิวมิกช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตในด้านความสูง จำนวนใบ พื้นที่ใบ น้ำหนักแห้ง และปริมาณผลผลิตได้มากขึ้น (Daur and Bakhashwain, 2013)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ทั้ง 4 ตำรับการทดลองมีค่าความสูงต้นข้าวโพด ความสูงคอใบสุดท้ายและค่าความเขียวของใบเทียบเท่าการใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์และมีแนวโน้มมากขึ้นกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์ เพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับปริมาณแมงกานีสในใบระยะออกไหมเช่นเดียวกัน ซึ่งแมงกานีสมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น 1. มีพันธะเคมีกับออกซิเจนในองค์ประกอบของสารอินทรีย์ 2. ร่วมอยู่ในโครงสร้างของโปรตีนที่เป็นศูนย์ปฏิกิริยาของระบบแสง II 3. เป็นตัวเร่งการทำงานหรือเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C_4 (ยงยุทธ, 2552) อีกทั้งกรดฮิวมิกสามารถดูดซับธาตุโลหะ เช่น เหล็ก แมงกานีส สังกะสีได้ (ปิยะ, 2553) จึงทำให้ข้าวโพดมีค่าความสูงต้น ความสูงคอใบสุดท้าย และค่าความเขียวในตำรับการทดลองที่ใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์เทียบเท่าการใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์และมีแนวโน้มมากขึ้นกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์ เพียงอย่างเดียว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. ผลของการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

6.1 จำนวนฝักต่อต้น

การใช้กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 100 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ให้จำนวนฝักต่อต้นสูงสุดเช่นเดียวกับการใช้กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ และการใช้ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ทั้ง 4 ตำรับการทดลองมีจำนวนฝักต่อต้นเทียบเท่าการใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์ เพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 4)

6.2 จำนวนฝักสมบูรณ์ต่อต้น

การใช้กรดฮิวมิก 50 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี ในอัตราต่างๆ และการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวในทุกตำรับการทดลอง มีจำนวนฝักสมบูรณ์ต่อต้นสูงสุด รองลงมาคือตำรับการทดลองควบคุม และตำรับการทดลองที่ใช้กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียวตามลำดับ เมื่อพิจารณาการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ พบว่า จำนวนฝักสมบูรณ์ต่อต้นมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 4)

6.3 ความยาวฝัก

การใช้กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ มีความยาวฝักสูงสุด รองลงมาคือตำรับการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดฮิวมิกทั้งสองอัตรา ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยเคมี 100, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว และตำรับการทดลองควบคุม ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความยาวฝักมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 5)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.4 ความยาวส่วนติดเมล็ด

การใช้กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ มีความยาวส่วนติดเมล็ดสูงสุด รองลงมาคือตำรับการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดฮิวมิกทั้งสองอัตรา ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยเคมี 100, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว และตำรับการทดลองควบคุม ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการใช้สารประกอบฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ความยาวส่วนติดเมล็ดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 5)

6.5 เส้นผ่านศูนย์กลางฝัก

การใช้กรดฮิวมิก 50 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี ในอัตราต่างๆ และการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวในทุกตำรับการทดลอง มีเส้นผ่านศูนย์กลางฝักสูงสุด รองลงมาคือตำรับการทดลองควบคุม และตำรับการทดลองที่ใช้กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียวตามลำดับ เมื่อพิจารณาการใช้กรดฮิวมิก 50 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 100, 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางฝักมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 100, 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์ เพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 5)

6.6 น้ำหนักฝักทั้งเปลือก

การใช้กรดฮิวมิก 50 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ และการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวในทุกตำรับการทดลอง มีน้ำหนักฝักทั้งเปลือกสูงสุด รองลงมาคือตำรับการทดลองควบคุม และตำรับการทดลองที่ใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการใช้กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีน้ำหนักฝักทั้งเปลือกมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาการใช้กรดฮิวมิก 50 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีน้ำหนักฝักทั้งเปลือกใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 6)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.7 น้ำหนักฝัก

การใช้กรดฮิวมิก 50 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ และการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวในทุกตำรับการทดลอง มีน้ำหนักฝักสูงสุด รองลงมาคือตำรับการทดลองควบคุมและตำรับการทดลองที่ใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการใช้กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีน้ำหนักฝักมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาการใช้กรดฮิวมิก 50 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่รวมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีน้ำหนักฝักใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 6)

6.8 น้ำหนักเมล็ด

การใช้กรดฮิวมิก 50 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ และการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวในทุกตำรับการทดลอง มีน้ำหนักเมล็ดสูงสุด รองลงมาคือตำรับการทดลองควบคุมและตำรับการทดลองที่ใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการใช้กรดฮิวมิก 50 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่รวมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีน้ำหนักเมล็ดใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว และเมื่อพิจารณาการใช้กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่รวมกับปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีน้ำหนักเมล็ดมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 50 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 6)

6.9 เปอร์เซ็นต์กะเทาะ

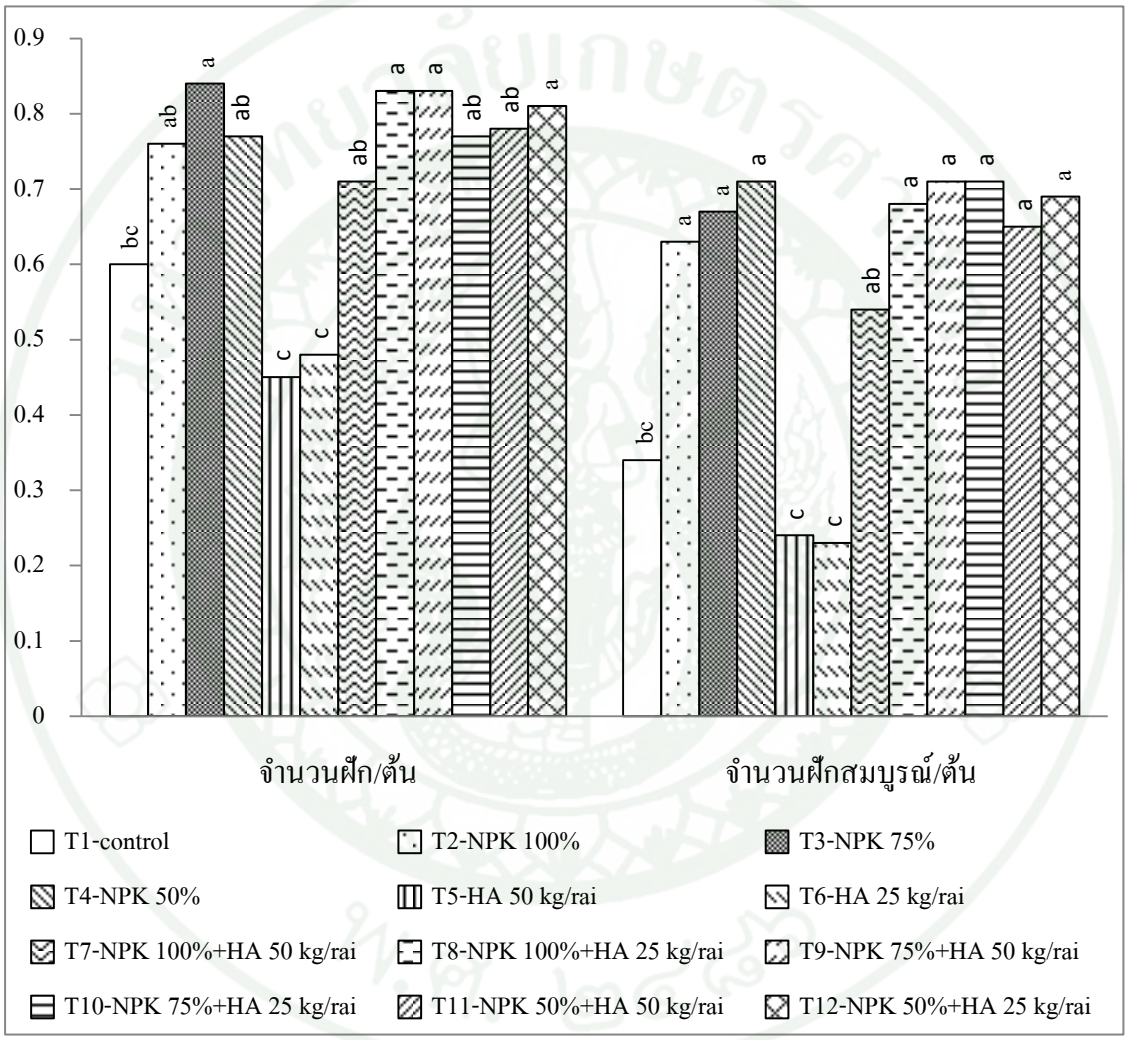
เปอร์เซ็นต์กะเทาะของข้าวโพดซึ่งเป็นอัตราส่วนของน้ำหนักเมล็ดต่อน้ำหนักฝัก พบว่า มีเปอร์เซ็นต์กะเทาะไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 78.97-83.24 เปอร์เซ็นต์ (ตารางภาคผนวกที่ 5)

6.10 ผลผลิตต่อไร่

การใช้กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 100 และ กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตต่อไร่ (ที่ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์)สูงสุด เมื่อพิจารณาการใช้

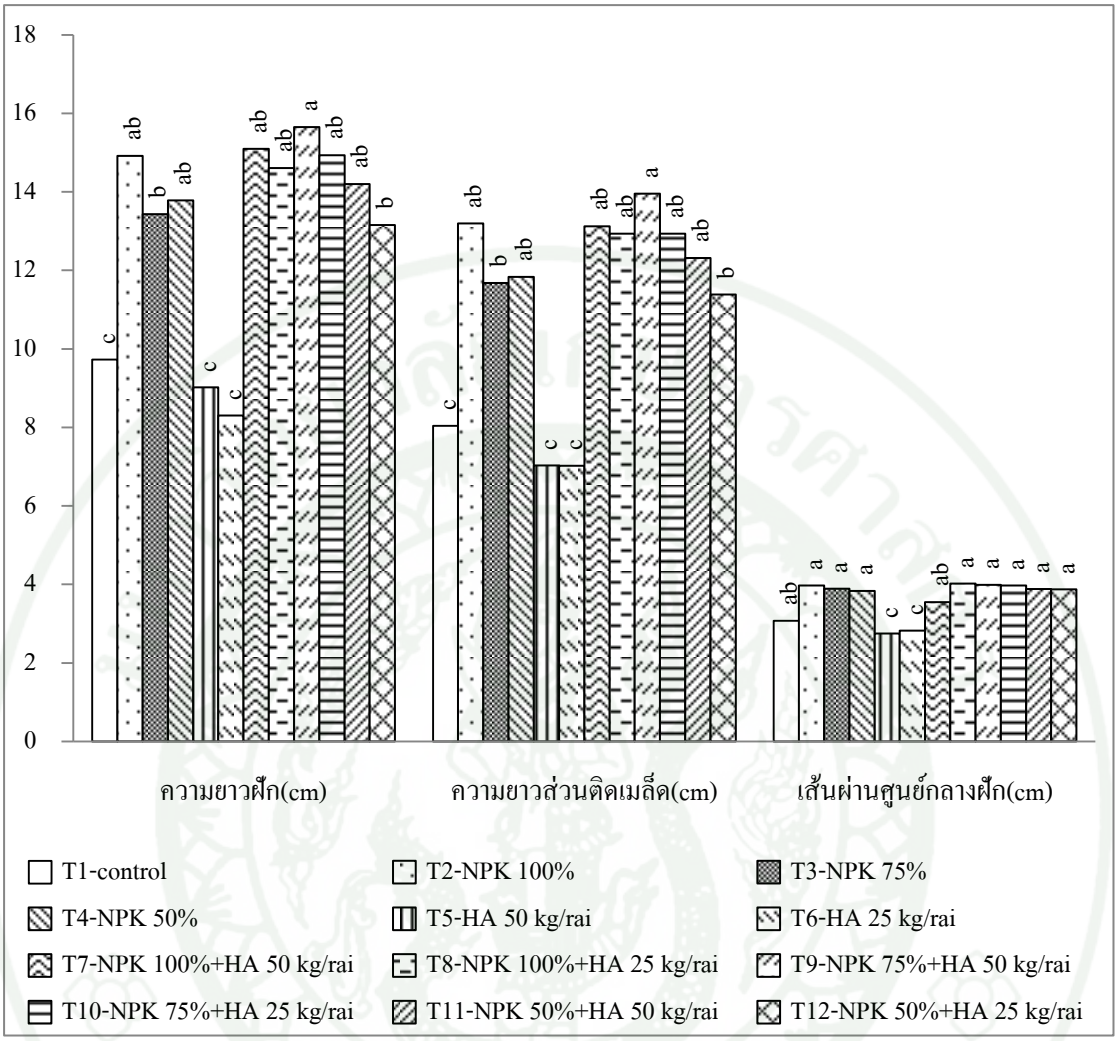
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีผลผลิตต่อไร่มากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาการใช้กรดฮิวมิก 50 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่รวมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีผลผลิตต่อไร่ ใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 6)



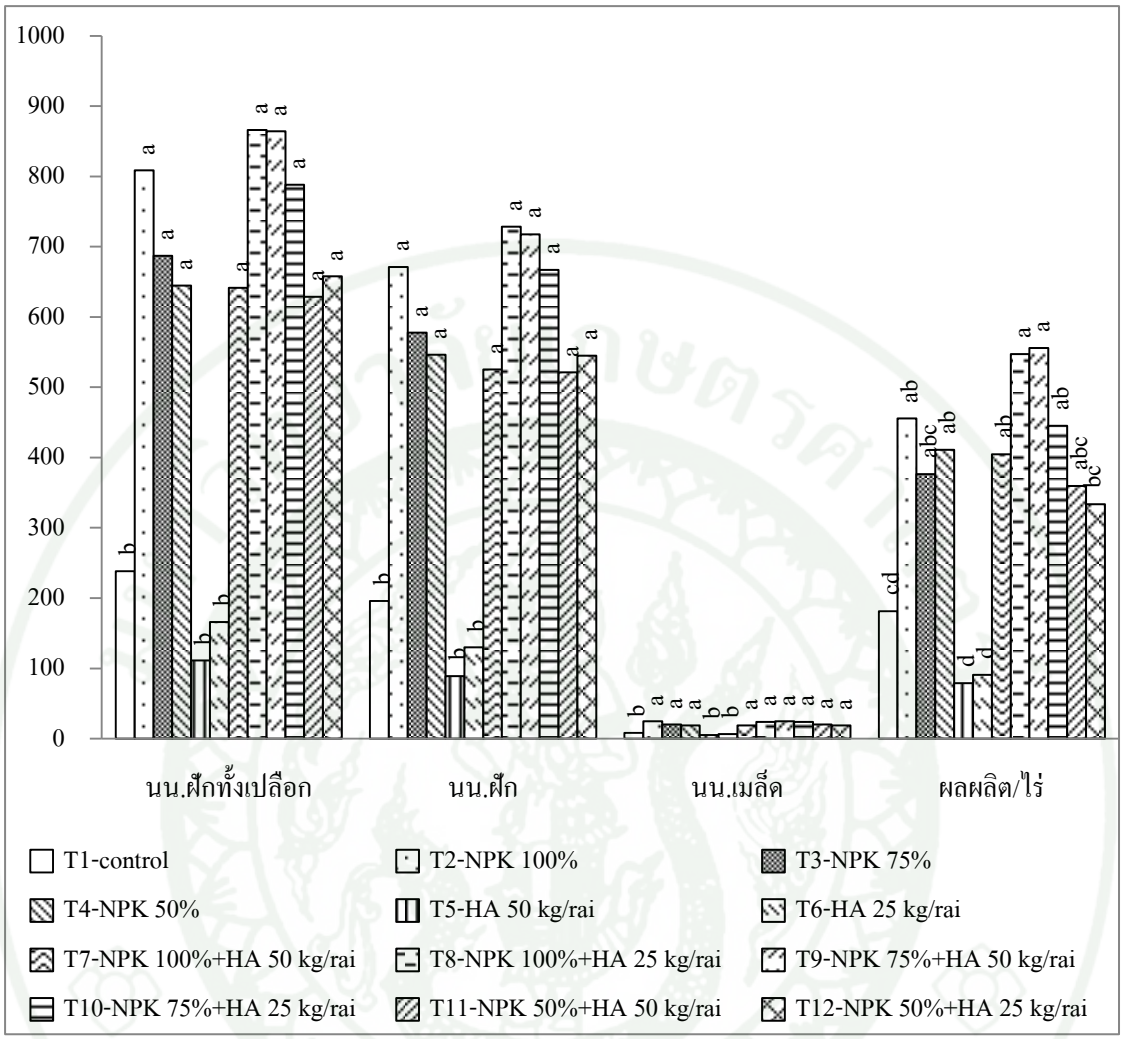
ภาพที่ 4 จำนวนฝัก/ต้น และจำนวนฝักสมบูรณ์/ต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



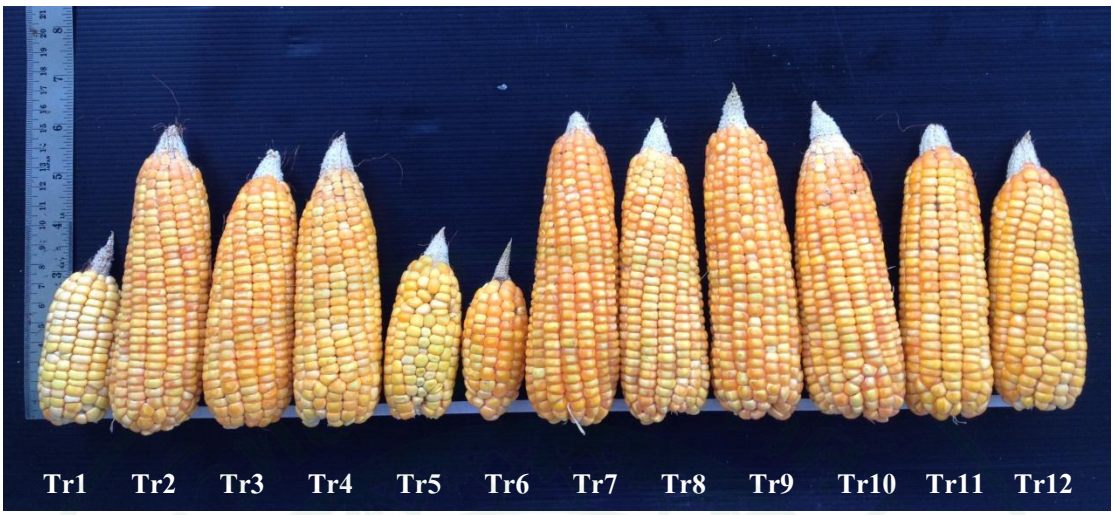
ภาพที่ 5 ความยาวฝัก ความยาวส่วนติดเมล็ด และเส้นผ่านศูนย์กลางฝัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝัก น้ำหนักเมล็ด และผลผลิต/ไร่ (กิโลกรัม/ไร่)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7 ผลผลิตข้าวโพดในตำรับการทดลองต่างๆ ดังนี้ Tr1: control, Tr2: NPK 100%, Tr3: NPK 75%, Tr4: NPK 50%, Tr5: HA 50, Tr6: HA 25, Tr7: NPK 100%+HA 50, Tr8: NPK 100%+HA 25, Tr9: NPK 75%+HA 50, Tr10: NPK 75%+HA 25, Tr11: NPK 50%+HA 50 และ Tr12: NPK 50%+HA 25

จากผลการศึกษาผลของการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่า การใช้กรดฮิวมิกในอัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ และการใช้กรดฮิวมิกในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ช่วยส่งเสริมให้ จำนวนฝักต่อต้น จำนวนฝักสมบูรณ์ต่อต้น ความยาวฝัก ความยาวส่วนติดเมล็ด เส้นผ่านศูนย์กลางฝัก น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝัก น้ำหนักเมล็ด และผลผลิตต่อไร่ (ที่ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์) มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ เพียงอย่างเดียว เนื่องจากผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในดิน ในใบพืชพบว่า มีปริมาณธาตุไนโตรเจนและแมงกานีสมากกว่าตำรับการทดลองอื่นจึงน่าจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวโพดได้เพิ่มมากขึ้น ทำให้ข้อมูลการเจริญเติบโตในด้านความสูงต้น ความสูงคอใบสุดท้าย และค่าความเขียวของใบที่มีค่าสูงที่สุด จึงส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต สอดคล้องกับ Zhang และคณะ (2013) ที่ได้ศึกษากรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยในการปลูกแอปเปิ้ล พบว่าคุณสมบัติทางเคมีของดินมีเกณฑ์ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น ปริมาณผลผลิต และคุณภาพของผลผลิตได้อีกด้วย เช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยสูตรน้ำร่วมกับกรดฮิวมิกในมะเขือเทศและดอกทานตะวัน ซึ่งสารประกอบ ฮิวมิกสามารถช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตของมะเขือเทศและทานตะวันได้ (Parvan *et al*., 2013)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Jafari และคณะ (2012) ศึกษาการใช้กรดฮิวมิกที่สกัดจากพีต และลีโอนาร์ไดต์ด้วยการฉีดหรือพ่นข้าวโพดในระยะต่างๆ พบว่า กรดฮิวมิกจากลีโอนาร์ไดต์ช่วยเพิ่มน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าวโพดต่อฝักได้มากกว่ากรดฮิกมิกที่สกัดจากพีท และกลุ่มที่ไม่ได้รับกรดฮิวมิก สอดคล้องกับการใช้ปุ๋ยชีวภาพร่วมกับโพแทสเซียมฮิวเมตด้วยการฉีดหรือพ่นในการปลูกกระเทียม ซึ่งการใช้ปุ๋ยชีวภาพร่วมกับโพแทสเซียมฮิวเมตช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตและคุณภาพของกระเทียมได้ (Abdel-Razzak and El-Sharkawy, 2013)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. ผลของการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักในเมล็ดข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยว

7.1 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด (Total N, P and K) ในเมล็ดข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยว

ผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยว พบว่าในตำรับการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ย 100 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด รองลงมาคือ ใส่ปุ๋ย 100 เปอร์เซ็นต์ ใส่ปุ๋ยร่วมกับกรดฮิวมิกในอัตราต่างๆ ใส่ปุ๋ย 75 และ 50 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว ใส่กรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว และกลุ่มควบคุม ตามลำดับ (ตารางที่ 16) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนในดินในระยะข้าวโพดออกไหม (ตารางที่ 6) ในใบข้าวโพดระยะออกไหม (ตารางที่ 12) เช่นเดียวกับ Haghighi และคณะ (2014) ได้ศึกษาการใช้กรดฮิวมิกร่วมกับสารละลายปุ๋ยในการปลูกเยอบีร่าแบบไร้ดิน พบว่า การใช้กรดฮิวมิก ร่วมกับสารละลายปุ๋ยที่ลดลงครึ่งหนึ่งจากอัตราปกติ ทำให้น้ำหนักสดต่อน้ำหนักแห้งของยอดต่อรากและจำนวนดอก มีค่าใกล้เคียงกับการใช้สารละลายปุ๋ยอัตราปกติ อีกทั้งยังมีปริมาณไนโตรเจนในใบและรากมากกว่าการใช้ปุ๋ยในอัตราปกติเพียงอย่างเดียว กล่าวคือ กรดฮิวมิกสามารถช่วยทดแทนปริมาณไนโตรเจนเมื่อมีการลดปุ๋ยได้ในระดับหนึ่ง นอกจากนี้กรดฮิวมิกที่หมักจากขี้เลื่อยผสมกับกากน้ำตาล ยูเรีย และหินฟอสเฟต ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต น้ำหนักแห้ง อีกทั้งช่วยในการดูดซึมธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในข้าวโพดเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (Palanivell *et al*., 2013)

ปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวโพด พบว่า มีปริมาณไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.21-0.34 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 18) หลังจากออกช่อดอกแล้วบางส่วนของฟอสฟอรัส ที่อยู่ตามส่วนต่างๆ ของลำต้นจะเคลื่อนย้ายเข้าไปอยู่ในเมล็ด ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสทั้งหมดจะอยู่ในเมล็ด (สนิท, 2527)

ปริมาณโพแทสเซียมในเมล็ดข้าวโพด มีปริมาณไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.21-0.33 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 18) โพแทสเซียมที่ข้าวโพดดูดเข้าไปกระจายอยู่ตามส่วนต่างๆ ของลำต้น และฝัก ประมาณ 30-33 เปอร์เซ็นต์ของโพแทสเซียมทั้งหมดจะพบอยู่ในเมล็ด (สนิท, 2527)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 18 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด (Total N, P and K) ในเมล็ดข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยวในแต่ละตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	ปริมาณธาตุอาหารหลักในเมล็ดข้าวโพด (%)		
	Total N	Total P	Total K
Control	0.91 bc[1/]	0.25	0.21
NPK 100%	1.08 abc	0.28	0.26
NPK 75%	0.92 bc	0.21	0.22
NPK 50%	0.86 bc	0.24	0.25
HA 50	1.11 ab	0.27	0.21
HA 25	1.10 abc	0.34	0.30
NPK 100%+HA 50	1.33 a	0.34	0.26
NPK 100%+HA 25	1.14 ab	0.30	0.25
NPK 75%+HA 50	0.94 bc	0.27	0.27
NPK 75%+HA 25	1.04 abc	0.27	0.24
NPK 50%+HA 50	0.87 bc	0.21	0.24
NPK 50%+HA 25	0.78 c	0.28	0.33
F-test	*	Ns	ns
CV (%)	23.47	26.45	24.11

หมายเหตุ * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7.2 ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีสทั้งหมด (Total Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu and Mn) ในเมล็ดข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยว

ปริมาณแคลเซียมในเมล็ดข้าวโพด มีปริมาณไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่า 0.01 เปอร์เซ็นต์ ข้าวโพดดูดเอาธาตุแคลเซียมมาใช้ตั้งแต่ระยะต้นอ่อนไปจนกระทั่งเมล็ดเริ่มแก่ก็จะหยุด แคลเซียมที่ดูดมาใช้จะอยู่ตามส่วนต่างๆ ของใบ (สนิท, 2527) (ตารางที่ 19)

ปริมาณแมกนีเซียมในเมล็ดข้าวโพด พบว่า มีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง ซึ่งการใช้กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ทำให้เมล็ดข้าวโพดมีปริมาณแมกนีเซียมสูงสุด รองลงมาคือการใช้กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ และการใช้กรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 19)

ปริมาณกำมะถันในเมล็ดข้าวโพด พบว่า มีปริมาณไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าน้อยกว่า 0.05 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกำมะถันในดินก่อนปลูก ใบและดินในระยะออกไหม และดินหลังปลูก (ตารางที่ 19)

ปริมาณเหล็กในเมล็ดข้าวโพด มีปริมาณไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าน้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 20)

ปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวโพด มีปริมาณไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 18.55-31.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 20)

ปริมาณทองแดงในเมล็ดข้าวโพด มีปริมาณไม่แตกต่างกันในแต่ละตำรับการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 1.61-2.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 20)

ปริมาณแมงกานีสในเมล็ดข้าวโพด พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกรดฮิวมิกมีปริมาณแมงกานีสสูงที่สุด 2.42-2.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 20) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณแมงกานีสในใบข้าวโพดในระยะออกไหม (ตารางที่ 14)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 19 ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันทั้งหมด (Total Ca, Mg and S) ในเมล็ดข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยวในแต่ละตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	ปริมาณธาตุอาหารรองในเมล็ดข้าวโพด (%)		
	Total Ca	Total Mg	Total S
Control	0.01	0.07 bc[1/]	nd
NPK 100%	0.01	0.08 bc	nd
NPK 75%	0.01	0.07 c	nd
NPK 50%	0.01	0.07 c	nd
HA 50	0.01	0.08 abc	nd
HA 25	0.01	0.10 a	nd
NPK 100%+HA 50	0.01	0.08 ab	nd
NPK 100%+HA 25	0.01	0.08 ab	nd
NPK 75%+HA 50	0.01	0.08 ab	nd
NPK 75%+HA 25	0.01	0.07 bc	nd
NPK 50%+HA 50	0.01	0.07 bc	nd
NPK 50%+HA 25	0.01	0.08 abc	nd
F-test	ns	*	nd
CV (%)	29.2	15.67	-

หมายเหตุ * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

nd ไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าได้ (not detectable)

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 20 ปริมาณเหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีสทั้งหมด (Total Fe, Zn, Cu and Mn) ในเมล็ดข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยวในแต่ละตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	ปริมาณจุลธาตุในเมล็ดข้าวโพด (mg/kg)			
	Total Fe	Total Zn	Total Cu	Total Mn
Control	nd	27.76	1.67	0.86 c[1/]
NPK 100%	nd	24.01	2.33	1.48 bc
NPK 75%	nd	22.88	1.86	1.59 abc
NPK 50%	nd	23.46	2.32	1.48 bc
HA 50	nd	31.72	2.10	1.46 bc
HA 25	nd	28.48	1.95	2.02 ab
NPK 100%+HA 50	nd	27.60	2.53	2.42 a
NPK 100%+HA 25	nd	25.20	2.41	2.44 a
NPK 75%+HA 50	nd	28.21	1.61	1.30 bc
NPK 75%+HA 25	nd	30.42	1.97	1.52 bc
NPK 50%+HA 50	nd	18.55	2.30	1.11 bc
NPK 50%+HA 25	nd	19.69	2.51	1.46 bc
F-test	-	ns	Ns	*
CV (%)	-	33.51	39.51	44.13

หมายเหตุ * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

nd ไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าได้ (not detectable)

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7.3 ปริมาณโลหะหนักในเมล็ดข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต

ปริมาณโครเมียม แคดเมียม นิกเกิล ตะกั่ว สารหนู และปรอท ในเมล็ดข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต มีปริมาณน้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 21) ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนจากกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) (ตารางภาคผนวกที่ 6) อีกทั้งสารหนูที่พบอยู่ในลีโอนาร์ไดต์ที่เป็นสารตั้งต้นของกรดฮิวมิกนั้น มีมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารหนูที่สามารถถูกสกัดออกมาได้ ซึ่งถูกสกัดออกไปตั้งแต่กระบวนการสกัดลีโอนาร์ไดต์เป็นกรดฮิวมิก จึงส่งผลให้ปริมาณสารหนูที่เหลือตกค้างอยู่ในกรดฮิวมิก เป็นสารหนูส่วนที่ไม่สามารถสกัดออกมาได้ และไม่สามารถละลายออกมาสู่สภาพแวดล้อมปกติได้ (สุชาดา, 2556) จึงสามารถกล่าวได้ว่า กรดฮิวมิกจะไม่ทำให้มีการปนเปื้อนของสารหนูในเมล็ดข้าวโพดและในดินเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 21 ปริมาณโครเมียม แคดเมียม นิกเกิล ตะกั่ว สารหนู และ ปรอททั้งหมด (Total Cr, Cd, Ni, Pb, As and Hg) ในเมล็ดข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยวในแต่ละตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในเมล็ดข้าวโพด (mg/kg)					
	Total Cr	Total Cd	Total Ni	Total Pb	Total As	Total Hg
Control	nd	nd	nd	nd	nd	nd
NPK 100%	nd	nd	nd	nd	nd	nd
NPK 75%	nd	nd	nd	nd	nd	nd
NPK 50%	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HA 50	nd	nd	nd	nd	nd	nd
HA 25	nd	nd	nd	nd	nd	nd
NPK 100%+HA 50	nd	nd	nd	nd	nd	nd
NPK 100%+HA 25	nd	nd	nd	nd	nd	nd
NPK 75%+HA 50	nd	nd	nd	nd	nd	nd
NPK 75%+HA 25	nd	nd	nd	nd	nd	nd
NPK 50%+HA 50	nd	nd	nd	nd	nd	nd
NPK 50%+HA 25	nd	nd	nd	nd	nd	nd
F-test	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ nd ไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าได้ (not detectable)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปผลการทดลอง

1. ลีโอนาร์ไดต์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของกรดฮิวมิกมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ มีปริมาณอินทรียวัตถุและความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในระดับสูง มีปริมาณโลหะหนักได้แก่ โครเมียม แคดเมียม ตะกั่ว สารหนูและปรอทต่ำกว่ามาตรฐาน

2. กรดฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอนาร์ไดต์มีค่าการนำไฟฟ้าปานกลาง มีปริมาณอินทรียวัตถุและความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในระดับสูงกว่าลีโอนาร์ไดต์ มีปริมาณโลหะหนักได้แก่ โครเมียม แคดเมียม ตะกั่ว สารหนูและปรอทต่ำกว่ามาตรฐาน

3. การใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าตำรับการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

4. การใช้กรดฮิวมิกร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้ใบข้าวโพดในระยะออกไหมมีปริมาณธาตุไนโตรเจนและแมงกานีสมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

5. การใช้กรดฮิวมิก 25 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ และกรดฮิวมิก 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 75 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ข้าวโพดมีความสูงต้น ความสูงคอใบสุดท้าย ค่าความเขียว ปริมาณและคุณภาพผลผลิตหลังเก็บเกี่ยวมีค่ามากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียว

6. การใช้กรดฮิวมิกไม่มีผลต่อการสะสมโลหะหนักได้แก่ โครเมียม แคดเมียม ตะกั่ว นิกเกิล สารหนูและปรอทในเมล็ดข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2524. **เอกสารวิชาการเล่มที่ 4 ข้าวโพด**. ธนประดิษฐ์การพิมพ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2547. **ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์**. เอกสารวิชาการลำดับที่ 11/2547, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. **ปุ๋ยอินทรีย์ การผลิต การใช้ มาตรฐานและคุณภาพ**. เอกสารวิชาการลำดับที่ 17/2548, กรุงเทพฯ.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2557. **สรุปลักษณะอากาศรายเดือน**. แหล่งที่มา: http://www.tmd.go.th/climate/climate.php?FileID=4

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2554. **คู่มือปฏิบัติการปฐพีวิทยาเบื้องต้นและวิทยาศาสตร์ทางดิน**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

โชคชัย เอกทัศนาวรรณ. 2551. พันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. **Kasetsart Extension Journal** 53: 12-54.

จงรักษ์ จันทรเจริญสุข. 2550. การวิเคราะห์ดินและพืชทางเคมี. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นัทธีรา สรรมณี, กนกพร สว่างแจ้ง, มยุวา อารีกิจเสรี และ กมลชนก พานิชการ. 2553. **บทบาทของกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิกในดินของพื้นที่เกษตรกรรมต่อการดูดซึบจุลธาตุอาหารในดินและโลหะที่เป็นพิษ: กรณีศึกษาภูมิภาคตะวันตกของประเทศไทย**. มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

นงคราญ มณีวรรณ. 2553. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปลูกอย่างไรให้ได้ผลผลิตสูง. **วารสารพัฒนาที่ดิน** 47: 48-55.

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พัชรี ธีรจินดาขจร. 2550. **การวิเคราะห์ดินทางเคมี**. ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

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

ราชกิจจานุเบกษา. 2529. เล่มที่ 103 ฉบับพิเศษ ตอนที่ 23

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

ราเชนทร์ ถิรพร. 2539. **ข้าวโพด : การผลิต การใช้ประโยชน์ การวิเคราะห์ปัญหา และการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่เกษตรกร**. ด่านสุทธาการพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

รสสุคนธ์ พุ่มพันธุ์วงศ์. 2548. **การปลูกพืชไร่ระบบเกษตรอินทรีย์**. บริษัทโรงพิมพ์ประสานมิตร จำกัด, ฉะเชิงเทรา.

วรสิทธิ อุตรมาตย์ และ ปิยะ ดวงพัตรา. 2554. ผลของวิธีการเตรียมดินต่อการชะล้างพังทลายของดิน การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด. **Thai Agricultural Research Journal** 29 : 182-197.

วิวัฒน์ โตธิรกุล, พลยุทธ ศุขสมิติ และ จินดารัตน์ โตกมลธรรม. 2552. **การเตรียมสารประกอบเกลือฮิวเมตจากดินปนถ่านหินจากเหมืองลิกไนต์แม่เมาะ จังหวัดลำปาง**. เอกสารงานวิจัย สรข.3/2552/003, ลำปาง.

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

สนิท ลวดทอง. 2527. **ข้าวโพดและการจัดการ**. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุชาดา โภชาดม. 2556. **สมบัติทางเคมี และการแจกกระจายของอาร์ซินิกในลีโอนาร์ไดต์ จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. **การจัดการดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวโพด**. แหล่งที่มา: http://www.ldd.go.th/menu_Dataonline/set-2/A0211.pdf, 7 กรกฎาคม 2555.

_____. 2550. **ดินและปุ๋ยมันสำปะหลัง**. แหล่งที่มา: www.ldd.go.th/menu_Dataonline/G2/G2_15.pdf, 7 กรกฎาคม 2555.

_____. 2554. ผลพยากรณ์การผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปี 2554 (ปีเพาะปลูก 2554/55) เดือนมิถุนายน 2554. **วารสารธุรกิจอาหารสัตว์** 28: 65-69.

Abdel-Razzak, H.S. and G.A. El-Sharkawy. 2013. Effect of biofertilizer and humic acid applications on growth, yield, quality and strobility of two garlic (*Allium sativum* L.) cultivars. **Asian Journal of Crop Science** 5: 48-64.

Daur, I. and A.A. Bakhashwain. 2013. Effect of humic acid on growth and quality of maize fodder production. **Pakistan Journal of Botany** 45: 21-25.

Ertani, A., D. Pizzeghello, A. Baglieri, V. Cadili, F. Tambone, M. Gennari and S. Nardi. 2012. Humic-like substances from agro-industrial residues affect frowth and nitrogen assimilation in maize (*Zea mays* L.) plantlets. **Journal of Geochemical Exploration**, http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.10.001.

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 Technology** 99 : 4206-4212.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Fernandez-Escobar, R., M. Benlloch, D. Barranco, A. Duenas and J.A. Guterrez Ganan. 1996. Response of olive trees to foliar application of humic substances extracted from leonardite. **Scientia Horticulturae** 66: 191-200.

Jafari, M., A.M. Khanghah, Y. Alaei, S.S. Moosavi and E. Khabiri. 2012. Comparison effect organic humic fertilizers the dry matter maize genotypes in ardabil region. **Life Science Journal** 9: 2746-2749.

Jones, J.B. Jr, B. Wolf and H.A. Mills. 1991. **Plant Analysis Handbook**. Micro-Macro Publishing Inc., Georgia. U.S.A.

Haghighi, M., A. Nikbakht, Y.P. Xia and M. Pessarakli. 2014. Influence of humic acid in dilute nutrient solution on growth, nutrient efficiency, and postharvest attributes of gerbera. **Soil Science and Plant Analysis** 45: 177-188.

Howeler, R.H. 1996. Diagnosis of nutritional disorder and soil fertility maintenance of cassava, pp. 181-193. *In* Kulup, G.T., Polaniswami, M. S. and Potty, V. P., eds. **Tropical Tuber Crops: Problems, Prospects and Future Strategies.** Oxford and IBH Publishing Co., New Delhi, India.

Mema V.V. 2006. **Identification of Extraction Methods for Production of Humic Acid from Black Liquor**. M.E. Thesis, University of Stellenbosch.

Nardi, S., D. Pizzeghello, A. Muscolo and A. Vianello. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology & Biochemistry** 34: 1527–1536.

Palanivell, P., K. Susilawati, O.H. Ahmed and N.M. Majid. 2013. Compost and crude humic substances produced from selected waste and their effects on *Zea mays* L. nutrient uptake and growth. **The Scientific World Journal** 2013: 1-15.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Parvan, L., M. Dumitru, C. Sirbu and T. Cioroianu. 2013. Fertilizer with humic substances. **Romanian Agricultural Research** 30: 205-212.

Schnitzer, M. and S.U. Khan. 1972. **Humic substances in the environment**. Marcel Dekker Inc., New York.

Stevenson, F.J. 1994. **Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction**. 2nd ed. John Wiely and Sons. Inc., New York.

Tan K.H. 2003. **Humic Matter in Soil and the Environment**: **Principles and Controveries**. Marcel Dekker Inc., New York.

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.

Zhang, L., J. Zhou, Y. Guizhao, Y. Zhai, K. Wang, A.K. Alva and S.T. Paramasivam. 2013. Optimal combination of chemical compound fertilizer and humic acid to improve soil and leaf properties, yield and quality of apple (*Malus domestica*) in the loess plateau of china. **Pakistan Journal of Botany** 45: 1315-1320.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร

คุณลักษณะ	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์
pH	5.5-8.5
EC (ms/cm)	<6.0
C:N ratio	<20:1
Total N (%)	>1.0
Total P (%)	>0.5
Total K (%)	>0.5
As (mg/kg)	<50
Cd (mg/kg)	<5.0
Cr (mg/kg)	<300.0
Pb (mg/kg)	<500.0
Hg (mg/kg)	<2.0

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2548)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 สมบัติทางเคมีบางประการและปริมาณธาตุอาหารในดินที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช

ธาตุอาหารในดิน	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
pH	3.5-4.5	4.5-7	6-7
O.M. (%)	1-2	2-4	>4
EC (ds/m)	<6	6-16	>16
P (mg/kg)	<10	10-25	>25
K (mg/kg)	40-70	71-90	91-120
Ca (mg/kg)	<400	400-600	>600
Mg (mg/kg)	<40	40-90	>90
S (mg/kg)	20-40	40-70	>70
Fe (mg/kg)	1-10	10-100	>100
Zn (mg/kg)	0.5-1	1-5	5-50
Cu (mg/kg)	0.1-0.3	0.3-1	1-5
Mn (mg/kg)	5-10	10-100	100-250

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2554), Howeler (1996)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม

โลหะหนัก	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
1) สารหนู (Arsenic) (mg/kg)	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) (mg/kg)	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) โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเลนท์ (Hexavalent Chromium) (mg/kg)	ต้องไม่เกิน 300	ใช้วิธี Coprecipitation หรือวิธี Colorimetric หรือวิธี Chelation/Extraction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ *ใน* ราชกิจจานุเบกษา (2547)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

โลหะหนัก	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
4) ตะกั่ว (Lead) (mg/kg)	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) ปรอทและสารประกอบปรอท (Mercury and compounds) (mg/kg)	ต้องไม่เกิน 23	ให้ใช้วิธี Cold-Vapor Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
6) นิกเกิลในรูปของเกลือที่ละลายน้ำได้ (Nickel, soluble salts) (mg/kg)	ต้องไม่เกิน 1,600	ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ *ใน* ราชกิจจานุเบกษา (2547)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 จำนวนฝักต่อต้น จำนวนฝักสมบูรณ์ต่อต้น ความยาวฝัก ความยาวส่วนติดเมล็ด และเส้นผ่านศูนย์กลางฝักของข้าวโพดลี้ยงสัตว์ในแต่ละตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	จำนวนฝักต่อต้น	จำนวนฝักสมบูรณ์ต่อต้น	ความยาวฝัก (cm)	ความยาวส่วนติดเมล็ด (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลางฝัก (cm)
Control	0.60 bc[1/]	0.34 bc[1/]	9.73 c[1/]	8.04 c[1/]	3.07 bc[1/]
NPK 100%	0.76 ab	0.63 a	14.91 ab	13.19 ab	3.97 a
NPK 75%	0.84 a	0.67 a	13.43 b	11.68 b	3.89 a
NPK 50%	0.77 ab	0.71 a	13.78 ab	11.83 ab	3.83 a
HA 50	0.45 c	0.24 c	9.02 c	7.03 c	2.75 c
HA 25	0.48 c	0.23 c	8.30 c	7.02 c	2.82 c
NPK 100%+HA 50	0.71 ab	0.54 ab	15.09 ab	13.12 ab	3.55 ab
NPK 100%+HA 25	0.83 a	0.68 a	14.60 ab	12.93 ab	4.02 a
NPK 75%+HA 50	0.83 a	0.71 a	15.65 a	13.95 a	3.99 a
NPK 75%+HA 25	0.77 ab	0.71 a	14.93 ab	12.93 ab	3.97 a
NPK 50%+HA 50	0.78 ab	0.65 a	14.20 ab	12.31 ab	3.88 a
NPK 50%+HA 25	0.81 a	0.69 a	13.15 b	11.38 b	3.87 a
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	24.01	41.64	20.84	23.46	15.43

หมายเหตุ * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 น้ำหนักฝักทั้งเปลือก น้ำหนักฝัก น้ำหนักเมล็ด เปอร์เซ็นต์กะเทาะ และผลผลิตต่อไร่ ของข้าวโพดลื้ยงสัตว์ในแต่ละตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	น้ำหนักฝักทั้งเปลือก (kg/rai)	น้ำหนักฝัก (kg/rai)	น้ำหนักเมล็ด (kg/rai)	เปอร์เซ็นต์กะเทาะ (%)	ผลผลิตต่อไร่ (kg/rai)
Control	238.22 b[1/]	196.15 b[1/]	8.16 b[1/]	80.84[1/]	181.54 cd[1/]
NPK 100%	808.30 a	670.82 a	24.62 a	82.63	455.64 ab
NPK 75%	686.81 a	577.78 a	20.15 a	83.05	376.23 abc
NPK 50%	644.74 a	546.37 a	18.87 a	83.06	411.01 ab
HA 50	111.41 b	88.89 b	5.27 b	81.51	79.07 d
HA 25	165.93 b	129.78 b	6.49 b	78.97	90.94 d
NPK 100%+HA 50	641.19 a	525.04 a	18.73 a	81.32	404.70 ab
NPK 100%+HA 25	865.78 a	728.30 a	23.69 a	82.01	547.24 a
NPK 75%+HA 50	864.00 a	717.63 a	24.52 a	82.02	555.78 a
NPK 75%+HA 25	788.15 a	666.67 a	23.58 a	83.24	444.94 ab
NPK 50%+HA 50	628.74 a	520.89 a	20.31 a	82.41	359.34 abc
NPK 50%+HA 25	657.78 a	544.59 a	18.65 a	82.40	333.39 bc
F-test	*	*	*	ns	*
CV (%)	52.93	54.26	45.08	2.41	54.19

หมายเหตุ * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 6 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงต้นข้าวโพด

ตำรับการทดลอง	45 วัน	60 วัน	75 วัน	90 วัน
Control	0.20	0.20	0.22	0.05
NPK 100%	0.26	0.34	0.26	0.03
NPK 75%	0.25	0.31	0.23	0.02
NPK 50%	0.25	0.28	0.21	0.00
HA 50	0.19	0.24	0.19	0.08
HA 25	0.21	0.19	0.14	0.05
NPK 100%+HA 50	0.31	0.35	0.25	0.05
NPK 100%+HA 25	0.26	0.28	0.26	0.05
NPK 750%+HA 50	0.28	0.29	0.21	0.01
NPK 75%+HA 25	0.29	0.31	0.26	0.02
NPK 50%+HA 50	0.27	0.29	0.21	0.01
NPK 50%+HA 25	0.25	0.30	0.23	0.02
F-test	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 7 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ของความสูงคอใบสุดท้าย

ตำรับการทดลอง	45 วัน	60 วัน	75 วัน	90 วัน
Control	0.09 cd	0.62 b	1.04	0.12 b
NPK 100%	0.26 ab	0.86 a	0.84	0.11 b
NPK 75%	0.21 abc	0.87 a	0.85	0.07 b
NPK 50%	0.23 abc	0.86 a	0.81	0.02 b
HA 50	0.09 bcd	0.58 b	0.92	0.32 a
HA 25	0.03 d	0.54 b	0.96	0.19 ab
NPK 100%+HA 50	0.25 abc	0.85 a	0.81	0.21 ab
NPK 100%+HA 25	0.26 abc	0.86 a	0.81	0.08 b
NPK 750%+HA 50	0.30 a	0.91 a	0.72	0.03 b
NPK 75%+HA 25	0.24 abc	0.88 a	0.87	0.06 b
NPK 50%+HA 50	0.25 abc	0.83 a	0.85	0.02 b
NPK 50%+HA 25	0.21 abc	0.84 a	0.90	0.07 b
F-test	*	*	ns	*

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 8 อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ของเดือนพฤศจิกายน 2556 – เดือนมีนาคม 2557 จ.ฉะเชิงเทรา

เดือน	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	ปริมาณน้ำฝน (ml)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
พฤศจิกายน	32	23	37.5	80
ธันวาคม	30	17	14.6	73
มกราคม	31	16	0.0	64
กุมภาพันธ์	34	21	3.4	75
มีนาคม	36	23	37.7	75

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2557)

ตารางผนวกที่ 9 มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ.2529)

โลหะหนัก	สารปนเปื้อนต่ออาหาร 1 กิโลกรัม
โครเมียม (Cr)	<1 มิลลิกรัม
แคดเมียม (Cd)	<0.2 มิลลิกรัม
ตะกั่ว (Pb)	<1 มิลลิกรัม
สารหนู (As)	<2 มิลลิกรัม
ปรอท (Hg)	<0.02 มิลลิกรัม

ที่มา: ราชกิจจานุเบกษา ฉบับพิเศษ เล่มที่ 103 ตอนที่ 23 (2529)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ 1 การเตรียมแปลงและการเติบโตของข้าวโพดในระยะต่างๆ

(1) การปลูกและราดกรดฮิวมิก

(2) การถอนแยกข้าวโพด เมื่อ 15 วัน หลังปลูก

(3) ข้าวโพดเมื่อ 60 วัน หลังปลูก

(4) การวัดความสูงต้นข้าวโพด

(5) การวัดความสูงคอใบสุดท้าย

(6) การวัดค่าความเขียวใบข้าวโพด

(7) เกสรเพศผู้ของข้าวโพดเมื่อ 75 วัน หลังปลูก

(8) เกสรเพศเมียของข้าวโพดเมื่อ 75 วัน หลังปลูก

(9) ฝักข้าวโพดเมื่อ 90 วัน หลังปลูก

(10) ต้นข้าวโพดเมื่อ 105 วัน หลังปลูก

(11) ฝักข้าวโพดในระยะเก็บเกี่ยว (137 วัน หลังปลูก)

(12) ฝักข้าวโพดในระยะเก็บเกี่ยว (137 วัน หลังปลูก)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นางสาวสุภานันท์ เงินน้อย
เกิดวันที่	9 กรกฎาคม 2531
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดระยอง
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนบัณฑิตศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์