



# รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การเพิ่มการละลายของปุ๋ยหินฟอสเฟตด้วยน้ำส้มควันไม้และ  
น้ำสกัดชีวภาพ

Soluble increasing of Rock Phosphate by Wood vinegar  
and Bioextract

อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์

ประยูร ดำรงรักษ์

ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณบำรุงการศึกษาประจำปี 2556

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา



## บทคัดย่อ

ปุ๋ยหินฟอสเฟตมีข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์คือละลายได้ยาก จึงได้ทำการทดลองใช้น้ำส้มควันไม้ และน้ำสกัดชีวภาพเพื่อเพิ่มการละลายของปุ๋ยหินฟอสเฟต โดยปลูกข้าวโพดหวานเป็นพืชทดสอบ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด ประกอบด้วย 7 กรรมวิธี 5 ซ้ำ ดังนี้ ไม่ใส่ปุ๋ยใดๆ (T1) ไม่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตแต่ใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจน (N) และโพแทสเซียม (K) (T2) ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต+ปุ๋ยให้ธาตุ N และ K (T3) ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต+ปุ๋ยให้ธาตุ N และ K + น้ำส้มควันไม้เจือจาง 1:100 (T4) ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต + ปุ๋ยให้ธาตุ N และ K + น้ำส้มควันไม้เจือจาง 1:300 (T5) ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต + ปุ๋ยให้ธาตุ N และ K + น้ำสกัดชีวภาพเจือจาง 1:100 (T6) ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต + ปุ๋ยให้ธาตุ N และ K + น้ำสกัดชีวภาพเจือจาง 1:300 (T7) พบว่า น้ำส้มควันไม้หรือน้ำสกัดชีวภาพอัตราเจือจาง 1:100 หรือ 1:300 ไม่ได้ส่งผลเด่นชัดต่อการช่วยละลายปุ๋ยหินฟอสเฟต อย่างไรก็ตามการใส่สารดังกล่าวโดยเฉพาะน้ำสกัดชีวภาพทำให้ข้าวโพดหวาน มีแนวโน้มการเจริญเติบโต (ความสูง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน) สูงกว่ากรณีไม่ใส่ การใส่น้ำส้มควันไม้หรือน้ำสกัดชีวภาพทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินสูงกว่ากรณีไม่ใส่อย่างเด่นชัด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มสูงกว่ากรณีไม่ใส่แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ส่วนความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในต้นข้าวโพดในแต่ละกรรมวิธีไม่แตกต่างทางสถิติ

**คำสำคัญ :** ปุ๋ยหินฟอสเฟต การเพิ่มการละลาย น้ำส้มควันไม้ น้ำสกัดชีวภาพ

## Abstract

Rock phosphate is such a slow release phosphate fertilizer. Which limit to phosphorus available to the plant growth. This experiment was trialing on efficiency of wood vinegar and bioextract for promoting solubility of rock phosphate. Sweet corn (*Zea may*) was used for testing plant. Complete Randomize with 7 treatments and 3 replications was designed. The treatments were unfertilizer or control (T1), putting N and K fertilizer (T2), Rock phosphate + N+K (T3), T3+1:100 Wood vinegar dilution, T3+1:300 Wood vinegar dilution, T3+1:100 bioextract dilution, T3+1:300 bioextract dilution, The results showed that both wood vinegar and bioextract in those dilutions did not show distinct effect to supporting rock phosphate solubility. However, They showed the trend of increasing plant growth indicated by plant height, fresh weight and dry weight of the shoot. Wood vinegar and bioextract application obviously increased soil pH as well as available P. whereas, phosphorus concentration in corn shoot did not significant different among treatments.

Keywords: Rock phosphate Soluble increasing Wood vinegar Bioetract

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณนายฮัมดี กานา และ นายนุรุดดีน สะเตาะ นักศึกษาสาขาเกษตรศาสตร์ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร ที่ได้ช่วยเหลือในงานเพาะปลูกข้าวโพดในเรือนทดลอง และขอขอบคุณผู้อำนวยการศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่อง spectrophotometer สำหรับการวิเคราะห์ธาตุฟอสฟอรัสในตัวอย่างดินและพืช

ผู้วิจัย

พฤษภาคม 2557

## สารบัญ

|                                                         | หน้า |
|---------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อ                                                | ก    |
| Abstract                                                | ข    |
| สารบัญ                                                  | ค    |
| สารบัญตาราง                                             | ฉ    |
| สารบัญภาพ                                               | ช    |
| บทที่ 1 บทนำ                                            | 1    |
| ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย                       | 1    |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย                                 | 2    |
| ขอบเขตของโครงการวิจัย                                   | 3    |
| ผลที่คาดว่าจะได้รับ                                     | 3    |
| สถานที่วิจัย                                            | 3    |
| ระยะเวลาที่ทำการวิจัย                                   | 3    |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                  |      |
| ธาตุฟอสฟอรัส                                            | 4    |
| ปุ๋ยหินฟอสเฟต                                           | 6    |
| ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟต            | 7    |
| การเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายปุ๋ยหินฟอสเฟต             | 9    |
| น้ำส้มควันไม้                                           | 12   |
| น้ำสกัดชีวภาพ                                           | 16   |
| ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพืชที่ใช้ปลูกทดสอบ                | 19   |
| บทที่ 3 วิธีการวิจัย                                    | 22   |
| การวางแผนการทดลอง                                       | 22   |
| วิธีการทดลอง                                            | 23   |
| การเก็บข้อมูล                                           | 23   |
| การวิเคราะห์ข้อมูล                                      | 25   |
| บทที่ 4 ผลการวิจัย                                      | 26   |
| การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน                            | 26   |
| สมบัติทางเคมีบางประการของดิน                            | 31   |
| ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในต้นข้าวโพดและการดูดตั้งฟอสฟอรัส | 33   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                           | หน้า |
|---------------------------|------|
| บทที่ 5 อภิปรายผลการทดลอง | 34   |
| อภิปรายผลการทดลอง         | 34   |
| สรุปผลการทดลอง            | 37   |
| ข้อเสนอแนะ                | 38   |
| เอกสารอ้างอิง             | 39   |
| ภาคผนวก                   | 42   |

## สารบัญตาราง

### ตารางที่

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 ผลผลิตข้าวโพด (กก./ไร่) จากการใช้ปุ๋ยหมักและหินฟอสเฟตอัตราต่างๆ                                                                               | 11 |
| 2.2 ความเป็นกรดเป็นด่างและสภาพนำไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพ                                                                                     | 17 |
| 2.3 ปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพ                                                                                     | 17 |
| 2.4 ปริมาณฮอร์โมนในน้ำสกัดชีวภาพ                                                                                                                  | 18 |
| 2.5 ปริมาณเอ็นไซม์บางชนิดในน้ำสกัดชีวภาพ                                                                                                          | 18 |
| 4.1 ความสูงของข้าวโพดหวานเมื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยหินฟอสเฟตด้วยน้ำส้มควันไม้และน้ำสกัดชีวภาพ (วัดความสูงจากโคนต้นจนถึงข้อสุดท้าย)         | 27 |
| 4.2 ความสูงของข้าวโพดหวานจากการใส่น้ำส้มควันไม้หรือน้ำสกัดชีวภาพเพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยหินฟอสเฟตหลังจากย้ายปลูก (วัดความสูงโดยรวบใบ)    | 28 |
| 4.3 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดจากการใส่น้ำส้มควันไม้หรือน้ำสกัดชีวภาพเพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยหินฟอสเฟต | 31 |
| 4.4 ความเป็นกรดเป็นด่าง และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินในกรรมวิธีต่างๆ                                                                           | 32 |
| 4.5 ปริมาณฟอสฟอรัสในต้นข้าวโพด (ส่วนเหนือดิน) และปริมาณการดูดตั้งฟอสฟอรัสของต้นข้าวโพด                                                            | 33 |

### ตารางผนวกที่

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 น้ำหนักสดต้นข้าวโพด อายุ 7 สัปดาห์ (กรัม/ต้น)                          | 45 |
| 2 น้ำหนักแห้งต้นข้าวโพด อายุ 7 สัปดาห์ (กรัม/ต้น)                        | 46 |
| 3 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งต้นข้าวโพด อายุ 7 สัปดาห์                        | 46 |
| ความเป็นกรดเป็นด่างของดินหลังเก็บเกี่ยว                                  | 47 |
| 4 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินหลังเก็บเกี่ยว (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) | 47 |
| 5 ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินของต้นข้าวโพด (กรัม/กิโลกรัม)              | 47 |

## สารบัญภาพ

### ภาพที่

- |                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 ความสูงของต้นข้าวโพดหวานเมื่อทดลองเพิ่มความเป็นประโยชน์ของ<br>ปุ๋ยหินฟอสเฟตด้วยน้ำส้มควันไม้ และน้ำสกัดชีวภาพ<br>WK4, WK5, WK6, WK7 = อายุข้าวโพด 4,5,6,7 สัปดาห์ (วัดแบบรวบใบ) | 29 |
| 4.2 ความสูงของต้นข้าวโพดอายุ 7 สัปดาห์เมื่อทดลองเพิ่มความเป็นประโยชน์ของ<br>ปุ๋ยหินฟอสเฟตด้วยน้ำส้มควันไม้และ น้ำสกัดชีวภาพ                                                         | 30 |

### ภาพผนวกที่

- |                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 1 การทดลองตามแผนการทดลอง                       | 43 |
| 2 การวัดความสูงของต้นข้าวโพด                   | 43 |
| 3 การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานในกรรมวิธีต่าง ๆ | 44 |

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย

ปุ๋ยหินฟอสเฟต (Rock phosphate) เป็นปุ๋ยที่ละลายได้ช้า ความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ 1) ธรรมชาติของปุ๋ยหินฟอสเฟต โดยปุ๋ยหินฟอสเฟตจะมีองค์ประกอบทางธรณีเคมี (geochemistry) ที่แตกต่างกันไปในแต่ละแหล่งกำเนิด ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมไม่แน่นอน แต่โดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 10 ถึง 40 และหากมีฟลูออรีนมากจะทำให้ปุ๋ยหินฟอสเฟตมีความเสถียรต่อการสลายตัว 2) ขนาดของอนุภาคของปุ๋ยหากมีขนาดเล็กก็จะละลายได้มากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ หินฟอสเฟตสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยให้แก่พืชชนิดต่าง ๆ ได้โดยไม่จำเป็นต้องนำมาผ่านกระบวนการทางเคมีใด ๆ เพียงแต่นำมาบดให้ละเอียดเป็นผงก็สามารถนำไปใส่ในพื้นที่ปลูกได้โดยตรง 3) ชนิดของดิน ดินต่างชนิดกันจะทำให้ฟอสเฟตละลายได้ต่างกัน โดยเฉพาะดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่างกัน การใช้หินฟอสเฟตในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นด่าง ให้ผลต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรด 4) ชนิดของพืช พืชต่างชนิดกันมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากหินฟอสเฟตแตกต่างกัน พืชที่มีระยะการเจริญเติบโตยาว จะใช้ประโยชน์จากหินฟอสเฟตได้ดีกว่าพืชที่มีระยะการเจริญเติบโตสั้น 5) การใส่สารต่าง ๆ ลงไปในดิน เช่น การเติมกรด การใส่กำมะถัน การใส่อินทรีย์วัตถุ และการใส่ปุ๋ยเคมี ล้วนมีผลต่อการละลายปุ๋ยหินฟอสเฟตทั้งสิ้น (ภาวนา, 2545) การเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายของปุ๋ยหินฟอสเฟตที่มีการศึกษากันมากคือการใช้จุลินทรีย์ช่วยย่อยสลายทั้งกลุ่มเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย เช่น เชื้อรา *Penicillium* เชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas* และ *Thaibacillus* เป็นต้น (ธงชัย, 2546; Chien, 2003; Matiullah and Muhammad, 2012) และได้มีการแยกเชื้อกลุ่มที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพ

ปัจจุบันกระแสการปลูกพืชเชิงอินทรีย์ หรือการปลูกพืชที่ปลอดภัยจากสารพิษตกค้าง และการทำการเกษตรที่หมุนเวียนนำวัสดุที่เหลือใช้ในพื้นที่มาใช้ประโยชน์มีเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการตระหนักถึงสุขภาพและปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการทำเกษตรกรรมรายย่อย เช่นมีการใช้น้ำสกัดชีวภาพ และน้ำส้มควันไม้กันอย่างแพร่หลายโดยการบอกกล่าว แต่ข้อมูลยืนยันทางวิชาการยังมีไม่เพียงพอ น้ำสกัดชีวภาพคือ ของเหลวที่ได้จากการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรทั้งพืชหรือสัตว์ นำมาหมักร่วมกับกากน้ำตาลในสภาพขาดออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนทำหน้าที่ย่อยสลายร่วมกับกระบวนการทำให้ของเหลวในเซลล์พืชหรือเซลล์สัตว์ถูกดึงออกมาสู่ภายนอกเซลล์ ของเหลวที่ได้จากการหมักจะประกอบด้วย กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน กรดฮิวมิก เอนไซม์ ฮอร์โมน วิตามิน และแร่ธาตุอาหารพืช และมีจุลินทรีย์รวมอยู่ด้วย มีคุณสมบัติเป็นกรดสูง หรือมีค่า pH ต่ำ ส่วนน้ำส้มควันไม้ เป็นของเหลวใส สีน้ำตาล มีกลิ่นควันไฟ ได้จากการควบแน่นของควันที่เกิดจากการเผาไม้ให้กลายเป็นถ่านในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด โดยมีอุณหภูมิในเตาอยู่ระหว่าง 300-400 องศาเซลเซียส อุณหภูมิปากปล่องระหว่าง 80-150 องศาเซลเซียส สารประกอบต่างๆ ในไม้จะสลายด้วยความร้อนเกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์ เมื่อนำของเหลวที่ได้จากการควบแน่นมาเก็บในที่ร่มประมาณ 3 เดือน เพื่อให้เกิดการตกตะกอน จะแยกตัวเป็น 3 ชั้น ชั้นบนสุดจะเป็นน้ำมันใส ชั้นกลางเป็นน้ำส้มควันไม้ และชั้นล่างสุดจะเป็นน้ำมันทาร์ ปัจจุบันมีการนำน้ำส้มควันไม้ เป็นสารปรับปรุงดิน สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช และสารเร่งการเติบโตของพืช นอกจากนี้มีการนำน้ำส้มควันไม้ไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม เช่น ใช้ผลิตสารดับกลิ่นตัว ผลิตภัณฑ์รักษาผิวหนัง เป็นต้น เนื่องจากน้ำส้มควันไม้มีความเป็นกรดสูง ดังนั้นก่อนที่จะนำมาไปใช้จะต้องเจือจางให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสม ทั้งน้ำสกัดชีวภาพ และน้ำส้มควันไม้ มีการใช้กันอย่างแพร่หลายทางด้านการเกษตรจากคุณสมบัติของสารดังกล่าว ซึ่งมีความเป็นกรดน่าจะ能够帮助เพิ่มการละลายของปุ๋ยหินฟอสเฟต ทำให้ฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น จึงได้ทำการศึกษาเพื่อเป็นข้อมูลเชิงวิชาการด้านการใช้ประโยชน์สารดังกล่าว โดยเฉพาะในแง่การเพิ่มประสิทธิภาพการละลายของปุ๋ยหินฟอสเฟต

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน เมื่อนำน้ำส้มควันไม้และน้ำสกัดชีวภาพในการเพิ่มการละลายของปุ๋ยหินฟอสเฟต
2. เพื่อศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในต้นพืช และปริมาณการดูดดึงฟอสฟอรัสของต้นพืชจากการเพิ่มการละลายของปุ๋ยหินฟอสเฟตด้วยน้ำส้มควันไม้ และน้ำสกัดชีวภาพ

## ขอบเขตของโครงการวิจัย

ทำการศึกษาประสิทธิภาพของน้ำส้มควันไม้และน้ำสกัดชีวภาพในการช่วยเพิ่มการละลายของปุ๋ยหินฟอสเฟตซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยใช้ข้าวโพดหวานเป็นพืชทดสอบ ศึกษาการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน ในต้นพืช และการดูดตั้งฟอสฟอรัสของข้าวโพด

## ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เมื่อสิ้นสุดการวิจัย สามารถทราบถึงผลการใช้น้ำส้มควันไม้และน้ำสกัดชีวภาพในการละลายของปุ๋ยหินฟอสเฟต โดยใช้ข้าวโพดเป็นพืชทดสอบเพื่อเป็นประโยชน์สำหรับเกษตรกร นักวิชาการเกษตร และผู้ที่ศึกษาด้านการจัดการดินต่อไป

## สถานที่วิจัย

1. เรือนเพาะชำชั่วคราว ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา  
อ.เมือง จ.ยะลา
2. ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา ศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

## ระยะเวลาที่ทำวิจัย

ทำการวิจัย 1 ปี 6 เดือน เริ่มตั้งแต่ กันยายน 2555 ถึงเดือน มีนาคม 2557

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### ธาตุฟอสฟอรัส

1. ความสำคัญของฟอสฟอรัสต่อพืช ฟอสฟอรัสเป็นหนึ่งในธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชจำนวน 17 ธาตุ เป็นองค์ประกอบของเซลล์ที่มีชีวิตเกือบทุกชนิด เป็นองค์ประกอบในฟอสโฟลิปิด เป็นองค์ประกอบสำคัญของเอ็นไซม์หลายชนิด เป็นองค์ประกอบใน DNA และ RNA ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดพันธุกรรม เป็นองค์ประกอบในสารที่ให้พลังงาน คือ Adenosine triphosphate (ATP) ทำหน้าที่รับและถ่ายทอดพลังงานระหว่างสารต่างๆ ของระบบต่างๆ ในพืช จำเป็นในกระบวนการแปรสภาพคาร์โบไฮเดรตในพืชเช่น การเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล จำเป็นในกระบวนการเมแทบอลิซึมของไขมัน ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของคลอโรพลาสต์ขึ้น (อิสริยาภรณ์, 2548) ฟอสฟอรัสจึงมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตของพืช และความแข็งแรงของต้นพืช ช่วยสร้างรากฝอย รากแขนง และเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดธาตุโพแทสเซียม ช่วยกระตุ้นการออกดอก สร้างเมล็ด เพิ่มความต้านทานต่อโรคและแมลง

ถ้าพืชได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอ กระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ที่ต้องการพลังงานจะได้รับผลกระทบโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนและกรดนิวคลีอิก ซึ่งมีผลกระทบต่อการเจริญพันธุ์ของพืชมาก ทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงัก เนื่องจากลดการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และการสร้างฮอร์โมนพืช พืชออกดอกช้า จำนวนดอก ผล และเมล็ดน้อยลง ไม่ผลจะมีการแตกยอดใหม่น้อยลง ติดผลและเมล็ดน้อยลง คุณภาพเมล็ดต่ำ นอกจากนี้ อาจพบใบล่างมีสีแดงเข้มเนื่องจากการสร้างสารแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุสีม่วง จึงทำให้ขาดคลอโรฟิลล์ในการสังเคราะห์แสง แผ่นใบและเส้นใบแห้งตายเป็นจุดๆ จากใบล่างสู่ใบยอด (ศุภลักษณ์, 2549)

หากพืชได้รับฟอสฟอรัสมากเกินไปจะทำให้เกิดการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์และการสังเคราะห์แป้งลดลง เนื่องจากไปยับยั้งกิจกรรมของเอ็นไซม์ในเนื้อเยื่อ ลดความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็ก และสังกะสี ทำให้บริเวณเนื้อเยื่อใบระหว่างเส้นใบตาย พืชอาจแสดงอาการขาดธาตุเหล็ก และสังกะสีได้

## 2. ธรรมชาติของฟอสฟอรัสในดิน

ฟอสฟอรัสในดินมีปริมาณใกล้เคียงกับไนโตรเจนแต่ต่ำกว่าโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม โดยเฉลี่ยในดินมีฟอสฟอรัสร้อยละ 0.06 ในขณะที่ไนโตรเจน และโพแทสเซียมในดินมีประมาณร้อยละ 0.14 และ 0.83 ตามลำดับ (Brady and Weil, 2002) ฟอสฟอรัสที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในดินมี 2 รูปใหญ่ ๆ คือ อินทรีย์ฟอสฟอรัส กับ อนินทรีย์ฟอสฟอรัส ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### 2.1 อินทรีย์ฟอสฟอรัส ในดินมีอินทรีย์ฟอสฟอรัสอยู่ประมาณร้อยละ 20-80

ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ส่วนมากอยู่ในรูป inositol phosphate เช่น phosphate ester มีประมาณร้อยละ 10-15 ของอินทรีย์ฟอสฟอรัส บางแหล่งข้อมูลรายงานว่า มีประมาณร้อยละ 35 (ภาวนา, 2545) นอกจากนี้พบในรูป nucleic acid ประมาณร้อยละ 2 และ phospholipid ประมาณร้อยละ 1 และยังมีส่วนที่ไม่สามารถจำแนกชนิดว่าเป็นสารประกอบใด

### 2.2 อนินทรีย์ฟอสฟอรัส ซึ่งอยู่ในรูปต่างๆ ขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

เช่น ในดินกรด จะพบฟอสฟอรัสในรูปเหล็กและอลูมิเนียมฟอสเฟต เช่น  $\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$  หรือ  $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{Al}(\text{OH})_2\text{HPO}_4$  หรือ  $\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$  หรือ  $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ส่วนดินที่เป็นด่าง มักพบอยู่ในรูปสารประกอบ แคลเซียมและแมกนีเซียมฟอสเฟต ในรูปต่างๆ ซึ่งเรียงลำดับจากสามารถละลายได้ง่าย ไปละลายได้ยากดังนี้  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{CaHPO}_4$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3$

ปัญหาที่สำคัญของฟอสฟอรัสคือ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตลงไปในดินถึงแม้จะเป็นปุ๋ยชนิดที่ละลายง่ายแต่ฟอสฟอรัสมักจะถูกตรึงในดินในรูปสารประกอบทำให้ความเป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยลง รูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้คือ  $\text{HPO}_4^{2-}$   $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (Brady and Weil, 2002) อย่างไรก็ตามปุ๋ยที่เป็นแหล่งของฟอสฟอรัสก็มีหลายชนิด ทั้งชนิดที่ละลายได้ดี เช่น ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต และชนิดที่ละลายได้ยากเช่น ปุ๋ยหินฟอสเฟต แต่ละชนิดก็มีข้อดีข้อเสียและเหมาะสมกับสภาพดินที่แตกต่างกัน เช่น หากเป็นดินกรดการใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตก็จะช่วยให้ปุ๋ยละลายออกมาได้มากขึ้น และอาจช่วยลดความเป็นกรดของดินได้ในระยะยาว

## ปุ๋ยหินฟอสเฟต

ปุ๋ยหินฟอสเฟตได้จากการนำหินฟอสเฟตมาบดให้ได้ตามขนาดที่ต้องการคือ 100 เมช (mesh) เพื่อใช้เป็นปุ๋ยที่ให้ฟอสฟอรัสกับดินและพืช จัดเป็นปุ๋ยละลายช้า (slow release fertilizer) หินฟอสเฟต (Rock phosphate) หมายถึง หินที่มีแคลเซียมฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบที่สำคัญโดยมีองค์ประกอบอื่นๆ ปนอยู่ด้วย เช่น แคลไซต์ ซิลิกา ซิลิเกต ออกไซด์ ของเหล็ก และอะลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม หินฟอสเฟตส่วนใหญ่ที่พบในประเทศไทยจะอยู่ในรูปของแร่อะพาไทต์ (apatite) แหล่งของหินฟอสเฟตถ้าจำแนกตามแหล่งที่มาเป็น 4 ชนิดคือ 1) มารีนฟอสเฟต (marine phosphate rocks) เป็นหินฟอสเฟตที่เกิดจากการตกตะกอนของฟอสเฟตและแคลเซียมในทะเล ประกอบด้วยแร่อะพาไทต์เป็นองค์ประกอบหลัก โดยเป็นพวกคาร์บอเนตอะพาไทต์อาจมีแคลไซต์และซิลิกา ปะปนอยู่ 2) กัวโนฟอสเฟต (guano phosphate rocks) เป็นหินฟอสเฟตที่เกิดจากมูลนกทะเลหรือมูลสัตว์ เช่น ค้างคาว หากมีหินปูนรองรับจะเป็นหินฟอสเฟตที่ประกอบด้วยแร่อะพาไทต์เป็นแร่หลัก แต่ถ้าบริเวณนั้นมีหินจากภูเขาไฟรองรับจะเป็นแร่ฟอสเฟตประเภทอะลูมิเนียมฟอสเฟต เหล็กฟอสเฟต หรือเหล็กอะลูมิเนียมฟอสเฟต แต่อย่างไรก็ตามมักมีแร่อะพาไทต์ปะปน อาจมีสารอินทรีย์ และ สารประกอบไนโตรเจนปะปนอยู่ด้วย 3) หินฟอสเฟตจากหินอัคนี (igneous phosphate rocks) เป็นหินฟอสเฟตที่มักจะพบอยู่กับหินอัคนี ประกอบด้วยแร่อะพาไทต์มักเป็นหินชนิดฟลูอออะพาไทต์ปะปนกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ 4) ฟอสฟอไรต์ (phosphorites) เป็นหินฟอสเฟตที่มาจากหินตะกอนที่มีแร่อะพาไทต์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ อาจมีแร่อื่นตามสถานที่เกิดปะปนอยู่มาก เช่น แร่ดินเหนียว และ แคลไซต์ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2545)

องค์ประกอบของหินฟอสเฟตที่พบในท้องตลาดไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับแหล่งเกิด โดยทั่วไป จะมี  $P_2O_5$  ระหว่างร้อยละ 30-40 เช่น หินฟอสเฟตจากจังหวัดลำพูน มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 35.7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 4.7 % $P_2O_5$  แหล่งจากราชบุรีมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 33.3 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 4.0 % $P_2O_5$  ส่วนแหล่งจากภูเก็ต มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 19.1 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 4.4 %  $P_2O_5$  (ภาวนา, 2545)

เนื่องจากปุ๋ยหินฟอสเฟตละลายได้ช้า การใส่ในดินไม่จำเป็นต้องใส่ทุกปี เช่น การทดลองใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตในดินชุดหนองมดสรุปได้ว่า การผลิตข้าวโพดให้ผลผลิตสูงสุด ทำได้หลายวิธีการ

ได้แก่ วิธีการใช้หินฟอสเฟตอัตรา 400 กิโลกรัมต่อไร่ เฉพาะปีแรก และมีผลตกค้างในดินเป็นเวลาอย่างน้อย 3 ปี หรือการใส่หินฟอสเฟตอัตรา 100-200 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตรา 4 ตัน/ไร่ การใช้โดโลไมท์อัตราสูง ร่วมกับปุ๋ยหมักหรือหินฟอสเฟตจะทำให้เกิดสภาวะการเกินปุ๋ยได้ (กำชัย และคณะ, 2544)

### ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟต

การนำหินฟอสเฟต มาใช้เพื่อเป็นปุ๋ยโดยตรงให้กับพืชนั้น ความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตต่อพืชจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ หลายประการ ดังนี้

1. ธรรมชาติของหินฟอสเฟต หินฟอสเฟตมีองค์ประกอบทางธรณีเคมี (geochemistry) แตกต่างกันไปในแต่ละแหล่งกำเนิด ซึ่งจะมีปริมาณแคลเซียมฟอสเฟตไม่แน่นอน แต่โดยทั่วไปแล้ว จะมีปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด 10 ถึง 40 %  $P_2O_5$  ปริมาณของฟลูออรีนในหินฟอสเฟตมีความสำคัญต่อความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟต หากมีฟลูออรีนมากจะทำให้หินฟอสเฟตมีความเสถียรต่อการสลายตัวเพื่อให้ฟอสเฟตไอออนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น หินฟอสเฟตจากแหล่งทางธรณี (geographical source) ต่างกันจะมีประสิทธิภาพแตกต่างกัน หินฟอสเฟตที่เกิดจากหินอัคนีจะสลายตัวให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้น้อยกว่าหินฟอสเฟตที่เกิดจากหินชั้น และพบว่าหินฟอสเฟตที่มีปริมาณคาร์บอนेटสูงกว่าจะมีคุณภาพที่ดีกว่า

2. ขนาดของอนุภาคของปุ๋ย (particle size) ของหินฟอสเฟต หินฟอสเฟตสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยให้แก่พืชชนิดต่าง ๆ ได้โดยไม่จำเป็นต้องนำมาผ่านกระบวนการทางเคมีใด ๆ เพียงแต่นำหินฟอสเฟตมาบดให้ละเอียดเป็นผง แล้วนำไปใส่โดยตรงในดินที่ปลูกพืชความละเอียดของปุ๋ยหินฟอสเฟตขนาด 100 เมช (mesh) เพียงพอที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด แม้ว่าบดให้ละเอียดมากกว่านี้ก็ไม่ทำให้เกิดความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น

3. ชนิดของดิน ดินต่างชนิดกันจะทำให้ฟอสเฟตละลายได้ต่างกันโดยเฉพาะดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่างกัน การใช้หินฟอสเฟตในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นด่าง ให้ผลต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่มากเท่ากับการใช้ดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกรด กล่าวคือหินฟอสเฟตจะมีประสิทธิภาพดีกว่าในดินกรด เมื่อเปรียบเทียบกับในดินเป็นกลางและดินที่เป็นด่าง

ในการศึกษาหลายกรณีพบว่าในสภาพที่เป็นกรดนั้นหินฟอสเฟตจะมีประสิทธิภาพดีทัดเทียมกับปุ๋ยเคมีฟอสเฟตและปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต แต่ในดินที่เป็นกลางหินฟอสเฟตจะมี

ประสิทธิภาพต่ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของการใส่ปุ๋ย แต่สำหรับดินที่เป็นกรดปานกลาง (pH 5.4) นั้น หินฟอสเฟตจะให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำกว่าปุ๋ยเคมีฟอสเฟต และปุ๋ยซุเปอร์ฟอสเฟตในระยะแรก แต่หากไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้นในปีต่อ ๆ ไป การใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตจะไม่ต่างกับซุเปอร์ฟอสเฟต นอกจากนี้ยังพบว่าหินฟอสเฟตที่มีแร่อะพาไทต์อยู่มากส่วนใหญ่จะละลายได้ดี และเป็นประโยชน์ต่อพืชในดินที่มีสภาพเป็นกรด แต่หินฟอสเฟตพวกเหล็กฟอสเฟตและอะลูมิเนียมฟอสเฟตเป็นหลักสามารถนำมาใช้ได้ดีในดินที่มีสภาพเป็นด่าง อย่างไรก็ตามสาเหตุที่หินฟอสเฟตละลายได้ต่างกัน在地ต่างชนิด และในบางกรณีมิใช่เนื่องมาจากความเป็นกรด-ด่างของดินเพียงปัจจัยเดียว แต่จะยังขึ้นอยู่กับค่าดัชนีของการดูดซับฟอสฟอรัส (index of P-adsorption) ของดินด้วย เมื่อเปรียบเทียบหินฟอสเฟตกับปุ๋ยซุเปอร์ฟอสเฟตในดินกรด 4 ชนิดพบว่าในดิน 3 ชนิด ประสิทธิภาพของหินฟอสเฟตขึ้นอยู่กับอัตราการละลายของหินฟอสเฟต แต่ในดินอีกชนิดหนึ่งหินฟอสเฟตกลับมีประสิทธิภาพทัดเทียมกับซุเปอร์ฟอสเฟต ความแตกต่างนี้ไม่สัมพันธ์กับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน แต่สัมพันธ์กับค่าดัชนีของการดูดซับฟอสฟอรัส ดังนั้นดินที่มีค่าบัฟเฟอร์ (buffer capacity) ของฟอสเฟต ( $\text{PO}_4$ ) สูง จะมีผลทำให้หินฟอสเฟตละลายได้ดีขึ้น และมีการปลดปล่อยฟอสเฟตจากดินออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น (Chien, 2003)

4. ชนิดของพืช พืชต่างชนิดกันมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากหินฟอสเฟตแตกต่างกันไป พืชที่มีระยะการเจริญเติบโตยาว จะใช้ประโยชน์จากหินฟอสเฟตได้ดีกว่า ทั้งนี้เพราะปุ๋ยหินฟอสเฟตมีผลตกค้างในดินนาน ส่วนพืชฤดูเดียว (annual crop) ใช้ประโยชน์จากหินฟอสเฟตได้น้อยกว่า นอกจากนี้ยังพบว่ารากของพืชหลายชนิดสามารถปลดปล่อยกรดอินทรีย์ต่างๆ ออกมาละลายหินฟอสเฟตให้เป็นประโยชน์ต่อพืชมากยิ่งขึ้น โดยมีตัวอย่างจากการศึกษาของ International Institute of Tropical Agriculture (IITA) ที่ทำการทดลองในประเทศไนจีเรีย ได้ทำให้สามารถใช้หินฟอสเฟตเป็นแหล่งฟอสฟอรัสเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตในการปลูกพืชชนิดนี้ได้เป็นอย่างดี

5. การใส่สารต่างๆ ลงไปในดิน ด้วยวัตถุประสงค์ที่เพิ่มการละลายของปุ๋ยหินฟอสเฟตได้แก่

- 1) การใส่ปูน การใส่ปูนซึ่งมีผลทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น
- 2) การเติมกรด ซึ่งการเติมกรดจะช่วยให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสจากหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น ไม่ว่าจะเป็นกรดอินทรีย์หรือกรดอนินทรีย์ การเติมกรดซัลฟิวรัส ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) และฟอสฟอรัส ( $\text{H}_2\text{PO}_3$ ) ลงไปในดิน ทำให้เกิดการละลายของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น
- 3) การใส่กำมะถัน การใช้กำมะถันซึ่งเป็นธาตุที่ทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลง จึงมีผลต่อการละลายของหินฟอสเฟตและการดูดซับฟอสฟอรัสของพืช นอกจากการใช้กำมะถันโดยตรงแล้ว แร่ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น แร่

ไฟโรต์ ก็มีอิทธิพลต่อความเป็นประโยชน์ของหินฟอสเฟตเช่นเดียวกัน 4) การใส่อินทรีย์วัตถุ การเติมอินทรีย์วัตถุลงไปในดินช่วยให้เกิดประโยชน์ของหินฟอสเฟต ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของอินทรีย์วัตถุด้วย หากเป็นอินทรีย์วัตถุที่สลายตัวง่าย จะเกิดการสลายตัวในดินก่อให้เกิดกรดอินทรีย์ต่าง ๆ นอกจากนี้ยังพบว่า การใส่ปุ๋ยคอกก็จะช่วยให้หินฟอสเฟตมีประโยชน์เพิ่มขึ้นเช่นกัน 5) การใส่ปุ๋ยเคมี การเติมปุ๋ยเคมี เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต และโพแทสเซียมคลอไรด์ลงไปในดินมีผลทำให้หินฟอสเฟตเกิดประโยชน์ต่อข้าวมากขึ้น ส่วนการใส่ปุ๋ยยูเรียนั้นช่วยให้หินฟอสเฟตละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากยูเรียช่วยย่อย (hydrolyze) อินทรีย์วัตถุในดินก่อให้เกิดสารประกอบที่ไปจับกับแคลเซียมทำให้การละลายของหินฟอสเฟตเพิ่มขึ้น

### การเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายปุ๋ยหินฟอสเฟต

ในการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายปุ๋ยหินฟอสเฟต สามารถทำได้ดังนี้

1. การใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายปุ๋ยหินฟอสเฟต จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต คือจุลินทรีย์ที่สามารถละลายอนุภาคแคลเซียมฟอสเฟตในอาหารเลี้ยงเชื้อให้บริเวณรอบโคโลนีใส (clear zone) ได้ เนื่องจากจุลินทรีย์เหล่านี้มีอยู่แล้วในดินโดย Agnihotri (1970) อ้างโดยภavana(2545) พบว่าราที่ขึ้นอยู่ในเรือนเพาะชำกล้าไม้สามารถละลายอะพาไทต์และฟลูโรอะพาไทต์ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวและพบว่าที่ละลายหินนี้ได้ ดังนั้นประสิทธิภาพในการละลายสารอนินทรีย์ฟอสเฟตจึงขึ้นอยู่กับปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์เหล่านั้น สำหรับจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ประเภทนี้จากแหล่งต่างๆ เมื่อเทียบกับจุลินทรีย์ทั้งหมด จุลินทรีย์ละลายสารอนินทรีย์ฟอสเฟตจากดินรอบผิวรากของพืชหลายชนิด เช่น ชับเทอราเนียมโคลเวอร์ หญ้าไรย์และข้าวสาลี มีร้อยละ 26-39 ของประชากรจุลินทรีย์ทั้งหมด หากจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในดินรอบผิวรากพืชเพิ่มขึ้น จำนวนจุลินทรีย์ละลายสารอนินทรีย์ฟอสเฟตมักเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนด้วย นอกจากนี้พวกที่แยกได้จากดินรอบผิวราก มักจะมีกิจกรรมการละลายสารอนินทรีย์ฟอสเฟตสูงกว่าพวกที่แยกมาจากดินส่วนที่ห่างจากผิวราก (<http://www.gofertilizerplus.com>)

เนื่องจากหินฟอสเฟตโดยทั่วไปจะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อย ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งพบว่าจุลินทรีย์ดินหลายชนิดที่เป็นทั้งพวกแบคทีเรีย รา ยีสต์ และแอคติโนมัยซิส สามารถทำให้หินฟอสเฟตละลายออกมาให้ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น เช่น พวก *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Aspergillus*, *Penicillium* เป็นต้น Gaur และคณะ (1973) อ้างโดยภavana (2545) รายงานว่าร้อยละ 1-6 ของ 87 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส ที่ใส่เข้าไปในรูปปุ๋ยหินฟอสเฟตจะถูกละลายออกมาโดยเชื้อราภายใน 7 วัน

การสลายหินฟอสเฟตโดยจุลินทรีย์ในกลุ่มแบคทีเรียและราจะมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนรูปของสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำซึ่งพืชไม่สามารถไปใช้ประโยชน์ได้โดยเฉพาะฟอสเฟตที่ถูกตรึงด้วยกระบวนการทางเคมีในดินให้อยู่ในรูปพืชสามารถดึงดูมาใช้ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโต ซึ่งจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้จะแบ่งเป็นกลุ่มๆ คือ 1) กลุ่มของจุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์ฟอสเฟตสเฟส ประกอบด้วย รา เช่น แอสเพอร์จิลลัส เพนนิซิลเลียม แบคทีเรีย เช่น อาร์โทรแบคเตอร์สเตรปโตมัยซิส โปรเตียส เซอร์ราเตีย ซูโดโมแนส และ บาซิลลัส 2) กลุ่มจุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์นิวคลีเอส ประกอบด้วย รา เช่น แอสเพอร์จิลลัส เพนนิซิลเลียม แบคทีเรีย เช่น สเตรปโตมัยซิส บาซิลลัส คลอสทริเดียม และ อาร์โทรแบคเตอร์ 3) กลุ่มจุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์เลซิทีเนส เช่น รา และ แบคทีเรีย รวมถึงแอคติโนมัยซิสหลายชนิดที่ใช้ฟอสโฟลิพิดหรือไขมันที่มีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบเป็นแหล่งของฟอสฟอรัส เช่น ในการทดสอบประสิทธิภาพจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตในสภาพโรงเรือน พบว่า เชื้อรา PSF221, PSF035 และ เชื้อแบคทีเรีย PSB8 สามารถละลายฟอสเฟตในดินได้สูงสุด 3 อันดับแรก คือ ละลายได้ 184.65, 199.17 และ 219.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ พบว่าการใส่เชื้อรา PSF221 ทำให้ผลผลิตข้าวโพดหวานใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยเคมีที่ให้ผลผลิตสูงถึง 2,240.00 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่การใส่เชื้อรา PSF221 ให้ผลผลิต 2,124.44 กิโลกรัมต่อไร่ และสามารถเพิ่มฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินได้สูงกว่าถึง 29.84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (วุฒิชัย และคณะ, 2529) และการใช้แบคทีเรียละลายหินฟอสเฟต *Burkholderia* sp. สายพันธุ์ RsO1 ทำให้ข้าวโพดหวานเจริญเติบโตสูงกว่าไม่ใส่อย่างเด่นชัด (สุภาพร และคณะ, 2553)

จุลินทรีย์ที่ละลายสารอนินทรีย์ฟอสเฟต มีมากในดินรอบผิวราก มีการทดลองใส่แบคทีเรียหรือราที่ละลายสารอนินทรีย์ฟอสเฟตในดินที่ปลูกพืช ในเรือนปลูกพืชทดลอง ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช สรุปได้ว่ามะเขือเทศไม่ตอบสนองต่อการใส่แบคทีเรียละลายสารอนินทรีย์ฟอสเฟตในดิน ส่วนพืชอื่นมีน้ำหนักต้นและปริมาณฟอสฟอรัสที่ดูดได้มากขึ้น สำหรับการใส่เชื้อราหรือเชื้อราร่วมกับแบคทีเรียในดิน ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินสูงขึ้น พืชทดลองมีน้ำหนักต้นและปริมาณฟอสฟอรัสที่ดูดได้มากขึ้น ในกรณีที่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับจุลินทรีย์ก็จะทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินสูงกว่าเดิม สำหรับการทดลองภาคสนามกับบางพืชได้ผลดังนี้ คือ เมื่อใส่แบคทีเรีย *Bacillus firmus* กับหินฟอสเฟตทำให้น้ำหนักต้นข้าวเพิ่มขึ้น เชื้อรา *Penicillium bilagi* กับหินฟอสเฟตทำให้น้ำหนักต้นข้าวสาเล่เพิ่มร้อยละ 10-27 และสะสมฟอสฟอรัสในพืชมากขึ้นร้อยละ 15-34 *Pseudomonas striata* และ *Aspergillus awamori* ช่วยเพิ่มน้ำหนักต้นข้าวสาเล่ (<http://www.gofertilizerplus.com>)

2. การใช้อินทรีย์วัตถุในการย่อยสลายปุ๋ยหินฟอสเฟต การใส่อินทรีย์วัตถุลงในดินช่วย

ให้เกิดประโยชน์ของหินฟอสเฟตทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของอินทรีย์วัตถุด้วย หากเป็นอินทรีย์วัตถุที่สลายตัวง่ายจะเกิดการสลายตัวในดินก่อให้เกิดกรดอินทรีย์ต่างๆ โดยสามารถใช้ประโยชน์ร่วมกับหินฟอสเฟตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลาย และสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารฟอสฟอรัสออกมา กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นได้ดีในดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง หรือในดินที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยคอก ตลอดจนอินทรีย์วัตถุในรูปอื่น ๆ อย่างสม่ำเสมอ (วุฒิชัย, 2529) นอกจากนี้การเติมจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายก็จะช่วยให้ฟอสฟอรัสละลายออกมาได้มากยิ่งขึ้น พบว่าการหมักปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับมูลสุกรและจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย (EM) ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสสูงกว่ากรณีใส่หินฟอสเฟตและมูลสุกร และกรณีใส่หินฟอสเฟตอย่างเดียวร้อยละ 55.2 และ 928.6 ตามลำดับ (Matiullah and Muhammad, 2012) การทดลอง พบว่า การใช้ปุ๋ยหมักและหินฟอสเฟต มีปฏิกิริยาสัมพันธ์ร่วมกัน โดยกรณีไม่ใส่ปุ๋ยหมักแต่ใส่หินฟอสเฟตอัตรา 400 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิตข้าวโพดสูงสุด 810.6 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่แตกต่างทางสถิติจากการใส่ในอัตรา 100, 200 และ 300 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งให้ผลผลิต 684.5, 772.0 และ 740.2 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับและการใส่หินฟอสเฟตทั้ง 4 อัตรา ให้ผลผลิตข้าวโพดสูงกว่ากรณีไม่ใส่หินฟอสเฟตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (กำชัย และคณะ, 2544)

**ตารางที่ 2.1** ผลผลิตข้าวโพด (กก./ไร่) จากการใช้ปุ๋ยหมักและหินฟอสเฟตอัตราต่างๆ

| หินฟอสเฟต (กก./ไร่) | ปุ๋ยหมัก (ตัน/ไร่) |          |          | เฉลี่ย |
|---------------------|--------------------|----------|----------|--------|
|                     | 0                  | 2        | 4        |        |
| 0                   | 481.0 b            | 633.8 b  | 731.7 b  | 615.5  |
| 100                 | 684.5 a            | 705.0 ab | 896.3 a  | 761.9  |
| 200                 | 772.0 a            | 803.8 a  | 841.4 ab | 805.7  |
| 300                 | 740.2 a            | 679.9 ab | 748.3 b  | 722.8  |
| 400                 | 810.6 a            | 692.2 ab | 782.7 ab | 761.8  |
| เฉลี่ย              | 697.7              | 702.9    | 800.1    |        |

ที่มา: กำชัย และคณะ (2544)

การใส่ปุ๋ยหมักร่วมด้วย สามารถใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตลดลง เช่น การใส่ปุ๋ยหมัก 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยหินฟอสเฟต 200 กิโลกรัม/ไร่ ให้ผลผลิตข้าวโพดสูงสุด 803.8 กิโลกรัม/ไร่ แต่เมื่อเพิ่มปุ๋ยหมักเป็น 4 ตัน/ไร่ และใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตเพียง 100 กิโลกรัม/ไร่ จะได้ผลผลิตข้าวโพดสูงสุด 896.3 กิโลกรัม/ไร่

## น้ำส้มควันไม้

### คุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้

น้ำส้มควันไม้ เป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านไม้ภายใต้สภาพอับอากาศ เมื่อให้ควันที่เกิดจากการเผาไหม้ไม้สดผ่านสภาพอากาศเย็นจะทำให้ควันเกิดการควบแน่น และรวมตัวเป็นของเหลว น้ำส้มควันไม้มีสารประกอบต่าง ๆ มากกว่า 200 ชนิด สารประกอบที่สำคัญ ได้แก่ น้ำร้อยละ 85 กรดอินทรีย์ประมาณร้อยละ 3 และ สารอินทรีย์อื่น ๆ อีกประมาณร้อยละ 12 ซึ่งกรดอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำส้มควันไม้มีหลายชนิด ที่สำคัญ คือ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก พอร์มาลดิไฮด์ เอซิลเอ็นวาเลอเรต เมทานอล น้ำมันทาร์ อะซีโตน และ ฟีนอล ฯลฯ สารประกอบที่สำคัญในน้ำส้มควันไม้มีรายละเอียดดังนี้ 1) กรดอะซิติก เป็นสารกลุ่มออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค เชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย และเชื้อไวรัส 2) สารประกอบฟีนอล เป็นสารในกลุ่มควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และสารฆ่าแมลง ใช้ล้างแผล ทำยาจำพวกแอสไพริน และทำวัตถุหลอมเหลว 3) พอร์มัลดีไฮด์ เป็นสารในกลุ่มออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค และแมลงศัตรูพืช 4) เอซิลเอ็นวาเลอเรต เป็นสารในกลุ่มเร่งการเจริญเติบโตของพืช 5) เมทานอล ช่วยเร่งการงอกของเมล็ดและราก ใช้ฆ่าเชื้อโรคได้ และ เป็นสารในกลุ่มออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค เช่น เชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย และเชื้อไวรัส 6) อะซีโตน เป็นสารละลายวัสดุอินทรีย์ ใช้ทำน้ำยาทาเล็บและเป็นสารเสพติด 7) น้ำมันทาร์ เป็นสารจับใบช่วยลดการใช้สารเคมี (ดร.ณิ, 2554)

น้ำส้มควันไม้มีรสเปรี้ยว มี pH 1.5-3.7 จากคุณสมบัติของน้ำส้มไม้ดังกล่าวข้างต้นจึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ ใช้กันมอดแมลง เร่งการเจริญเติบโตของพืช ใช้ในการล้างคอกสัตว์เลี้ยง แก้อาการน้ำกัดเท้า เป็นส่วนผสมเครื่องสำอาง ทำผิวงานไม้เพื่อกันเชื้อรา และใช้ทดแทนสารเคมีที่เป็นอันตรายบางชนิด (<http://www.rum.psu.ac.th/Index.php/energy>)

### การใช้ประโยชน์น้ำส้มควันไม้ในการเกษตร

ใช้ฉีดพ่นใบพืช ใช้ 2-3 ครั้ง หรือทุก 15-20 วัน ในช่วงฤดูการเพาะปลูกและเติบโตจนถึง 15 วันก่อนการเก็บเกี่ยว ในการใช้ก่อนการเก็บเกี่ยว นั้น สารอินทรีย์ในน้ำส้มไม้จะช่วยเร่งการหมักตัวของกรดอะมิโนและน้ำตาลซึ่งจะเพิ่มรสหวานและกลิ่นหอมของผลไม้

ในกรณีของผัก ฉีดน้ำส้มไม้ก่อนเก็บเกี่ยว ช่วยให้คุณภาพและรสชาติดีขึ้น รวมทั้งชะลอการเหี่ยวเฉา สำหรับผักใบใช้ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ก่อนเก็บเกี่ยว

ในกรณีผลไม้และผักกินใบที่ใช้เวลานานในการเก็บเกี่ยว ควรใช้น้ำส้มไม้ 2 หรือ 3 ครั้ง ทุก 15 – 20 วัน เริ่มจากช่วงต้นของการเก็บเกี่ยว

สำหรับผลไม้เมื่อผลไม้โตเต็มที่และเริ่มสุก เช่น ส้มจีน เมื่อสีเริ่มเปลี่ยนควรใช้น้ำส้มควันไม้ 1 – 2 ครั้ง ทุก 20 วัน จนถึง 15 วันก่อนเก็บเกี่ยว

โดยทั่วไปการใช้น้ำส้มควันไม้ควรเจือจางประมาณ 300:1 ถึง 1000:1 ความเข้มข้นที่มากกว่า 300:1 อาจส่งผลต่อพืช ซึ่งอาจมีอาการต่างๆ คือ มีจุดบนใบ พืชชะงักการเจริญเติบโต ชั่วคราว และสารชะลอการเติบโตของผลถูกกระตุ้น อัตราส่วนเจือจางที่เหมาะสม ควรทำการทดลองกับพืชแต่ละชนิด และสังเกต 3-4 วัน ก่อนจะใช้อย่างเต็มที่ ควรใช้อย่างระมัดระวังในพืชที่มีความไวต่อสารเคมีและพืชใบอ่อน

ในการเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำส้มควันไม้ สามารถใช้ร่วมกับสาหร่ายทะเล ปลา หรือ ก้างปลาที่สกัดได้ โดยใช้ก่อนการเก็บเกี่ยว จากที่ได้กล่าวมาแล้ว ใช้น้ำส้มควันไม้ร่วมกับสารเคมีเกษตรจะมีประสิทธิภาพมากกว่าใช้แยกกัน และน้ำส้มควันไม้สามารถใช้ร่วมกับกระเทียมช่วยป้องกันแมลงและการติดเชื้อราได้

การใช้น้ำส้มควันไม้ร่วมกับสารเคมีเกษตร สารเคมีเกษตรละลายได้ดี และทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในของเหลวที่มีค่า pH ประมาณ 4-5 ดังนั้นผสมน้ำส้มควันไม้ซึ่งเจือจางแล้ว 500-1,000 เท่า จะทำให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น และสามารถลดปริมาณการใช้ รวมถึงไม่จำเป็นต้องใช้ตัวช่วยที่ทำให้สารเคมีติดอยู่กับพืช เนื่องจากน้ำมันทาร์ในน้ำส้มควันไม้ได้ทำหน้าที่นี้แล้ว แต่

น้ำส้มควันไม้ไม่สามารถใช้ร่วมกับสารที่เป็นด่างใช้ในการบำรุงดิน (มูลนิธิเกษตรกรรมธรรมชาติ, 2557) ผลดีที่จะได้กับดินมีดังนี้

- ความเสียหายที่เกิดจากแมลงและโรคในดินลดลง
- น้ำส้มควันไม้เพิ่มประสิทธิภาพให้ปุ๋ย โดยทำให้ง่ายต่อการดูดซึมของพืช
- น้ำส้มควันไม้ลดความเสียหายอันเกิดจากความเค็ม

ควรจะใช้ร่วมกับอย่างอื่น เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยอินทรีย์ ในการปรับปรุงคุณภาพของดินในระยะยาว โดยเฉพาะดินซึ่งเสื่อมคุณภาพ อันเกิดจากการเก็บเกี่ยวไม่ดี และการใช้สารเคมีเกินควร น้ำส้มควันไม้ที่ใช้ใส่ในดินควรมีความเข้มข้นสูงกว่าที่ใส่บนใบพืช น้ำส้มควันไม้ซึ่งมีความเข้มข้น 30 ต่อ 1 ใช้ในปริมาณ 6 ลิตรต่อ 1 ตารางเมตร โดยทั่วไปในการฆ่าเชื้อในดินหรือขจัดไส้เดือนฝอย ความเข้มข้นที่สูงกว่านี้สามารถนำไปใช้ได้โดยปกติ การฆ่าเชื้อในดินควรใช้น้ำส้มควันไม้ซึ่งมีค่า pH 3 และมีความต่างจำเพาะ 1.014 และเจือจาง 8 เท่า โดยใช้ปริมาณ 1 ลิตรต่อ 1 ตารางเมตร อย่างไรก็ตาม ไส้เดือนฝอย มีความต้านทานสูง ต้องใช้เวลา 3-4 ปีเพื่อขจัดให้หมดสิ้น

สำหรับดินปลูกผัก ให้ใช้น้ำส้มควันไม้ ความเข้มข้น 30 ต่อ 1 ก่อนปลูกโดยใช้ 6 ลิตรต่อ 1 ตารางเมตร ควรจะให้น้ำส้มควันไม้ซึมลงในดินประมาณ 50 เซนติเมตร โดยจะทำก่อนหรือหลังการไถดินก็ได้ ควรใช้ปุ๋ยหมักก่อนใส่น้ำส้มควันไม้ เนื่องจาก หากใช้น้ำส้มควันไม้ก่อนอาจจะฆ่าจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ ดังนั้นควรใส่ปุ๋ยหมักก่อน และสุดท้ายพรวนลงไปพร้อมกัน ควรใช้ปุ๋ยหมักและน้ำส้มไม้ช่วยพัฒนาคุณภาพดินในระยะยาวสำหรับไม้ผลและพืชที่ปลูกในกระถาง

กรณีไม้ผล ให้รดสับจุตรอบต้นไม้ในบริเวณที่โดนฝน และมีรากเล็ก ควรเจือจางน้ำส้มควันไม้ 30-50 เท่า และใช้ 500 ลิตรต่อ 1,000 ตารางเมตร

กรณีไม้กระถาง ผสมน้ำส้มควันไม้กับดินและทิ้งไว้ 10-15 วัน เพื่อระบายก๊าซออกก่อนใส่ในกระถางใช้ในการหมักปุ๋ยช่วยเร่งกระบวนการหมักโดยเฉพาะมูลสุกรและมูลไก่ การหมักจะเร็วขึ้นถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น อุณหภูมิของปุ๋ยที่หมักมา 4 วัน จะสูงถึง 80 องศาเซลเซียส ถ้าใช้น้ำส้มควัน

ไม่ช่วย ควรใช้น้ำส้มควันไม้ที่เจือจาง 100 เท่า รดลงบนปุ๋ย แต่ควรระวังไม่ควรใช้น้ำส้มควันไม้ซึ่งเข้มข้นกว่านี้ เนื่องจากจะไปฆ่าเชื้อ เมื่อรากพืชเป็นโรค ให้ใช้น้ำส้มควันไม้เจือจาง 100–200 เท่า รดที่โคนต้น ให้ชุ่มจนลึก 50 เซนติเมตร สำหรับมะเขือเทศและแตงกวา ให้ใช้ 1–2 ลิตรต่อต้น เพื่อเพิ่มความสดชื่น แข็งแรง และพัฒนาการของราก

น้ำส้มควันไม้เป็นตัวลดกลิ่นหรือเป็นอาหารเสริม การลดกลิ่นมูลสัตว์ ให้รดมูลสัตว์หรือพื้นคอกเลี้ยงสัตว์ด้วยน้ำส้มไม้เจือจาง 50 เท่า บ่อยครั้งเท่าที่จะทำได้ น้ำส้มควันไม้สามารถเป็นอาหารเสริมสำหรับสัตว์ โดยช่วยปรับระดับแบคทีเรียในลำไส้ และช่วยการดูดซึมสารอาหาร ทำให้เนื้อไก่มีสีชมพู และลดปริมาณน้ำในเนื้อไก่เหลือประมาณร้อยละ 3 ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณภาพไก่โดยรวมเพาะน้ำส้มควันไม้ซึ่งได้ผ่านการกลั่นอย่างดีแล้วเท่านั้น จึงสามารถจะใช้กับสัตว์ได้ การผสมในอาหาร ให้ราดจนชุ่มบนรำข้าว ซึ่งขจัดไขมัน หลังจากนั้นผสมในอาหารสัตว์ในอัตราส่วน 99 : 1 ส่วนผสมนี้เหมาะสำหรับสัตว์ใหญ่

ปัจจุบันมีผู้ผลิตน้ำส้มควันไม้ออกมาจำหน่ายมากมาย ซึ่งผู้ผลิตแต่ละรายก็มีเทคโนโลยีการผลิตที่ต่างกันไป ทำให้คุณภาพของน้ำส้มควันไม้แตกต่างกัน ดังนั้นก่อนซื้อหรือนำมาใช้ ควรศึกษาให้แน่ใจว่าน้ำส้มไม้ที่ได้มานั้น ผลิตจากโรงงานหรือบริษัทที่ได้มาตรฐาน และมีแหล่งผลิตที่ชัดเจน มีคุณภาพมาตรฐาน พร้อมข้อบ่งชี้ หรือวิธีการใช้ที่ผ่านการทดสอบแล้วเท่านั้น เนื่องจากน้ำส้มควันไม้มีทั้งคุณและโทษ หากใช้ไม่ถูกต้องอาจส่งผลเสียต่อผลผลิตได้เนื่องจากน้ำส้มควันไม้เป็นสารอินทรีย์ จึงควรใช้ติดต่อกันประมาณ 1 เดือนจึงจะเห็นผล

ขอแนะนำเพิ่มเติมสำหรับการใช้น้ำส้มควันไม้

**อัตราส่วน 1: 20** (ผสมน้ำ 20 เท่า) พ่นลงดินเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่เป็นประโยชน์และแมลงในดินซึ่งควรทำการเพาะปลูก 10 วัน

**อัตราส่วน 1: 50** (ผสมน้ำ 50 เท่า) พ่นลงดินเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำลายพืช หากใช้ความเข้มข้นที่มากกว่านี้รากพืชอาจได้รับอันตรายได้

**อัตราส่วน 1: 100** (ผสมน้ำ 100 เท่า) ราดโคนต้นไม้รักษาโรครา และโรคเน่า รวมทั้งป้องกันแมลงมาวางไข่

**อัตราส่วน 1: 200** (ผสมน้ำ 200 เท่า) พ่นใบไม้รวมทั้งพื้นดินรอบๆ ต้นพืชทุกๆ 7-15 วัน เพื่อขับไล่แมลงและป้องกันเชื้อรา และรดโคนต้นไม้เพื่อเร่งการเจริญเติบโต

**อัตราส่วน 1: 500** (ผสมน้ำ 500 เท่า) พ่นผลอ่อน หลังจากติดผลแล้ว 15 วัน ช่วยขยายผลให้โตขึ้นและพ่นอีกครั้ง ก่อนเก็บเกี่ยว 20 วัน เพื่อเพิ่มน้ำตาลในผลไม้

**อัตราส่วน 1: 1,000** (ผสมน้ำ 1,000 เท่า) เป็นสารจับใบ เนื่องจากสารเคมีสามารถออกฤทธิ์ได้ดีในสารละลายที่เป็นกรดอ่อนๆ ช่วยเสริมประสิทธิภาพของสารเคมีทำให้สามารถลดการใช้สารเคมีลงได้ (<http://www.photharam.ratchaburi.aoae.go.th/ny.do>)

### น้ำสกัดชีวภาพ

น้ำสกัดชีวภาพ ได้จากการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรทั้งพืชหรือสัตว์ในรูปของสด เช่น เศษใบไม้ เศษผลไม้ เศษชิ้นส่วนของปลา กุ้ง กระจูดปุย หอยเชอรี่ มูลสัตว์ต่าง ๆ เป็นเศษวัสดุในการหมักร่วมกับกากน้ำตาลโดยมีกิจกรรมจุลินทรีย์ในสภาพไร้อากาศหรือไม่ต้องการออกซิเจนเป็นหลัก ทำหน้าที่ย่อยสลายร่วมกับกระบวนการทำให้ของเหลวในเซลล์พืช หรือเซลล์สัตว์ถูกสกัดออกมาสู่ภายนอกเซลล์ น้ำหรือของเหลวที่ได้จากการหมักจะประกอบด้วย กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน กรดฮิวมิก เอนไซม์ ฮอร์โมน วิตามิน และแร่ธาตุอาหารพืช และมีจุลินทรีย์รวมอยู่ด้วย ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต สารประกอบต่าง ๆ จะมีมากน้อยแตกต่างกันไปขึ้นกับวัสดุที่ใช้ในการหมัก น้ำสกัดชีวภาพมีการเรียกชื่อต่างกันไป เช่น ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ น้ำหมักคอง น้ำเอนไซม์ ปุ๋ยหมักน้ำ (สาส์, 2544)

จากการตรวจวิเคราะห์สมบัติของน้ำสกัดชีวภาพจากวัสดุต่าง ๆ คือ ผัก ผลไม้ ปลา และหอยเชอรี่ ซึ่งรายงานโดยกองเกษตรเคมี (2545) พบว่าน้ำสกัดชีวภาพมีความเป็นกรดเนื่องจากในกระบวนการหมักวัสดุแต่ละชนิด จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสร้างกรดอินทรีย์ในปริมาณมาก ได้แก่ กรดแลคติก และกรดอะซิติก และ ยังพบว่าค่าสภาพนำไฟฟ้าค่อนข้างสูง ดังนั้นจำเป็นต้องเจือจางเมื่อนำมาใช้กับพืช ในกระบวนการหมักยังเกิดกรดฮิวมิก โดยในช่วงแรกของการหมักเกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นการย่อยจะเกิดช้าลงจนแปรสภาพเป็นสารฮิวมิก ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อน และสลายตัวได้ยาก มีขนาดโมเลกุลใหญ่ สารฮิวมิกมีสมบัติเป็นคอลลอยด์ ประกอบด้วยฮิวมิน กรดฟุลวิก และกรดฮิวมิก (กองเกษตรเคมี, 2545; กรมพัฒนาที่ดิน, 2545) สำหรับปริมาณธาตุอาหารพืชในน้ำสกัดชีวภาพมีค่อนข้างน้อย เช่นเดียวกับปุ๋ยหมักทั่วไป (ตารางที่ 2.2)

**ตารางที่ 2.2** ความเป็นกรดเป็นด่างและสภาพนำไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพ

| ชนิดน้ำสกัดชีวภาพ | ความเป็นกรดเป็นด่าง | สภาพนำไฟฟ้า (dS/m) | กรดฮิวมิก (%) |
|-------------------|---------------------|--------------------|---------------|
| ผัก               | 3.6-4.9             | 2.14-49.00         | 0.002-0.14    |
| ผลไม้             | 3.4-3.9             | 1.42-16.82         | 0.03-1.00     |
| ปลา               | 4.0-4.7             | 20.30-27.00        | 0.02-0.59     |
| หอยเชอรี่         | 4.3-4.9             | 17.35-45.00        | 0.04-0.64     |

ที่มา: กองเกษตรเคมี (2545)

**ตารางที่ 2.3** ปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในตัวอย่างน้ำสกัดชีวภาพ

| ชนิดน้ำสกัดชีวภาพ | ธาตุอาหารพืช (%) |           |           |           |            |            |
|-------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
|                   | N                | P         | K         | Ca        | Mg         | S          |
| ผัก               | 0.07-0.92        | 0.01-0.40 | 0.14-1.84 | 0.01-1.19 | 0.009-0.19 | 0.001-0.29 |
| ผลไม้             | 0.07-1.91        | 0.03-0.78 | 0.05-1.84 | 0.09-1.06 | 0.026-0.35 | 0.008-0.54 |
| ปลา               | 1.45-3.45        | 1.04-1.30 | 1.04-2.39 | 0.14-1.00 | 0.038-0.22 | 0.002-0.30 |
| หอยเชอรี่         | 0.24-2.64        | 0.02-0.93 | 0.42-1.47 | 0.13-1.98 | 0.045-0.16 | 0.006-0.42 |

ที่มา: กองเกษตรเคมี (2545)

น้ำสกัดชีวภาพยังประกอบด้วยฮอร์โมนพืชที่สำคัญ เช่น ออกซิน ซึ่งช่วยทำให้พืชสร้างรากฝอยและรากแขนงได้มากขึ้น เพิ่มการแบ่งเซลล์ และขยายขนาดของเซลล์ ส่งเสริมการออกดอกและติดผล รวมทั้งกระตุ้นการสุกของผล ฮอร์โมนจิบเบอเรลลิน ช่วยกระตุ้นการแบ่งเซลล์ ชักนำการงอกของเมล็ด การยืดตัวของลำต้น พัฒนาการเกิดหน่อข้าง ส่งเสริมการออกดอก ติดผล และกระตุ้นการสุกของผลเช่นเดียวกัน ส่วนฮอร์โมนไซโตไคนิน ช่วยกระตุ้นการแบ่งเซลล์ ส่งเสริมการพัฒนาการ การเกิดหน่ออ่อน การขยายขนาดใบ ทำให้การสังเคราะห์แสงมากขึ้น และทำให้เกิดตาออกเร็วขึ้น ปริมาณฮอร์โมนชนิดต่างๆ ในน้ำสกัดชีวภาพที่ได้จากวัสดุต่างๆ ก็มีในปริมาณต่างกัันดังตารางที่ 2.4

**ตารางที่ 2.4 ปริมาณฮอร์โมนในน้ำสกัดชีวภาพ**

| ชนิดน้ำสกัดชีวภาพ | ฮอร์โมน (มิลลิกรัม/ลิตร) |              |            |
|-------------------|--------------------------|--------------|------------|
|                   | ออกซิน                   | จิบเบอเรลลิน | ไซโตไคนิน  |
| ผัก               | <0.10-3.00               | 9.05-38.05   | 1.40-13.32 |
| ผลไม้             | 0.13-1.40                | 5.19-215.51  | 1.50-64.50 |
| ปลา               | <0.10-9.75               | 16.88-620.20 | 1.61-15.50 |
| หอยเชอรี่         | 0.22-3.99                | 15.13-322.96 | 1.30-12.80 |

ที่มา: กองเกษตรเคมี (2545)

ในกระบวนการหมักมีกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์บางชนิดผลิตเอ็นไซม์ เพื่อแปรสภาพอินทรีย์สารเป็นอนินทรีย์สารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายโปรตีนคือ โปรเทส ในน้ำสกัดชีวภาพจากสัตว์ทำหน้าที่แปรสภาพฟอสฟอรัสในดินให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ในน้ำสกัดชีวภาพจากพืชจะช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยจะถูกแปรสภาพให้มีโมเลกุลเล็กลง เพื่อพืชและจุลินทรีย์ในดินนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545)

**ตารางที่ 2.5 ปริมาณเอ็นไซม์บางชนิดในน้ำสกัดชีวภาพ**

| ชนิดน้ำสกัดชีวภาพ | เอ็นไซม์ (มิลลิยูนิต/ลิตร) |          | โปรตีน<br>(ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) |
|-------------------|----------------------------|----------|---------------------------------|
|                   | เซลลูเลส                   | ฟอสฟาเทส |                                 |
| ผักรวม            | 440.2                      | 69.0     | 103.6                           |
| ผลไม้             | 470.5                      | 39.5     | 114.6                           |
| ปลา               | 72.5                       | 406.8    | 745.8                           |
| หอยเชอรี่         | 68.4                       | 301.7    | 763.9                           |

ที่มา: กองเกษตรเคมี (2545)

## ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพืชที่ใช้ปลูกทดสอบ

ข้าวโพดหวาน อยู่ใน ตระกูล Gramineae ซึ่งเป็นตระกูลเดียวกับหญ้าหรือข้าว มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays* Line var. *rugosa* หรือ *saccharata* ข้าวโพดหวานมีคุณประโยชน์มากมาย นอกจากจะรับประทานเป็นผักสดแล้ว ยังสามารถนำไปแปรรูปได้หลายรูปแบบ เช่น ข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องทั้งฝัก หรือบรรจุกระป๋องเฉพาะเมล็ด ทำคริมข้าวโพดหวาน ข้าวโพดแช่แข็ง ซึ่งผลิตภัณฑ์ต่างๆ เหล่านี้ สามารถส่งไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี จีน และกลุ่มประเทศในแถบยุโรป

ข้าวโพดหวานสามารถ ปลูกได้ตลอดปี แต่นิยมปลูกกันมากในช่วงฤดูฝน และสามารถปลูกได้ดีในดินทุกสภาพ แต่จะขึ้นได้ดีในสภาพดินร่วนปนทราย จะทำให้ผลผลิตดีและเก็บเกี่ยวได้เร็วกว่าความเป็นกรด-ด่าง ของดินที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.0-6.5 ข้าวโพดหวานต้องการแสงแดดเต็มที่ตลอดวัน อุณหภูมิที่เหมาะสมในการปลูกข้าวโพดหวาน เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงที่สุดจะอยู่ในช่วง 24-30 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิกลางวัน อยู่ในช่วง 15-18 องศาเซลเซียส จะทำให้ข้าวโพดหวานมีคุณภาพดีและมีความหวานสูง

## การปลูกข้าวโพดหวาน

การปลูกข้าวโพดหวานจะแตกต่างจากการปลูกข้าวโพดไร่ เพราะข้าวโพดหวานต้องดูแลและปฏิบัติอย่างพิถีพิถัน เช่นเดียวกับการ ปลูกพืชผัก จึงจะได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ ดังนั้นในการเตรียมดินและการปลูกต้องทำอย่างประณีต โดยการไถดินลึกประมาณ 15-20 เซนติเมตร แล้วตากทิ้งไว้ 7-10 วัน เพื่อกำจัดไข่แมลงและเมล็ดวัชพืช หากมีการใส่ปุ๋ยคอกหรือหว่านปุ๋ยขาวเพื่อปรับ สภาพดินควรใส่ในช่วงนี้ แล้วจึงไถพรวนอีกครั้ง จากนั้นวัดระยะห่างระหว่างแถวประมาณ 80-100 เซนติเมตร ความยาวขึ้นอยู่กับ พื้นที่ ทำการขุดเป็นร่องลึกประมาณ 15-20 เซนติเมตร ถ้าหากสภาพดินแห้งไม่มีความชื้น ควรปล่อยน้ำเข้าตามร่อง หรือทำให้ดิน มีความชื้นบริเวณ

การปลูกในแปลงจะทำการเจาะหลุมปลูกบริเวณข้างๆ ร่อง ใช้ระยะห่างระหว่างหลุม (ต้น) ประมาณ 25-35 เซนติเมตร นำเมล็ดข้าวโพดหวานหยอดลงไป หลุมละ 1-2 เมล็ด ในพื้นที่ 1 ไร่ จะใช้เมล็ดพันธุ์ประมาณ 1-1.5 กิโลกรัม หลังหยอดเมล็ดแล้วไม่ควรปล่อยดินแห้งเกินไป ควรให้ดินมีความชื้นอย่างสม่ำเสมอ ไม่ควรให้น้ำมากเกินไป ซึ่งจะทำให้เมล็ดข้าวโพดเน่าได้ หลังจากหยอดเมล็ดพันธุ์ 5-7 วัน ข้าวโพดก็จะเริ่มงอก ให้สังเกตดูว่าถ้าหลุมที่ไม่งอกให้รีบปลูกซ่อมทันที

## การปฏิบัติดูแลรักษาข้าวโพดหวาน

**การถอนแยกต้น** ควรกระทำหลังจากหยอดเมล็ด 12-14 วัน โดยการถอนแยกให้เหลือหลุมละ 1 ต้น

## การให้ปุ๋ย

**ครั้งที่ 1** หลังจากหยอดเมล็ดประมาณ 14-10 วัน โดยการใส่ปุ๋ย 46-0-0 ผสมกับปุ๋ย 15-15-15 ในอัตรา 1:1 (ประมาณ 50 กิโลกรัม/ไร่) โดยหว่านที่ร่องน้ำข้างๆ ต้น แล้วกลบโคนต้น

**ครั้งที่ 2** เมื่อข้าวโพดหวานเริ่มติดฝักอ่อนโดยการใส่ปุ๋ยสูตร 14-14-21 หรือ 13-13-21 อัตราประมาณ 50 กิโลกรัม/ไร่ โดยหว่าน ที่ร่องพื้นแล้วกลบโคนต้น

**การให้น้ำ** ให้น้ำอย่างสม่ำเสมออย่าให้ขาดน้ำ โดยปล่อยเข้าตามร่องน้ำหรือให้แบบสปริงเกอร์

**การกำจัดวัชพืช** กระทำพร้อมๆ กับการกลบโคนต้นและการให้ปุ๋ย การฉีดพ่นสารป้องกันกำจัดโรคและแมลง การปลูกข้าวโพดหวานต้องระวังในเรื่องของหนอนเจาะฝัก หรือเจาะลำต้น ควรฉีดพ่น ยาพวกคาร์บาริล หรือยาพวกถูกตัวตาย เช่น เมทโธมิล

## การเก็บเกี่ยวและการรักษา

**การเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวาน** เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ที่จะทำให้ข้าวโพดหวานมีคุณภาพดีหรือเลว ไม่ว่าจะเป็นข้าวโพดหวานเพื่อส่ง โรงงานหรือจำหน่ายฝักสด ควรเลือกเก็บเกี่ยวในระยะที่มีน้ำตาลสูงที่สุด และคุณภาพดีที่สุด หรือระยะที่เรียกว่า ระยะน้ำนม (Milk Stage) หากเลยระยะนี้ไปแล้วปริมาณน้ำตาลจะลดลงและมีแป้งเพิ่มขึ้น การเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานมีหลักพิจารณาง่ายๆ คือ

1. นับอายุ หลังจากวันหยอดเมล็ด วิธีการนี้ต้องทราบอายุของข้าวโพดหวานแต่ละพันธุ์ว่าเป็นพันธุ์หนัก, เบา หรือปานกลาง เช่น พันธุ์เบา อายุ 55-65 วัน พันธุ์ปานกลาง 70-85 วัน และพันธุ์หนักตั้งแต่ 90 วันขึ้นไป
2. เก็บสุ่มตัวอย่างในแปลงมาตรวจดู วิธีนี้แน่นอน และนิยมทำกันมากที่สุด การเก็บเกี่ยว

ข้าวโพดหวาน ควรเก็บเกี่ยวในเวลา เช้าตรู่และรีบส่งตลาดทันที ไม่ควรทิ้งไว้เกิน 24 ชั่วโมง เพราะจะทำให้ น้ำตาลลดลง

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

### บทที่ 3

#### วิธีการวิจัย

การวิจัยเรื่องการเพิ่มการละลายปุ๋ยหินฟอสเฟตด้วยน้ำส้มควันไม้และน้ำสกัดชีวภาพ เป็นงานวิจัยทดลอง ซึ่งมีวิธีการดังนี้

#### 1. การวางแผนการทดลอง

การศึกษามูลของการใช้น้ำสกัดชีวภาพและน้ำส้มควันไม้ในการละลายปุ๋ยหินฟอสเฟต โดยทดลองปลูกข้าวโพดหวานในดิน ซึ่งใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต และ น้ำสกัดชีวภาพ หรือน้ำส้มควันไม้ เพื่อเพิ่มการละลายของปุ๋ยหินฟอสเฟต โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design: CRD) ประกอบด้วย 7 กรรมวิธี 5 ซ้ำ แต่ละกรรมวิธีมีดังนี้

T1 = ไม่ใส่ปุ๋ยและสารใด ๆ

T2 = ไม่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต ใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจน (N) และโพแทสเซียม (K)

T 3 = ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับใส่ปุ๋ยที่ใช้ธาตุ N และ K

T 4 = ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุ N และ K และ น้ำสกัดชีวภาพ

เจือจางในอัตรา 1:100

T 5 = ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุ N และ K และน้ำสกัดชีวภาพ เจือจางในอัตรา 1:300

T 6 = ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุ N และ K และน้ำส้มควันไม้ เจือจางในอัตรา 1:100

T 7 = ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุ N และ K และน้ำส้มควันไม้เจือจางในอัตรา 1:300

## 2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมดิน ทำการขุดดินที่ยังไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือสารเคมีใด ๆ บริเวณหน้าดิน ความลึก 0-15 เซนติเมตร ให้ได้ปริมาณเพียงพอสำหรับการทดลอง นำมาผึ่งลมจนแห้งแล้วทุบให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1x1 เซนติเมตร นำตัวอย่างดินไปตรวจหาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง โดยวิธีมาตรฐาน (สมศักดิ์, 2539)

2.1 ชั่งดินที่เตรียมมาปริมาณ 5 กิโลกรัม ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตในปริมาณ 9.23 กรัมต่อ ดิน 5 กิโลกรัม (โดยคำนวณจากการใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตในหลุมปลูกขนาด 50x50x50 เซนติเมตร อัตรา 300 กรัม/หลุม) คลุกเคล้าให้เข้ากันเติมน้ำสกัดชีวภาพ หรือน้ำส้มควันไม้ ที่เจือจางตามกรรมวิธีที่กำหนด โดยให้ดินมีความชื้น 60 % WHC (Water Holding Capacity) บ่มดินไว้ 2 สัปดาห์ และเติมน้ำกรองขณะบ่มดินให้คงระดับความชื้นที่กำหนด

2.2 เพาะเมล็ดข้าวโพดในถาดเพาะ เมื่ออายุ 1 สัปดาห์ ย้ายลงถุงปลูกที่เตรียมไว้ในข้อ 2 ถุงละ 1 ต้น การให้น้ำส้มควันไม้หรือน้ำสกัดชีวภาพ ให้ตามกรรมวิธีที่กำหนด ในปริมาณ 1 ลิตร ต่อถุง กรรมวิธีที่ไม่ใส่น้ำสกัดชีวภาพหรือน้ำส้มควันไม้ ใส่น้ำกรอง โดยใส่สารดังกล่าวทุก ๆ 5 วัน การให้น้ำ ทำการให้น้ำกรองทุก ๆ 2-3 วัน โดยพิจารณาไม่ให้พืชขาดน้ำ และให้ในปริมาณเท่ากันทุกต้น

## 3. การเก็บข้อมูล

3.1 วัดความสูงของต้นข้าวโพด หลังจากตั้งอก 1 สัปดาห์ และวัดทุก ๆ สัปดาห์ จนถึงระยะก่อนออกดอก (สัปดาห์ที่ 7)

3.2 หาน้ำหนักสดต้นข้าวโพด โดยแยกส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน และชั่งน้ำหนักทันที หลังเก็บเกี่ยวและทำความสะอาด หาน้ำหนักแห้ง โดยการอบต้นข้าวโพดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในตู้อบจนน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลงแล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

3.2 หาค่า pH และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ปริมาณฟอสฟอรัสในต้นข้าวโพด และคำนวณค่าปริมาณการดูดดึงฟอสฟอรัสจากดินของต้นข้าวโพด

#### 4. รายละเอียดการวิเคราะห์ดินและพืช

##### 4.1 การวิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

ชั่งดิน 20 กรัม ใส่ในปิเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ใส่ น้ำปราศจากไอออน 50 มิลลิลิตร (อัตราส่วนดิน:น้ำ 1:2.5) คนเป็นครั้งคราว เมื่อครบ 30 นาที นำไปตรวจวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างด้วยเครื่องวัดพีเอช

##### 4.2 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยวิธีเบรย์ทู (Bray II method) ชั่งดิน 2.8 กรัม เติมน้ำยาสกัดเบรย์ทู (0.10 M HCl + 0.03 M NH<sub>4</sub>F) 20 มิลลิลิตร เขย่า 1 นาที กรอง และทำให้เกิดสีโดยวิธีโมลิบดีนัมบลู ใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นตัวรีดิวส์ แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ได้ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Visible Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 820 นาโนเมตร (จำเป็น, 2547)

##### 4.3 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในต้นข้าวโพด

4.3.1 การย่อยตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง โดยชั่งตัวอย่างพืชที่ผ่านการบดและอบแล้ว จำนวน 0.2 กรัม ย่อยด้วยกรดผสมของไนตริก และเพอร์คลอริก อัตราส่วน 1:5 ใส่กรดย่อย 15 มิลลิลิตร ย่อยด้วยเตาให้ความร้อน จนได้สารละลายใส นำไปเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร

4.3.2 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในสารละลายที่ได้จากการย่อยในข้อ 4.3.1 ด้วยวิธีเยลโลโมลิบดีวานโดฟอสฟอริกแอซิด โดยทำให้ออโรฟอสเฟตในสารละลายทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียมโมลิบเดต และแอมโมเนียมเมตาวานาเดตในสภาพที่เป็นกรด ได้สารละลายสีเหลืองของแอมโมเนียมฟอสโฟโมลิบเดต ซึ่งความเข้มสีของสารละลายเป็นปฏิกิริยาตรงกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลาย วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่างใบ

## 5. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้ คือ ความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินดิน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ปริมาณฟอสฟอรัสในต้นข้าวโพด มาหาความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และหากพบความแปรปรวน จะนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วย DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปในคอมพิวเตอร์ ส่วนปริมาณการดูดตั้งฟอสฟอรัสคำนวณจากผลคูณของน้ำหนักแห้งและความเข้มข้นหรือปริมาณฟอสฟอรัสในต้นข้าวโพด

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

จากการทดลองเพิ่มประสิทธิภาพการละลายของปุ๋ยหินฟอสเฟตด้วยการทดลองใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับน้ำส้มควันไม้ หรือน้ำสกัดชีวภาพ และปลูกข้าวโพดหวานเป็นพืชทดสอบ ศึกษาการเจริญเติบโตด้านความสูง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง วิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินหลังเก็บเกี่ยวพืช รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในต้นข้าวโพด และปริมาณการดูดดึงธาตุฟอสฟอรัส ได้ผลดังนี้

#### การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน

##### ความสูงของต้นข้าวโพด

จากผลการทดลองพบว่า ความสูงของต้นข้าวโพดโดยวัดจากโคนต้นถึงข้อสุดท้ายเมื่อข้าวโพดอายุ 3 สัปดาห์ กรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าน้อยที่สุด คือ 7.06 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกรณีใส่เฉพาะปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจน (46-0-0) และปุ๋ยที่ให้ธาตุโพแทสเซียม (0-0-60) กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต ร่วมกับปุ๋ยที่ให้ไนโตรเจน โพแทสเซียมและใส่น้ำสกัดชีวภาพต้นข้าวโพดมีความสูงมากที่สุด คือ 8.60 และ 8.44 เซนติเมตร เมื่อใส่น้ำสกัดชีวภาพในอัตรา 1:300 และ 1:100 ตามลำดับ รองลงมาคือกรณีใส่ปุ๋ยที่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับการให้ปุ๋ยไนโตรเจน โพแทสเซียมร่วมกับน้ำส้มควันไม้ในอัตรา 1:300 แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ใส่น้ำสกัดชีวภาพหรือน้ำส้มควันไม้แต่ใส่ทั้ง 3 ธาตุ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (ตารางที่ 4.1)

เมื่อข้าวโพดอายุ 5 สัปดาห์ ไม่พบความแตกต่างของความสูงในแต่ละกรรมวิธี แต่เมื่อต้นข้าวโพดอายุ 6 และ 7 สัปดาห์ให้ผลทำนองเดียวกันคือ พบว่ากรณี ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต ร่วมกับใส่ธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียม ให้ความสูงมากกว่ากรณีไม่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กรณีใส่ครบทั้ง 3 ธาตุ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ให้ความสูงเมื่ออายุข้าวโพด 7 สัปดาห์อยู่ในช่วง 19.00-20.28 เซนติเมตร กรณีใส่หรือไม่ใส่น้ำส้มควันไม้หรือน้ำสกัดชีวภาพให้ความสูงไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.1)

**ตารางที่ 4.1** ความสูงของข้าวโพดหวานเมื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยหินฟอสเฟตด้วย  
น้ำส้มควันไม้และน้ำสกัดชีวภาพ (วัดความสูงจากโคนต้นจนถึงข้อสุดท้าย)

| กรรมวิธีการทดลอง | ความสูง (cm.) |        |        |        |        |         |         |
|------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
|                  | Wk1           | Wk2    | Wk3    | Wk4    | Wk5    | Wk6     | Wk7     |
| Control          | 2.58abc       | 4.88c  | 7.06c  | 8.18   | 8.62   | 12.52b  | 13.96b  |
| N + K            | 2.96a         | 6.20ab | 7.52bc | 8.02   | 8.72   | 12.16b  | 13.36b  |
| RP+N+K           | 2.14c         | 6.54a  | 8.10ab | 8.76   | 9.48   | 17.52a  | 20.28a  |
| RP+N+K+WV1:100   | 2.26bc        | 5.64b  | 7.96ab | 7.60   | 9.00   | 16.64a  | 19.00a  |
| RP+N+K+WV1:300   | 3.08a         | 6.52a  | 8.26ab | 8.58   | 8.78   | 17.48a  | 20.20a  |
| RP+N+K+Bio.1:100 | 2.82ab        | 6.70a  | 8.44a  | 8.08   | 8.68   | 17.84a  | 20.16a  |
| RP+N+K+Bio.1:300 | 2.74abc       | 6.6a   | 8.60a  | 8.48   | 8.90   | 16.90a  | 20.26a  |
| F-Test           | 3.08*         | 6.82** | 4.63*  | 1.18ns | 0.36ns | 10.22** | 13.41** |
| C.V.(%)          | 16.81         | 9.27   | 7.01   | 9.83   | 12.28  | 10.78   | 10.49   |

หมายเหตุ : WV = Wood vinegar (น้ำส้มควันไม้) Bio. = Bioextract (น้ำสกัดชีวภาพ)

Wk = อายุข้าวโพดเป็นสัปดาห์

ns ค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธีไม่แตกต่างทางสถิติ

\* ค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\*\* ค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ )

อักษรที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อวัดความสูงของต้นข้าวโพดด้วยวิธีรวบใบซึ่งเป็นการวัดความสูงของพืชใบเลี้ยงเดียว โดยเริ่มวัดเมื่อข้าวโพดอายุ 4 สัปดาห์ หรือ 1 เดือน พบว่าตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 ถึง สัปดาห์ที่ 7 กรณีไม่ใส่ปุ๋ยใดๆ และ กรณีใส่เฉพาะธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียมให้ความสูงน้อยที่สุด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกรณี ใส่ทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม โดยเห็นความแตกต่างเด่นชัดตั้งแต่ข้าวโพดอายุ 5 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1)

**ตารางที่ 4.2** ความสูงของข้าวโพดหวานจากการใส่น้ำส้มควันไม้หรือน้ำสกัดชีวภาพเพื่อเพิ่ม  
ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยหินฟอสเฟตหลังจากย้ายปลูก (วัดความสูงโดยรวมใบ)

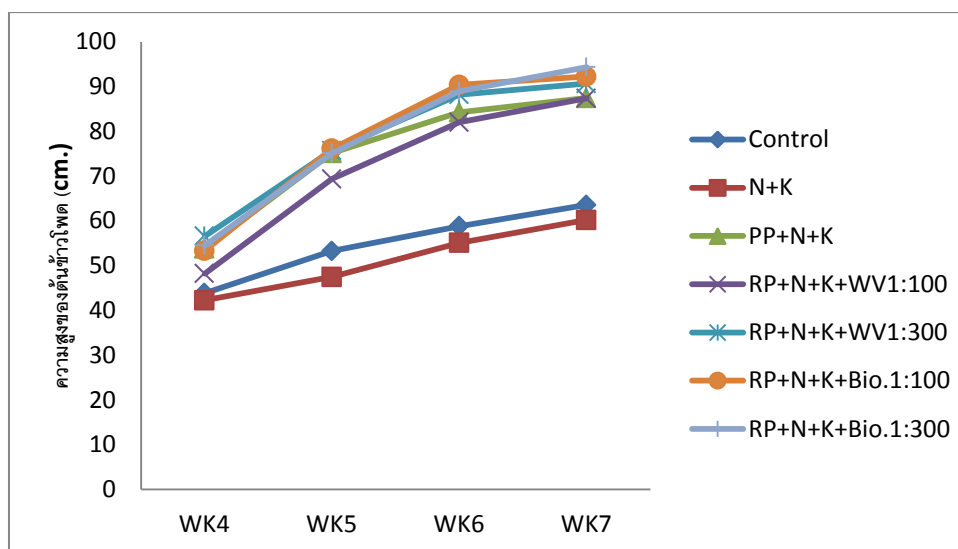
| กรรมวิธีการทดลอง | ความสูง (cm.) |         |         |        |
|------------------|---------------|---------|---------|--------|
|                  | Wk4           | Wk5     | Wk6     | Wk7    |
| Control          | 43.86b        | 53.28b  | 58.80b  | 63.56b |
| N + K            | 42.24b        | 47.48b  | 55.08b  | 60.18b |
| RP+N+K           | 53.80a        | 75.14a  | 84.22a  | 87.44a |
| RP+N+K+WV1:100   | 48.22ab       | 69.34a  | 82.02a  | 87.36a |
| RP+N+K+WV1:300   | 56.58a        | 75.72a  | 88.18a  | 90.66a |
| RP+N+K+Bio.1:100 | 53.32a        | 76.10a  | 90.38a  | 92.22a |
| RP+N+K+Bio.1:300 | 54.50a        | 75.12a  | 88.94a  | 94.32a |
| F-Test           | 4.18**        | 18.54** | 27.10** | 6.80** |
| C.V.(%)          | 12.20         | 9.24    | 8.16    | 32.07  |

หมายเหตุ : WV = Wood vinegar (น้ำส้มควันไม้) Bio. = Bioextract (น้ำสกัดชีวภาพ)

Wk = อายุข้าวโพดเป็นสัปดาห์

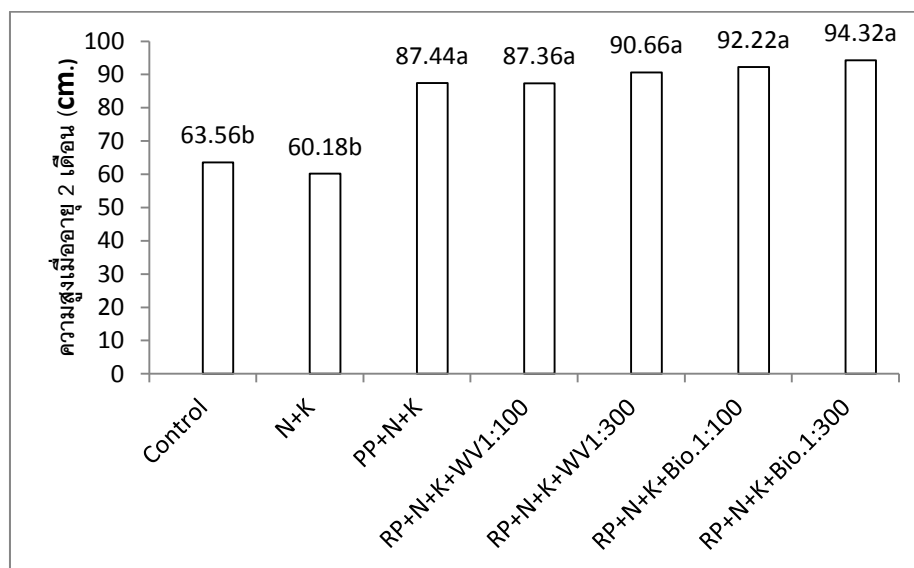
\*\* ค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ )

อักษรที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



**ภาพที่ 4.1** ความสูงของต้นข้าวโพดหวานเมื่อทดลองเพิ่มความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยหินฟอสเฟตด้วยน้ำส้มควันไม้ และน้ำสกัดชีวภาพ WK4, WK5, WK6, WK7 = อายุข้าวโพด 4,5,6,7 สัปดาห์ (วัดแบบรวบใบ)

เมื่อพิจารณาความสูงที่วัดได้จากวิธีรวบใบของต้นข้าวโพดอายุ 7 สัปดาห์ พบว่า กรณีใส่ธาตุอาหารพืชครบทั้งไนโตรเจน โพแทสเซียม และ ฟอสฟอรัส (จากปุ๋ยหินฟอสเฟต) ให้ความสูงมากกว่ากรณีไม่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต แต่กรณีใส่น้ำส้มควันไม้ หรือน้ำสกัดชีวภาพเพื่อจุดประสงค์เพิ่มการละลายปุ๋ยหินฟอสเฟตไม่ได้ทำให้ความสูงของต้นข้าวโพดแตกต่างกันทางสถิติ กับกรณีไม่ใส่สารดังกล่าว โดยต้นข้าวโพดมีความสูงอยู่ในช่วง 87.36-94.32 เซนติเมตร ซึ่งกรณีใส่น้ำสกัดชีวภาพร่วมด้วยในอัตรา 1:300 ให้ความสูงมากที่สุด (ภาพที่ 4.2)



ภาพที่ 4.2 ความสูงของต้นข้าวโพดอายุ 7 สัปดาห์เมื่อทดลองเพิ่มความเข้มข้นของปุ๋ยหินฟอสเฟตด้วยน้ำส้มควันไม้และ น้ำสกัดชีวภาพ

#### น้ำหนักของต้นข้าวโพดเมื่ออายุ 7 สัปดาห์

จากการเก็บเกี่ยวต้นข้าวโพดเมื่ออายุ 7 สัปดาห์ ซึ่งน้ำหนักสด และหาน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน พบว่า น้ำหนักสดในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตแต่ใส่เฉพาะไนโตรเจนและโพแทสเซียมให้มีย่าน้อยที่สุด รองลงมาคือกรณีไม่ใส่ปุ๋ยใดๆ ซึ่งทั้งสองกรรมวิธีให้ค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนกรณีปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมด้วยจะให้น้ำหนักสดเพิ่มขึ้นเป็น 45.53 กรัม/ต้น การใส่น้ำส้มควันไม้และน้ำสกัดชีวภาพเพื่อจุดประสงค์ช่วยละลายปุ๋ยฟอสเฟตพบว่าทำให้น้ำหนักสดของต้นข้าวโพดสูงกว่าไม่ใส่สารดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) โดยให้น้ำหนักสดอยู่ในช่วง 51.38-58.05 กรัม/ต้น ส่วนกรณีไม่ใส่สารดังกล่าวให้น้ำหนักสด 45.53 กรัม/ต้น (ตารางที่ 4.3)

**ตารางที่ 4.3** น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดจากการใส่  
น้ำส้มควันไม้หรือน้ำสกัดชีวภาพเพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยหินฟอสเฟต

| กรรมวิธีการทดลอง | น้ำหนักสด<br>(กรัม/ต้น) | น้ำหนักแห้ง<br>(กรัม/ต้น) | เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง |
|------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| Control          | 13.61d                  | 1.54c                     | 10.93c                 |
| N + K            | 9.80d                   | 0.63c                     | 6.33d                  |
| RP+N+K           | 45.53c                  | 5.87b                     | 12.77ab                |
| RP+N+K+WV1:100   | 58.05a                  | 6.74ab                    | 11.57bc                |
| RP+N+K+WV1:300   | 51.38b                  | 6.23ab                    | 12.08abc               |
| RP+N+K+Bio.1:100 | 55.38ab                 | 7.28a                     | 13.12a                 |
| RP+N+K+Bio.1:300 | 54.29ab                 | 6.85ab                    | 12.68ab                |
| F-Test           | 109.34**                | 51.91**                   | 27.04**                |
| C.V.(%)          | 10.66                   | 16.92                     | 8.86                   |

หมายเหตุ : WV = Wood vinegar (น้ำส้มควันไม้) Bio. = Bioextract (น้ำสกัดชีวภาพ)

Wk = อายุข้าวโพดเป็นสัปดาห์

\*\* ค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ )

อักษรที่ต่างกันในสัปดาห์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

#### สมบัติทางเคมีบางประการของดิน

จากการวิเคราะห์ดินหลังปลูกที่เกี่ยวข้องกับการละลายของปุ๋ยหินฟอสเฟต โดยวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่า กรณีใส่น้ำสกัดชีวภาพร่วมด้วยให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงที่สุดคือ 6.35 ที่อัตราเจือจาง 1:100 และอัตราเจือจาง 1:300 ให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.33 กรณีใส่น้ำส้มควันไม้ให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.43 และ 5.73 ส่วนกรณีไม่ใส่น้ำสกัดชีวภาพหรือน้ำส้มควันไม้ให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ต่ำกว่าคือ 4.76 ซึ่งต่ำกว่ากรณีใส่น้ำสกัดชีวภาพร่วมด้วยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ )

สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินกรณีใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตมีค่าสูงกว่ากรณีไม่ใส่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20.03-25.99 มิลลิกรัม/กิโลกรัม การใส่น้ำสกัดชีวภาพร่วมด้วยมีค่าสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรณีใส่น้ำส้มควันไม้ กรณีไม่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำที่สุด คือ 4.52 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ตารางที่ 4.4)

**ตารางที่ 4.4** ความเป็นกรดเป็นด่าง และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินในกรรมวิธีต่างๆ

| กรรมวิธีการทดลอง | ความเป็นเป็นด่าง (1:2.5,ดิน:น้ำ) | ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg) |
|------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Control          | 4.63e                            | 4.52b                           |
| N + K            | 4.80d                            | 4.52b                           |
| RP+N+K           | 4.76b                            | 20.03a                          |
| RP+N+K+WV1:100   | 5.43c                            | 21.31a                          |
| RP+N+K+WV1:300   | 5.73b                            | 21.60a                          |
| RP+N+K+Bio.1:100 | 6.35a                            | 25.99a                          |
| RP+N+K+Bio.1:300 | 6.33a                            | 23.28a                          |
| F-Test           | 142.09**                         | 23.15**                         |
| C.V.(%)          | 2.26                             | 24.28                           |

หมายเหตุ : WV = Wood vinegar (น้ำส้มควันไม้) Bio. = Bioextract (น้ำสกัดชีวภาพ)

Wk = อายุข้าวโพดเป็นสัปดาห์

\*\* ค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ )

อักษรที่ต่างกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

### ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในต้นข้าวโพดและปริมาณการดูดดึงฟอสฟอรัส

จากการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในส่วนลำต้นหรือส่วนเหนือดินของข้าวโพด ที่ได้จากการรวมวิธีการทดลองต่างๆ พบว่า ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 1.16-1.67 กรัม/กิโลกรัม เมื่อคำนวณปริมาณการดูดดึงฟอสฟอรัสของต้นข้าวโพดสู่ลำต้นพบว่า กรรมวิธีใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต ร่วมกับใส่น้ำสกัดชีวภาพให้ค่าสูงที่สุด คือ 122 มิลลิกรัม/ต้น ซึ่งไม่แตกต่างกันในระหว่างอัตราเจือจาง 1:100 และ 1:300 การใส่น้ำส้มควันไม้ร่วมด้วยในอัตรา 1:100 มีปริมาณการดูดดึงฟอสฟอรัส 101 มิลลิกรัม/ต้น ส่วนกรณีเจือจาง 1:300 ให้ปริมาณการดูดดึงลดลง คือ 72 มิลลิกรัม/ต้น กรณีไม่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตให้ปริมาณการดูดดึงน้อยที่สุด คือ 23 และ 10 มิลลิกรัม/ต้น ในกรรมวิธีที่ไม่ใส่อะไรเลย และกรรมวิธีที่ใส่เฉพาะปุ๋ยที่ให้ไนโตรเจน และโพแทสเซียม (ตารางที่ 4.5)

#### ตารางที่ 4.5 ปริมาณฟอสฟอรัสในต้นข้าวโพด (ส่วนเหนือดิน) และปริมาณการดูดดึง

ฟอสฟอรัสของต้นข้าวโพด

| กรรมวิธีการทดลอง | ฟอสฟอรัส (กรัม/กิโลกรัม) | ปริมาณการดูดดึงฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/ต้น) |
|------------------|--------------------------|-----------------------------------------|
| Control          | 1.49                     | 23                                      |
| N + K            | 1.65                     | 10                                      |
| RP+N+K           | 1.60                     | 94                                      |
| RP+N+K+WV1:100   | 1.50                     | 101                                     |
| RP+N+K+WV1:300   | 1.16                     | 72                                      |
| RP+N+K+Bio.1:100 | 1.67                     | 122                                     |
| RP+N+K+Bio.1:300 | 1.64                     | 122                                     |
| F-Test           | 1.08ns                   | -                                       |
| C.V.(%)          | 25.09                    |                                         |

หมายเหตุ : WV = Wood vinegar (น้ำส้มควันไม้) Bio. = Bioextract (น้ำสกัดชีวภาพ)

Wk = อายุข้าวโพดเป็นสัปดาห์

ns ค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ

## บทที่ 5

### อภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองเพิ่มประสิทธิภาพการละลายของปุ๋ยหินฟอสเฟตด้วยการทดลองใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับน้ำส้มควันไม้ หรือน้ำสกัดชีวภาพ และปลูกข้าวโพดหวานเป็นพืชทดสอบ ศึกษาการเจริญเติบโตด้านความสูง น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง วิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินหลังเก็บเกี่ยวพืช รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในต้นข้าวโพด และปริมาณการดูดดึงธาตุฟอสฟอรัสโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด ประกอบด้วย 7 กรรมวิธี แต่ละกรรมวิธีมี 5 ซ้ำ กรรมวิธีต่าง ๆ ประกอบด้วย ไม่ใส่ปุ๋ยใด ๆ (T1) ไม่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตแต่ใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจน (N) และโพแทสเซียม (K) (T2) ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับใส่ปุ๋ยที่ใช้ธาตุ N และ K (T3) ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุ N และ K และน้ำส้มควันไม้เจือจางในอัตรา 1:100 (T4) ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุ N และ K และน้ำส้มควันไม้เจือจางในอัตรา 1:300 (T5) ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุ N และ K และน้ำสกัดชีวภาพเจือจางในอัตรา 1:100 (T6) ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุ N และ K และน้ำสกัดชีวภาพเจือจางในอัตรา 1:300 (T7)

ผลการทดลองพบว่าการใช้ น้ำส้มควันไม้ และน้ำสกัดชีวภาพเพื่อวัตถุประสงค์ในการละลายปุ๋ยหินฟอสเฟต ไม่ได้ส่งผลให้ต้นข้าวโพดมีการเจริญเติบโตที่ชีวิตด้วยความสูงเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด อย่างไรก็ตามกรณีใช้น้ำสกัดชีวภาพมีแนวโน้มให้ต้นข้าวโพดมีความสูงมากกว่ากรรมวิธีอื่นเล็กน้อย เช่นเมื่ออายุข้าวโพด 7 สัปดาห์ ความสูงที่วัดโดยวิธีรวบใบในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับน้ำสกัดชีวภาพและใส่ธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมเพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด ให้ความสูงมากที่สุดคือ 94.32 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับกรรมวิธีอื่น ๆ ยกเว้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต ซึ่งให้ความสูงเพียง 63.56 และ 60.18 เซนติเมตร ในกรณีไม่ใส่ปุ๋ยใดๆ และเมื่อใส่เฉพาะปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียม การที่ใส่น้ำสกัดชีวภาพร่วมด้วยทำให้ข้าวโพดเจริญเติบโตได้ดีอาจเป็นเพราะ น้ำสกัดชีวภาพมีแร่ธาตุอาหารพืชที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ และจุลินทรีย์บาง

ชนิดในน้ำสกัดชีวภาพก็สามารถช่วยละลายปุ๋ยหินฟอสเฟตได้เช่นเดียวกัน จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสามารถคัดเลือกจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตตั้งแต่ 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ขึ้นไป แยกเป็นแบคทีเรีย 32 สายพันธุ์ โดยแบคทีเรียสามารถละลายฟอสเฟตได้สูงสุดในช่วง 986.23-1103.41 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (วุฒิชัย, 2534) นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำสกัดชีวภาพมีธาตุอาหารพืชหลายชนิด เช่น ไนโตรเจนร้อยละ 0.07-2.64 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.01-1.30 โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ร้อยละ 0.05-2.39 แคลเซียมร้อยละ 0.01-1.98 แมกนีเซียมร้อยละ 0.009-0.35 กำมะถันร้อยละ 0.009-0.54 ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาใช้หมัก (กองเกษตรเคมี, 2545) รวมทั้งมีฮอร์โมนพืชที่สำคัญ ทั้งกลุ่มออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน (สุริยา และคณะ 2542; สุริยา, 2549; สุนันทา, 2544) มีการศึกษาพบว่าการใช้น้ำสกัดชีวภาพจากพืชอัตราเจือจาง 1:250 ช่วยให้การเจริญเติบโตของไม้ประดับพวกเขียวหมื่นปีได้ผลดี (ธัญพิสิษฐ์ และคณะ, 2551ก) และทดลองใช้กับมะละกอในอัตราเจือจางดังกล่าวพบว่าให้ผลเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมี (ธัญพิสิษฐ์ และคณะ, 2551ข) แต่การทดลองใช้น้ำสกัดชีวภาพกับต้นกล้วยมะเขือเทศพบว่า การเจริญเติบโตต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี (เหนียวคำ และคณะ, 2554)

จากผลการทดลองครั้งนี้พบว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตต้นข้าวโพดมีความสูงน้อยที่สุดชี้ให้เห็นว่าดินที่ใช้ในการทดลองมีฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่จำกัดการเจริญเติบโตของพืช เมื่อเติมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสแล้วซึ่งดินดังกล่าวจัดอยู่ในชุดดินรือเสาะ (Fine-silty, semiactive, isohyperthermic Typic Palehumults) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2557) มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนเหนียว (sand 4.4 % silt 28.4 และ clay 67.3 %) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.8 กรัม/กิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 2.53 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 19.70, 15.54 และ 11.72 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงที่สกัดได้ 26.83, 3.27, 0.014 และ 0.40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (อิสริยาภรณ์, ข้อมูลยังไม่ได้เผยแพร่) จะเห็นได้ว่าดินดังกล่าวมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดังนั้นการนำมาใช้เพาะปลูกพืชจึงควรพิจารณาใส่ปุ๋ยที่เพียงพอ โดยเฉพาะปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารที่พืชต้องการมาก (macronutrient)

การใช้น้ำส้มคว้นไม้และน้ำสกัดชีวภาพในการละลายปุ๋ยหินฟอสเฟตที่ส่งผลต่อน้ำหนักต้นข้าวโพดพบว่า กรณีใส่น้ำส้มคว้นไม้และน้ำสกัดชีวภาพในอัตราเจือจาง 1:100 และ 1:300 ทำให้

น้ำหนักสดของต้นข้าวโพดสูงกว่ากรณีไม่ใส่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) คือให้น้ำหนักสดอยู่ในช่วง 51.38-58.05 กรัม/ต้น ส่วนกรณีไม่ใส่ปุ๋ยใดๆ ให้น้ำหนักสด 13.16 กรัม/ต้น การใส่น้ำส้มควันไม้หรือน้ำสกัดชีวภาพเพื่อช่วยละลายปุ๋ยหินฟอสเฟตทำให้น้ำหนักสดต้นข้าวโพดหวานสูงกว่าไม่ใส่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) คือกรณีไม่ใส่น้ำส้มควันไม้หรือน้ำสกัดชีวภาพให้น้ำหนักสด 45.53 กรัม/ต้น ส่วนกรณีใส่สารดังกล่าว ให้น้ำหนักสดต้น 51.38-58.05 กรัม/ต้น (ตารางที่ 4.3) เมื่อพิจารณาถึงน้ำหนักแห้งพบว่ากรณีใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตโดยไม่ใส่น้ำส้มควันไม้หรือน้ำสกัดชีวภาพให้น้ำหนักแห้งไม่แตกต่างทางสถิติกับกรณีใส่น้ำส้มควันไม้และน้ำสกัดชีวภาพรวมด้วย ยกเว้นกรณีใส่น้ำสกัดชีวภาพรวมด้วยในอัตราเจือจาง 1:100 อย่างไรก็ตามการใส่สารดังกล่าวมีแนวโน้มทำให้น้ำหนักแห้งสูงกว่าไม่ใส่ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผลจากการที่พืชได้รับธาตุอาหารเพิ่มจากการใส่น้ำส้มควันไม้หรือน้ำสกัดชีวภาพมากกว่าความสามารถในการช่วยละลายปุ๋ยหินฟอสเฟต

จากการตรวจวัดความเป็นกรดเป็นด่างของดินเป็นที่น่าสนใจว่าหลังจากใส่กรรมวิธีต่างๆ แล้วพบว่าการใส่น้ำส้มควันไม้ หรือน้ำสกัดชีวภาพทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้นทั้งนี้อาจเป็นเพราะทั้งน้ำส้มควันไม้และน้ำสกัดชีวภาพที่ใส่นั้นถูกเจือจางจนลดอิทธิพลความเป็นกรดของสารดังกล่าวต่อการลดค่าพีเอช การใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตไม่ได้ส่งผลต่อการเพิ่มพีเอชของดินอย่างเด่นชัดทั้งนี้อาจเพราะปุ๋ยหินฟอสเฟตเป็นปุ๋ยที่ละลายได้ยาก ต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา (มุกดา, 2544 และธงชัย, 2546) ซึ่งการทดลองในครั้งนี้ใช้ข้าวโพดในการปลูกทดสอบซึ่งเป็นพืชอายุสั้น จึงไม่เห็นผลจากปฏิกิริยาอย่างเด่นชัด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินจากการใส่น้ำส้มควันไม้หรือน้ำสกัดชีวภาพมีแนวโน้มสูงกว่ากรณีใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตแต่ไม่ใส่สารดังกล่าว แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ โดยกรณีไม่ใส่น้ำส้มควันไม้หรือน้ำสกัดชีวภาพดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 20.03 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนกรณีใส่สารดังกล่าวมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 21.31-25.99 มิลลิกรัม/กิโลกรัม การใส่น้ำสกัดชีวภาพทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้น และส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดมากที่สุดทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก นอกเหนือจากน้ำสกัดชีวภาพมีธาตุอาหารพืชครบถ้วนแล้วในน้ำสกัดชีวภาพมีสารอินทรีย์ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนมากกว่าน้ำส้มควันไม้ หรือเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีใส่ปุ๋ยหิน

ฟอสเฟตโดยไม่ใส่สารดังกล่าว จึงทำให้จุลินทรีย์ที่สามารถละลายปุ๋ยหินฟอสเฟตได้ทั้งที่มีอยู่ในธรรมชาติและที่ปะปนอยู่ในน้ำสกัดชีวภาพเจริญและมีกิจกรรมได้ดีกว่ากรรมวิธีอื่น ทั้งนี้การดำเนินกิจกรรมการย่อยสลายหินฟอสเฟตเป็นไปได้ดีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในดินด้วย ซึ่งสารอินทรีย์ถือเป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญของจุลินทรีย์ในกลุ่ม heterotroph (Mullen, 2005) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตเพื่อเป็นแหล่งฟอสฟอรัสให้กับพืช ควรพิจารณาใส่ควบคู่กับปุ๋ยอินทรีย์ หรือวัสดุอินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยมีผลการทดลองว่าหากมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยหินฟอสเฟตก็สามารถลดปริมาณของปุ๋ยหินฟอสเฟตลงได้ (กำชัย และคณะ, 2544)

สำหรับกรณีไม่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตแต่ใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียม พบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในต้นข้าวโพด (1.65 กรัม/กิโลกรัม) ไม่แตกต่างกับกรณีใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต และยังพบว่าสูงกว่ากรณีใส่น้ำส้มควันไม้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะข้าวโพดเป็นพืชที่ปลูกในเขตร้อนชื้น ซึ่งดินส่วนมากเป็นกรดและมีปัญหาขาดแคลนฟอสฟอรัส เนื่องจากถูกตรึงโดยทำปฏิกิริยากับเหล็ก แมงกานีส และอลูมิเนียม ซึ่งละลายออกมาได้มากเมื่อดินมีปฏิกิริยาเป็นกรด พืชหลายชนิดที่เจริญในเขตร้อนชื้นสามารถปรับตัวให้สามารถดูดใช้ฟอสฟอรัสได้โดยปลดปล่อยกรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก กรดมาลิก ออกมาละลายฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปไอออนฟอสเฟตในรูปที่พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้ คือ  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  (Onthong and Osaki. 2006; Kochian, *et al.*, 2004; Yu-Mei *et al.*, 2009) ซึ่งสอดคล้องกับค่าพีเอชในกรรมวิธีดังกล่าวที่มีค่าต่ำ (4.80)

### สรุปผลการทดลอง

น้ำส้มควันไม้หรือน้ำสกัดชีวภาพในอัตราเจือจาง 1:100 หรือ 1:300 ที่ใส่ร่วมกับปุ๋ยหินฟอสเฟตไม่ได้ส่งผลเด่นชัดต่อการช่วยละลายปุ๋ยหินฟอสเฟต อย่างไรก็ตามการใส่สารดังกล่าว โดยเฉพาะการใส่น้ำสกัดชีวภาพทำให้พืชทดสอบ (ข้าวโพดหวาน) มีแนวโน้มการเจริญเติบโตสูงกว่าการไม่ใส่ การใส่น้ำส้มควันไม้หรือน้ำสกัดชีวภาพทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินสูงกว่ากรณีไม่ใส่อย่างเด่นชัด ส่วนฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีแนวโน้มสูงกว่ากรณีไม่ใส่แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับพืชที่มีอายุยาว เช่น ไม้ผล ยางพารา เพื่อจะได้ทราบผลของความสามารถช่วยละลายปุ๋ยหินฟอสเฟตจากทั้งน้ำส้มควันไม้หรือน้ำสกัดชีวภาพอย่างเด่นชัด หรือศึกษาในพืชอายุสั้นหลายฤดูปลูก

2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยหินฟอสเฟตด้วยการหมักร่วมกับสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ รวมทั้งการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่เกษตรกรสามารถใช้ประโยชน์ได้ง่าย

## เอกสารอ้างอิง

การผลิตน้ำส้มควันไม้คุณภาพสูง สืบค้นจาก :<http://www.rum.psu.ac.th/Index.php/energy>)

สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2557.

การเพิ่มการละลายปุ๋ยหินฟอสเฟต. สืบค้นจาก: <http://www.gofertilizerplus.com>

สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2557.

กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร. 2545. น้ำสกัดชีวภาพเพื่อการเกษตร.

สืบค้นจาก: <http://gotoknow.org>. สืบค้นเมื่อ 2 มกราคม 2556.

กองอนุรักษ์ดินและน้ำ. ข้าวโพด-ถั่วเขียว. รายงานการวิจัย กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน  
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กำชัย ภาณุจันธนเศรษฐ์ สนั่น เผือกไร่ ประคัลภ์ กรุดเจริญ และจุมพล ยุวะนิยม . 2544.

ผลของการใช้โดโลไมต์ร่วมกับปุ๋ยหมักและหินฟอสเฟตที่มีผลต่อระบบปลูก

จำเป็น อ่อนทอง.2545. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา: ภาควิชาธรณีศาสตร์

คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

ดร.ณิ โชติขจรยางกูร. 2554. การใช้น้ำส้มควันไม้ในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพข้าวหอมมะลิ

อินทรีย์ในสภาพนาหว่าน. ขอนแก่น: คณะเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ธงชัย มาลา. 2546. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ. เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. กรุงเทพฯ:

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก ชัยนาท รมมีชัย และนฤมลวชิรปัทมา. 2551ก. ผลของน้ำสกัดชีวภาพที่มีต่อ

การเจริญเติบโตของข้าวห่มปี. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39(3)(พิเศษ):262-266.

ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก ชัยนาท รมมีชัย และนฤมลวชิรปัทมา. 2551ข. ผลของน้ำสกัดชีวภาพที่มีต่อ

การเจริญเติบโตและผลผลิตของมะละกอพันธุ์แขกดำศรีสะเกษ. วารสารวิทยาศาสตร์

เกษตร 39(3)(พิเศษ):44-47.

น้ำส้มควันไม้. สืบค้นจาก: <http://www.photharam.ratchaburi.aoae.go.th/ny.do>

สืบค้นเมื่อ 28 มีนาคม 2557.

ภาวนา ลิกขนานนท์. 2545. การละลายฟอสเฟตโดยจุลินทรีย์. เอกสารวิชาการปุ๋ยชีวภาพ.

กรุงเทพฯ:กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร.

มูลนิธิเกษตรกรรมธรรมชาติ. 2557. ถ่านคุณภาพและน้ำส้มควันไม้.

สืบค้นจาก: <http://www.agrinature.or.th> สืบค้นเมื่อ 26 มีนาคม 2557.

วุฒิชัย จันสมบัติ นวลจันทร์ ภาสตา มนต์ระวี พีรวัชร และวีระ โรพินิจ. 2529.

การคัดเลือกจุลินทรีย์ละลายหินฟอสเฟตเพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร.

รายงานผลการวิจัย. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน

ศุภลักษณ์ สิงหนุต. 2549. โรคขาดธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์

สาลี ชื่นสกลิต. 2544. เทคโนโลยีการผลิตไม้ผลให้ปลอดภัยจากสารพิษ. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและ

พัฒนาการเกษตรเขตที่ 6 กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

สุนันทา ชมพูนิช. 2544. คุณภาพของน้ำสกัดชีวภาพ. สมาคมเทคโนโลยีพืชไร่.

กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร

สุภาพร จันทรุ่งเรือง เบญจมาศ รสโสภา และกรรณิการ์ สัจจาพันธ์. 2553. ผลของแบคทีเรีย

ละลายฟอสเฟต *Burkholderia* sp. สายพันธุ์ Rs01 ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด

หวานพันธุ์อินทรี 2. วารสารวิทยาศาสตร์กำแพงแสน 8(1):1-14.

สุริยา สาสนรักกิจ. 2542. ปุ๋ยน้ำชีวภาพ. วารสารดินและปุ๋ย. 21 (3):152-171.

สุริยา สาสนรักกิจ. 2549. ปุ๋ยน้ำชีวภาพ. กรุงเทพฯ: ฝ่ายเทคโนโลยีชีวภาพ

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์

สมศักดิ์ มณีพงศ์. 2539. การวิเคราะห์ดิน. สงขลา: ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์. 2548. ปฐพีวิทยา. ยะลา: คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

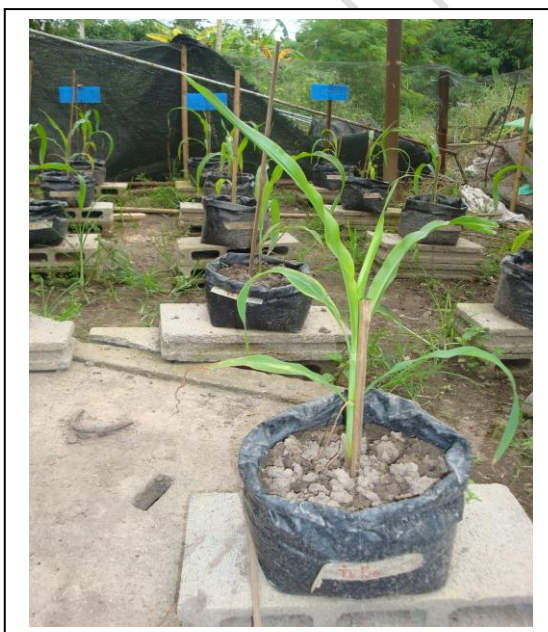
Braydy, N.C. and Weil, R.R. 2002. The nature and properties of soils. (13<sup>th</sup> ed.).

New Jersey: Macmillan.

- Chien, S.H. 2003. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. In Direct Application of Phosphate Rock and Related Technology: Latest Development and Practical Experiences, pp.50-62.
- Rajan, S.S.S. and Chien, S.H. (ed.). Special Publications IFDC-SP-37, IFDC, Muscle Shoals, Alabama.
- Kochian, V. L., Hoekenga, A. O. and Pineros, A. M. 2004. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorus Efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55:459-493.
- Matiullah, K. and Muhammad, S. 2012. Solubility enhancement of phosphorus from rock phosphate through composting with poultry litter. *Sarhad J. Agric.* 28(3):415-420.
- Mullen, D.M. 2005. Phosphorus and Other Element. In Principles and Applications of soil microbiology. pp.463-488. Sylvia M.D., Fuhrmann, Hartel G.P. and Zuberer. A. D. (eds). 2<sup>nd</sup> edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Onthong, J., and Osaki, M. 2006. Adaptation of tropical plants to acid soils. *Tropics.*, 15(4):337-347
- Yu-Mei, D., Jiang, T., Hong, L., Chang-Jun, B. Xiao-Long, Y. and Guo-Dao. L. 2009. Aluminium tolerance and high phosphorus efficiency helps *Stylosanthes* better adapt to low-P acid soils. *Annals of Botany* 103:1239-1247.

ภาคผนวก

ภาพผนวกที่ 1 การวางหน่วยทดลองตามแผนการทดลอง



ภาพผนวกที่ 2 การวัดความสูงของต้นข้าวโพด

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

ภาพผนวกที่ 3 การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานในกรรมวิธีต่างๆ

ตารางผนวกที่ 1 น้ำหนักสดต้นข้าวโพด อายุ 7 สัปดาห์ (กรัม/ต้น)

| กรรมวิธี | ซ้ำ 1 | ซ้ำ 2 | ซ้ำ 3 | ซ้ำ 4 | ซ้ำ 5 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T1       | 14.92 | 10.8  | 13.61 | 14.63 | 14.07 |
| T2       | 9.37  | 8.82  | 9.8   | 9.18  | 11.83 |
| T3       | 53.49 | 42.41 | 36.65 | 50.15 | 44.94 |
| T4       | 58.05 | 59.07 | 52.62 | 58.62 | 61.89 |
| T5       | 52.27 | 47.03 | 55.94 | 52.28 | 49.36 |
| T6       | 55.38 | 61.56 | 52.94 | 53.36 | 53.67 |
| T7       | 54.29 | 57.63 | 57.44 | 60.11 | 41.29 |

หมายเหตุ : T1 = ไม่ใส่ปุ๋ยและสารใด ๆ

T2 = ไม่ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต ใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจน (N) และโพแทสเซียม (K)

T 3 = ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับใส่ปุ๋ยที่ใช้ธาตุ N และ K

T 4 = ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมกับใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุ N และ K และ น้ำส้มควันไม้

เจือจางในอัตรา 1:100

T 5 = ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุ N และ K และน้ำส้มควันไม้

เจือจางในอัตรา 1:300

T 6 = ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุ N และ K และน้ำสกัดชีวภาพ

เจือจางในอัตรา 1:100

T 7 = ใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตร่วมใส่ปุ๋ยที่ให้ธาตุ N และ K และน้ำสกัดชีวภาพ

เจือจางในอัตรา 1:300

ตารางผนวกที่ 2 น้ำหนักแห้งต้นข้าวโพด อายุ 7 สัปดาห์ (กรัม/ต้น)

| กรรมวิธี | ซ้ำ 1 | ซ้ำ 2 | ซ้ำ 3 | ซ้ำ 4 | ซ้ำ 5 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T1       | 1.62  | 1.04  | 1.54  | 1.83  | 1.68  |
| T2       | 0.49  | 0.54  | 0.63  | 0.74  | 0.75  |
| T3       | 7.45  | 5.03  | 4.36  | 7.29  | 5.23  |
| T4       | 6.74  | 6.61  | 5.62  | 6.35  | 8.38  |
| T5       | 7.15  | 5.47  | 7.39  | 5.89  | 5.24  |
| T6       | 7.28  | 8.48  | 6.74  | 6.84  | 7.05  |
| T7       | 6.85  | 7.57  | 6.73  | 7.33  | 5.77  |

ตารางผนวกที่ 3 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งต้นข้าวโพด อายุ 7 สัปดาห์

| กรรมวิธี | ซ้ำ 1 | ซ้ำ 2 | ซ้ำ 3 | ซ้ำ 4 | ซ้ำ 5 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T1       | 10.85 | 9.62  | 11.32 | 10.93 | 11.94 |
| T2       | 5.22  | 6.12  | 6.43  | 7.54  | 6.33  |
| T3       | 13.92 | 11.86 | 11.89 | 14.53 | 11.63 |
| T4       | 11.61 | 11.19 | 10.68 | 10.83 | 13.54 |
| T5       | 13.67 | 11.63 | 13.21 | 11.26 | 10.61 |
| T6       | 13.15 | 13.77 | 12.73 | 12.81 | 13.13 |
| T7       | 12.62 | 13.13 | 11.71 | 12.19 | 13.74 |

**ตารางผนวกที่ 4** ความเป็นกรดเป็นด่างของดินหลังเก็บเกี่ยว

| กรรมวิธี | ซ้ำ 1 | ซ้ำ 2 | ซ้ำ 3 | ซ้ำ 4 | ซ้ำ 5 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T1       | 4.70  | 4.50  | 4.68  | 4.57  | 4.71  |
| T2       | 4.68  | 4.78  | 5.09  | 4.69  | 4.75  |
| T3       | 5.65  | 5.58  | 5.80  | 5.83  | 5.95  |
| T4       | 5.40  | 5.29  | 5.43  | 5.50  | 5.53  |
| T5       | 5.82  | 5.75  | 5.84  | 5.60  | 5.62  |
| T6       | 6.17  | 6.23  | 6.30  | 6.60  | 6.45  |
| T7       | 6.33  | 6.37  | 6.36  | 6.25  | 6.35  |

**ตารางผนวกที่ 5** ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินหลังเก็บเกี่ยว (mg/kg)

| กรรมวิธี | ซ้ำ 1 | ซ้ำ 2 | ซ้ำ 3 | ซ้ำ 4 | ซ้ำ 5 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T1       | 4.76  | 4.03  | 3.82  | 4.00  | 6.00  |
| T2       | 4.56  | 3.92  | 4.10  | 3.91  | 4.40  |
| T3       | 26.57 | 26.10 | 15.37 | 10.70 | 21.39 |
| T4       | 21.39 | 19.56 | 21.87 | 15.83 | 27.90 |
| T5       | 21.87 | 24.66 | 19.08 | 18.66 | 23.74 |
| T6       | 24.70 | 32.63 | 18.60 | 30.75 | 23.30 |
| T7       | 19.12 | 20.48 | 29.34 | 23.25 | 24.19 |

**ตารางผนวกที่ 6** ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนเหนื่อดินของต้นข้าวโพด (g/kg)

| กรรมวิธี | ซ้ำ 1 | ซ้ำ 2 | ซ้ำ 3 | ซ้ำ 4 | ซ้ำ 5 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T1       | 1.47  | 1.24  | 1.68  | 1.51  | 1.57  |
| T2       | 1.59  | 1.55  | 1.31  | 1.46  | 2.33  |
| T3       | 2.53  | 1.39  | 1.26  | 1.04  | 1.76  |
| T4       | 1.32  | 1.49  | 2.03  | 1.42  | 1.24  |
| T5       | 1.03  | 1.09  | 1.14  | 2.41  | 1.91  |
| T6       | 1.36  | 1.42  | 1.26  | 2.41  | 1.91  |
| T7       | 2.19  | 1.55  | 1.44  | 1.96  | 1.15  |

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา