การทดสอบจุลินทรีย์ในการย่อยสลายแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ และอิทธิพลของปุ๋ยโพแทสชีวภาพต่อผลผลิตของคะน้า

Testing for Degradation of Potash Feldspar Using Microorganism and Effect of K-biofertilizer to Chinese Kale Yield.

หลักสูตรปฐพีวิทยา

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

Program in Soil Science

Departmentof Plant Production Technology

Faculty of Agricultural Technology

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร (10520)

King Mongkut's Institute of Technology
Chaokhuntaharn Ladkarbang
Bangkok, 10520 Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษปริญญาตรี
หลักสูตรปฐพีวิทยา

เรื่อง

การทดสอบจุลินทรีย์ในการย่อยสลายแร่โพแทชเฟลด์สปาร์
และอิทธิพลของปุ๋ยโพแทชชีวภาพต่อผลผลิตของคะน้า

Testing for Degradation of Potash Feldspar Using Microorganism
and Effect of K-biofertilizer to Chinese Kale Yield.

โดย

นายธรรมนาถ โพธิ์ศิริพงศ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

.....

(ผศ.ดร.วัฒนชัย พงษ์นาค)

อาจารย์ที่ปรึกษา

วันที่ 28 เดือน ก.ค. พ.ศ. 2555

หลักสูตรรับรองแล้ว

.....

(รศ.ดร.สุมิตรา ภู่วโรดม)

ประธานหลักสูตรปฐพีวิทยา

วันที่ 7 ส.ค. 2555 เดือน.....พ.ศ. .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษปริญญาตรี

เรื่อง

การทดสอบจุลินทรีย์ในการย่อยสลายแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ และอิทธิพลของปุ๋ยโพแทชชีวภาพต่อผลผลิตขอคะน้า

Testing for Degradation of Potash Feldspar Using Microorganism and Effect of K-biofertilizer to Chinese Kale Yield.

โดย

นายธรรมนาถ โพธิ์ศิริพงศ์

เสนอ

หลักสูตรปฐพีวิทยา สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปีการศึกษา2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่อง	: การทดสอบจุลินทรีย์ในการย่อยสลายแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ และอิทธิพลของปุ๋ยโพแทสชีวภาพต่อผลผลิตของคะน้า
ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ	: Testing for Degradation of Potash Feldspar Using Microorganism and Effect of K-biofertilizer to Chinese Kale Yield.
โดย	: นายธรรมนาถ โพธิ์ศิริพงศ์
ชื่อปริญญา	: วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
ภาควิชา	: ปฐพีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ผศ.ดร. วัฒนชัย พงษ์นาค
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	: รศ.ดร. เกษม สร้อยทอง

บทคัดย่อ

การศึกษาทดสอบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายแร่โพแทสเฟลด์สปาร์เพื่อพัฒนาเป็นปุ๋ยชีวภาพโพแทสเซียม และนำมาทดสอบใช้กับคะน้า โดยการวางแผนการทดลองแบบ 2 Factor Factorial in CRD จำนวน 4ซ้ำและ 18 ตำรับการทดลอง ซึ่งใช้จุลินทรีย์จำนวน 8 สายพันธุ์ ได้แก่ *Aspergillus niger(A.VSS02)*, *Aspergillus niger (PK.01)*, *Pennicilium* sp. (PK.02), *Pennicilium* sp. (PVSS.05), Actinomycetes (T2-10), *Red-orange bacteria (Rhodopseudomonas)*, *Purple bacteria (Rhodopseudomonas)* และ *Bacillus subtilis (J-01)*

ผลการศึกษาพบว่า กรณีแร่โพแทสเฟลด์สปาร์ที่อบฆ่าเชื้อก่อนหมักร่วมกับจุลินทรีย์นั้น จุลินทรีย์พวก *Bacillus subtilis* จะมีผลให้ค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ที่วิเคราะห์ได้ มีค่ามากสุด คือ 6.73 ppm-K ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับควบคุมที่ไม่ใช้จุลินทรีย์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.86 ppm-k ส่วนกรณีแร่โพแทสเฟลด์สปาร์ที่ไม่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ พบว่าตำรับการทดลองที่ใช้ *Aspergillus niger (PK.01)* มีค่ามากสุด รองมาคือ *Red-orange bacteria (Rhodopseudomonas)* และ *Purple bacteria (Rhodopseudomonas)* ซึ่งให้ค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 6.83, 6.82 และ 6.67 ppm-K ตามลำดับ และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับตำรับควบคุมซึ่งมีค่าเพียง 5.83 ppm-K

สำหรับการศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยชีวภาพโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของคะน้า พบว่าปุ๋ยชีวภาพโพแทสเซียมที่ผลิตจากการหมักร่วมกับ *Bacillus subtilis(J-01)* จะส่งผลให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความยาวของรากคะน้า ดีกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ รวมทั้งทำให้มีการสะสมโพแทสเซียมในใบคะน้ามากกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ

การทดลองนี้ สรุปได้ว่าจุลินทรีย์ที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตปุ๋ยชีวภาพโพแทสเซียม คือ *Bacillus subtilis (J-01)* , *Red-orange bacteria*, *Purple bacteria* และ *Aspergillus niger (PK.01)*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

การจัดทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ของข้าพเจ้าจะประสบความสำเร็จไม่ได้หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.วัฒนชัย พงษ์นาค อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งที่ให้คำปรึกษาทั้งในขั้นตอนทำการทดลอง และการจัดทำรูปเล่ม อีกทั้งยังช่วยแก้ไขในสิ่งที่ข้าพเจ้าทำผิดพลาดให้ถูกต้องและสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.เกษม สร้อยทอง ซึ่งเอื้อเฟื้อเชื้อจุลินทรีย์รวมถึงสถานที่ในการทำการทดลองอีกทั้งในคำปรึกษาในขั้นตอนซึ่งเกี่ยวข้องกับเชื้อจุลินทรีย์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์หลักสูตรปฐพีวิทยาทุกท่านที่คำปรึกษาในขั้นตอนการทำการทดลองและเอื้อเฟื้อพื้นที่ในการทำการทดลองของข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ คุณนุจรี บุญแปลง, คุณนารี พันธุ์จินดาวรรณ, คุณวรรณิศา พลัดบุญทอง ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการ และคุณสว่าง บุญศรีสุขที่ให้ความช่วยเหลือในการเบิกอุปกรณ์

ขอขอบคุณเพื่อนหลักสูตรปฐพีวิทยาทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและหลักสูตรอื่น ทั้งเพื่อนในคณะเทคโนโลยีการเกษตรและคณะอื่นๆ ทั้งยังเพื่อนต่างสถาบันฯ ที่คอยช่วยเหลือ และสอบถามตลอดการจัดทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ ด้วยใจจริง

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และคนในครอบครัว ที่ให้คำปรึกษาทั้งทุนสนับสนุนการศึกษาอย่างต่อเนื่องและทุกเรื่องทำให้มีโอกาสได้มาถึงจุดนี้ และเป็นกำลังใจตลอดมา

ด้วยความเคารพอย่างสูง
ธรรมนาถ โพธิ์ศิริพงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญภาพผนวก	VI
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	11
ผลการทดลอง	14
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	25
เอกสารอ้างอิง	26
ภาคผนวก	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	เรื่อง	หน้า
1	ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของแร่โพแทสเฟลด์สปาร์ที่อบฆ่าเชื้อกับจุลินทรีย์ที่หมักร่วมกันเป็นเวลา 30 วัน	15
2	ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของแร่โพแทสเฟลด์สปาร์ที่ไม่อบฆ่าเชื้อกับจุลินทรีย์ที่หมักร่วมกันเป็นเวลา 30 วัน	16
3	เปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักสดเฉลี่ยหลังการเก็บเกี่ยว	18
4	เปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักแห้งเฉลี่ยหลังการเก็บเกี่ยว	20
5	การเปรียบเทียบค่าความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในใบคะน้า	22
6	เปรียบเทียบความแตกต่างความยาวของรากคะน้าหลังเก็บเกี่ยว	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	เรื่อง	หน้า
1	ค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ระหว่างแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ กับจุลินทรีย์ที่หมักร่วมกันเป็นเวลา 30 วัน	29
2	เปอร์เซ็นต์ของโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ จากปุ๋ยหมักชีวภาพในอัตรา 1 กิโลกรัม ต่อ 1 ตำรับการทดลอง	30
3	น้ำหนักสดเฉลี่ยของคะน้าหลังการเก็บเกี่ยว	31
4	น้ำหนักแห้งของคะน้าหลังการเก็บเกี่ยว	32
5	ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ จากการวิเคราะห์พืช หลังเก็บเกี่ยว	33
6	เปอร์เซ็นต์ของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในใบคะน้า หลังการเก็บเกี่ยว	34
7	ความยาวของรากคะน้าหลังการเก็บเกี่ยว	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบจุลินทรีย์ในการย่อยสลายแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ และ อิทธิพลของปุ๋ยโพแทสชีวภาพต่อผลผลิตของคะน้า

Testing for Degradation of Potash Feldspar Using Microorganism and Effect of K-biofertilizer to Chinese Kale Yield.

คำนำ

การเกษตรในประเทศได้มีการพัฒนาขึ้นเป็นลำดับเพื่อเพิ่มคุณภาพและผลผลิตต่อพื้นที่ การใส่ปุ๋ยให้กับพืชเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นได้และรู้จักกันมานานแล้ว ปุ๋ยที่ใช้กันมากคือปุ๋ยเคมีที่มีส่วนผสมของธาตุอาหารหลัก แต่ปุ๋ยเคมีดังกล่าวมีราคาแพงจึงอาจเป็นข้อจำกัดในการใช้ปุ๋ยของเกษตรกร

แร่โพแทชเฟลด์สปาร์ (Potash felspar) เป็นแร่ที่นำมาใช้ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มปริมาณธาตุโพแทชเซียมให้แก่พืช โดยการผ่านกรรมวิธีการบดให้ละเอียด ทั้งนี้แร่ดังกล่าวเกษตรกรสามารถนำมาใช้โดยวิธีการดังกล่าวข้างต้นซึ่งไม่ยุ่งยากและ เป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกกว่า ปุ๋ยโพแตสเซียมที่เป็นแม่ปุ๋ยโดยตรงหรือปุ๋ยโพแทสเซียมชนิดอื่น แต่การใช้แร่โพแทชเฟลด์สปาร์ยังมีปัญหาในด้านการละลายและการปลดปล่อยธาตุโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available-K) ออกมาได้ค่อนข้างน้อย ดังนั้นการศึกษานี้จึงทำการทดสอบประสิทธิภาพการปลดปล่อยและย่อยสลายของแร่โพแทชเฟลด์สปาร์โดยจุลินทรีย์ (รา แบคทีเรีย แอคติโนมัยซีต) ศึกษาอัตราการปลดปล่อยธาตุโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และ ทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยโพแทชชีวภาพที่มีต่อผลผลิตคะน้า โดยใช้จุลินทรีย์ 8 สายพันธุ์ที่ได้จากการเลี้ยงเชื้อขึ้นในห้องทดลองและเมื่อเชื้อโตเต็มที่แล้วจึงนำเอาเชื้อไปผสมกับแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ หมักทิ้งไว้30 วันแล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของโพแทชเซียมที่เป็นประโยชน์ จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักชีวภาพต่อผลผลิตของคะน้า โดยเก็บข้อมูลน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของคะน้าหลังเก็บเกี่ยว วัดปริมาณของธาตุโพแทสเซียมในพืชหลังเก็บเกี่ยว และวัดความยาวของรากหลังเก็บเกี่ยว และการศึกษาในครั้งนี้คาดหวังว่าจุลินทรีย์ที่ใช้ทดสอบจะมีประสิทธิภาพในการละลายแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น และปุ๋ยชีวภาพที่นำเอาจุลินทรีย์มาหมักร่วมกับแร่โพแทชเฟลด์สปาร์จะมีผลให้ ผลผลิตของคะน้าเพิ่มขึ้น คุณภาพของคะน้าที่ดีขึ้น และจะเป็นแนวทางในการจัดการปุ๋ยเพื่อการเกษตรที่มีคุณภาพต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

การศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์หลักดังนี้

1. ทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายแร่โพแทสเฟลด์สปาร์ของจุลินทรีย์ 3 ชนิด ได้แก่ เชื้อรา (Fungi), แบคทีเรีย (Bacteria), และ แอคติโนมัยซีต (Actinomycete)

2. เพื่อศึกษาอัตราการปลดปล่อยธาตุโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจากปุ๋ยชีวภาพโพแทสเซียม

3. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยโพแทสชีวภาพที่มีต่อผลผลิตคะน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจเอกสาร

1. บทบาทและความสำคัญของโพแทสเซียม

ความสำคัญของโพแทเซียมที่มีต่อการเพิ่มผลผลิตของพืชนั้นเพิ่งมีผู้ทราบเมื่อเริ่มศตวรรษที่ 19 นี้เอง ทั้งๆที่ผู้ใช้สารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่เพื่อเพิ่มผลผลิตของพืชมาช้านานแล้ว เช่น ทราบกันดีว่ามูลสัตว์ ชากพืช และเถ้าถ่านของไม้เป็นสารที่ช่วยปรับปรุงให้ดินดีขึ้นแม้ว่าเราจะทราบความสำคัญของโพแทสเซียมในแง่ที่เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชมานานพอสมควร แต่การใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่งจะเริ่มมาไม่นานนี้เอง ทั้งนี้เพราะวัตถุต้นกำเนิดดินมักจะมีปริมาณของโพแทสเซียมสูง จึงใช้เวลานานกว่าที่จะทำให้พืชที่ปลูกขาดโพแทสเซียม มีผู้รายงานไว้ว่าปริมาณโพแทสเซียมในผิวโลกมีถึง 2.4 เปอร์เซ็นต์

1.1 บทบาทของโพแทสเซียมที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชธาตุหนึ่งในจำนวน 16 ธาตุ โพแทสเซียมเมื่อเข้าไปอยู่ในพืชแล้วไม่ได้เปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์เหมือนกับไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียมและแมกนีเซียม แต่จะอยู่ในรูปเกลืออินทรีย์หรืออนินทรีย์ซึ่งละลายได้ โพแทสเซียมจำเป็นต่อกิจกรรมหรือกระบวนการสร้างสมต่างๆในเซลล์ที่มีชีวิต โพแทสเซียมมีอิทธิพลต่อพืชดังนี้ (สุมิตรา, 2554)

1) กระบวนการสร้างน้ำตาลและแป้ง มีผู้พบว่าในพืชที่ขาดโพแทสเซียมจะมีปริมาณแป้งต่ำกว่าปกติ เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนของ reducing sugar ต่อปริมาณแป้งทั้งหมดในพืชบางชนิด จะพบว่ามี reducing sugar เพิ่มขึ้นและ non-reducing sugar ลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในราก เมื่อดินมีโพแทสเซียมต่ำ (สุมิตรา, 2554)

2) การเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาล จากการศึกษาพบว่า การเคลื่อนย้ายของน้ำตาลในอ้อยหยุดชงักเนื่องจากขาดโพแทสเซียมมีผู้พบว่าในอ้อยซึ่งมีโพแทสเซียมพอเพียงมีอัตราการเคลื่อนย้ายน้ำตาลเท่ากับ 2.5 เซนติเมตร ต่อ นาที แต่ในอ้อยที่ขาดโพแทสเซียม อัตราการเคลื่อนย้ายลดลงไปมาก ประมาณว่าน้อยกว่า 1.25 เซนติเมตร ต่อ นาที

3) กระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ได้มีการศึกษาการตอบสนองของข้าว 2 พันธุ์ต่อโพแทสเซียม และพบว่าผลผลิตของข้าวจะเพิ่มขึ้นและเมื่อข้าวได้รับแสงไม่เต็มที่จะแสดงการตอบสนองต่อปุ๋ยโพแทสเซียมมากกว่าเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้รับเต็มที่นอกจากนี้ยังพบว่าพืชหัวต้องการโพแทสเซียมในปริมาณที่มากกว่าพืชที่ให้โปรตีน การเจริญของรากของพืชหัวจะลดลงมากถ้ามีโพแทสเซียมจำกัด

4) ปริมาณกรดอินทรีย์และไนโตรเจนซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่ใช่โปรตีน โพแทสเซียมเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ pyruvate kinase ในการเกิด pyruvate ใน Kreb cycle เมื่อมีโพแทสเซียมมากๆ ปฏิกิริยาจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ส่วนของกรดอินทรีย์ หรือ intermediate compound มีอยู่น้อย มีผู้พบว่า ความเข้มข้นของ citrate และ malate ลดลงเมื่อใส่โพแทสเซียมแก่พืช กรด malonic, malic และ citric โดยปกติมีสูงถึง 72% ของกรดทั้งหมดในพืช มีผู้พบว่าพืชที่ขาดโพแทสเซียมมีส่วนของ nonprotein nitrogen สะสมอยู่และการสร้างโปรตีนลดลง แต่ถ้ามีโพแทสเซียมมากขึ้นมีการใช้กรดอะมิโน (amino acid) ในกระบวนการสร้างโปรตีนมากขึ้น (ฉวีวรรณ, 2551)

5) โครงสร้างของเอนไซม์ มีเอนไซม์กว่า 40 ชนิดที่ต้องการแคตไอออนที่มีประจุบวก 1 ประจุ (monovalent cation หรือ univalent cation) ไปกระตุ้นให้ทำงานได้ดีขึ้น บทบาทของแคตไอออนต่างๆ เหล่านี้เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของเอนไซม์ซึ่งเปลี่ยนแปลงได้ตามชนิดของไอออนบวกที่อยู่รอบๆ เมื่อมีโพแทเซียมหรือ monovalent cation อื่นๆ ที่สามารถจะไปเร่งปฏิกิริยาได้ active site ของเอนไซม์นี้จะอยู่ในสถาพที่จะรวมกับ substrate ได้ ในทางตรงกันข้ามเมื่อ monovalent cation อื่นๆที่ไม่สามารถจะเร่งปฏิกิริยาได้ active site จะอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถรวมกับ substrate ได้ อิทธิพลของโพแทสเซียมที่มีต่อเอนไซม์อื่นยังไม่มีการทดลองมากเท่ากรณีของ pyruvate kinase (ฉวีวรรณ, 2551)

6) ความต้านทานโรค โรคต่างๆ ที่เกิดกับพืชหลายชนิดจะลดลงถ้าดินมีโพแทสเซียมเพียงพอหรือใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมให้แก่ดินที่ขาดโพแทสเซียม ทั้งนี้เพราะว่าโพแทสเซียมจะทำให้ผนังเซลล์ของพืชหนาและมั่นคง ยากต่อการเข้าทำลายของโรค นอกจากนี้โพแทสเซียมยังเป็นตัวเร่งให้เซลล์ทำงานได้ดีขึ้น (สุมิตรา, 2554)

7) คุณภาพของผักและผลไม้ การขาดโพแทสเซียมจะทำให้คุณภาพและปริมาณผลผลิตของพืชต่ำลง คุณภาพของผลไม้ที่ลดลงนี้รวมถึง สี ขนาด ความเป็นกรด และคุณภาพในการเก็บรักษา (สุมิตรา, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 อาการขาดธาตุโพแทสเซียมของพืช เมื่อพืชขาดโพแทสเซียมขอบใบจะมีสีซีด (chlorosis) แล้วปลายเป็นสีน้ำตาลและแห้งไปในที่สุดอาการเริ่มจากปลายใบสู่โคนใบ ระหว่างเส้นใบอาจจะมีจุดสีน้ำตาลแห้ง โพแทสเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ (mobile) ในพืช เพราะฉะนั้นลักษณะอาการขาดจะเกิดขึ้นที่ใบแก่ก่อนใบอ่อน อาการขาดโพแทสเซียมจะเห็นได้ชัดกับข้าวโพดและพืชตระกูลหญ้า พวกธัญพืชมักจะเกิดเมล็ดลีบและน้ำหนักเบาผิดปกติ พืชที่ให้หัวที่รากจะมีแป้งน้อยแต่น้ำมาก ข้าวโพดจะให้ฝักที่เมล็ดไม่เต็มจนถึงปลายฝัก ฝักจะเล็กและรูปร่างผิดปกติ ใบยาสูบจะมีคุณภาพในการติดไฟต่ำ ผลไม้จะมีสีไม่สวยและเนื้อฟ่าม พืชที่ให้น้ำมันก็จะมีน้ำมันน้อย นอกจากนั้นการขาดโพแทสเซียมยังทำให้พืชล้ม (lodging) ได้ง่าย เพราะพืชที่ขาดโพแทสเซียมจะมีลำต้นอ่อน พืชพวกฝ้ายจะมีสีน้ำตาลปนแดง (สุมิตรา, 2554)

1.3 การสูญเสียโพแทสเซียมในดิน โพแทสเซียมในดินมีทางที่จะสูญเสียไปจากดินได้ 5 ทาง คือ

1) พืชดูดไปใช้ (crop removal) พืชดูดโพแทสเซียมไปใช้ในปริมาณที่สูงพอๆ กับไนโตรเจน และประมาณ 3-4 เท่าของฟอสฟอรัสหากมีโพแทสเซียมในดินมาก พืชจะดูดโพแทสเซียมไปใช้ในปริมาณมากกว่าที่พืชจะต้องใช้จริงๆมีผู้คำนวณอย่างคร่าวๆว่าดินจะสูญเสียโพแทสเซียมในปีหนึ่งราว 12-16 กิโลกรัมต่อไร่

2) ถูกชะละลาย (leaching) การสูญเสียโพแทสเซียมโดยการชะละลายจะเห็นได้จากการวิเคราะห์น้ำที่ระบายลงสู่ดินชั้นล่างการสูญเสียโพแทสเซียมโดยวิธีนี้จะน้อยกว่าไนโตรเจน แต่จะมากกว่าฟอสฟอรัสบางครั้งปริมาณที่ถูกชะละลายอาจพอๆกับปริมาณที่พืชดูดเข้าไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งปุ๋ยโพแทสเซียมที่ใส่กับดินทรายจะถูกชะละลายมาก (สุกัญญา, 2554)

3) การกร่อนของผิวดิน (erosion of surface soil) น้ำที่ไหลบ่าไปตามผิวดินเมื่อชะเอาอนุภาคของดินออกไปก็จะทำให้โพแทสเซียมที่อยู่ในดินสูญหายไปด้วย การสูญเสียโพแทสเซียมไปเนื่องจากการกร่อนผิวดินก่อให้เกิดปัญหาน้อยกว่าการสูญเสียไนโตรเจนโดยวิธีเดียวกัน ทั้งนี้ก็เพราะว่าการกระจายตามความลึกของธาตุอาหารทั้งสองต่างกัน โพแทสเซียมจะมีการกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอที่ระดับความลึกต่างๆ (สุกัญญา, 2554)

4) การตรึงโพแทสเซียม (potassium fixation) ปุ๋ยโพแทสเซียมที่ใส่เพิ่มเติมลงไปในดินบางส่วนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชยากขึ้นซึ่งเรียกว่าถูกตรึง การตรึง

เอกสารนี้ใช้เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนใหญ่เกิดโดยแร่ดินเหนียวในดินการที่โพแทสเซียมที่ใช้ประโยชน์ได้เปลี่ยนเป็นรูปที่ใช้ประโยชน์ได้ยากมีผลดีในแง่ที่ว่า เป็นการอนุรักษ์โพแทสเซียมไว้แทนที่จะสูญเสียไปโดยการชะละลายหากอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โพแทสเซียมที่ถูกตรึงนี้จะกลายเป็นโพแทสเซียมที่พืชใช้ประโยชน์ได้หากโพแทสเซียมในรูปที่พืชใช้ได้ลดลงโดยพืชดูดไปหรือถูกน้ำชะละลายไป (สุมิตรา, 2554)

5) ถูกพืชดึงดูดเข้าไปมากเกินความต้องต้องการ (luxury consumption) หากในดินมีระดับโพแทสเซียมสูง พืชจะดูดขึ้นไปสะสมในปริมาณที่เกินความต้องการ โดยทีไม่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตไป ปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมมากเกินพอนี้ก็จะสูญหายไปด้วยเพราะฉะนั้นการใส่โพแทสเซียมลงไปในดินมากๆจึงเป็นการใช้ปุ๋ยที่ไม่มีประสิทธิภาพและไม่ถูกหลักเศรษฐกิจมีผู้ทดลองการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมกับฟาลฟา (alfalfa) และพบว่าการใช้ปุ๋ยทีละน้อยแต่บอยครั้งจะให้ผลดีกว่าการใส่ครั้งละมากๆแต่ใส่น้อยครั้ง

1.4 รูปของโพแทสเซียมในดิน โพแทสเซียมในดินมีความสำคัญโดยเฉพาะในแง่ที่เกี่ยวข้องกับการเป็นธาตุอาหารพืชนั้น ปริมาณเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ซึ่งอยู่ในสภาพต่างๆ และพอแบ่งได้เป็น 3 รูปใหญ่ๆคือ

1) รูปที่ละลายน้ำได้ (water soluble forms) เป็นโพแทสเซียมที่อยู่ในสภาพของไอออนที่มีประจุไฟฟ้าบวกละลายอยู่ในสารละลายดินซึ่งพืชจะใช้ประโยชน์ได้ทันทีโดยดูดกินไปใช้โดยทางราก เป็นรูปที่มีอยู่ในดินเป็นปริมาณน้อยที่สุด

2) รูปไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable forms) ได้แก่ โพแทสเซียมที่อยู่ในสภาพของไอออน (K^+) ที่ดูดยึดเอาไว้ที่ที่ผิวของสารคอลลอยด์ดินโดยเฉพาะแร่ดินเหนียว

3) รูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (non-exchangeable forms) ได้แก่ รูปของโพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่อยู่ในดินจะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ยากมาก แบ่งออกเป็น 2 ชนิดย่อย ๆคือ (1) โพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่ชนิดต่างๆในดินและ (2) โพแทสเซียมที่ถูกตรึงเอาไว้โดยอนุภาคดินเหนียว (สุกัญญา, 2554)

1.5 การตรึงโพแทสเซียมในดิน การตรึงโพแทสเซียมในดินเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนรูปของโพแทสเซียมที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที หรือรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ง่ายกว่า คือรูปของไอออนที่ละลายอยู่ในสารละลายดินและอนุภาคของไอออนที่ถูกดูดยึดไว้ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว ให้ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้โดยตรง โพแทสเซียมส่วนที่ถูกตรึงอยู่นี้จะอยู่ในสภาพของไอออนที่ถูกยึดเอาไว้ด้วยแรงจำนวนมากระหว่างแร่ดินเหนียว 2 อนุภาค ส่วนการที่จะปลดปล่อยกลับคืนให้มาอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้เป็นจำนวนมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ดินเหนียวที่ตรึงโพแทสเซียมไอออนนี้เอาไว้ และขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของดิน กล่าวคือ ถ้าดินมีแร่ดินเหนียวหรือชนิดของดินเหนียวประเภท illite เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่มาก ก็จะทำให้การปลดปล่อยโพแทสเซียมกลับคืนมาได้ยากกว่า เพราะ illite จะสามารถตรึงโพแทสเซียมเอาไว้ได้แน่นหนากว่าแร่ดินเหนียวประเภทอื่น เช่น montmorillonite เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมที่จะส่งเสริมให้โพแทสเซียมที่ถูกตรึงอยู่ถูกปลดปล่อยกลับมาให้พืชได้ใช้ใหม่อีกคือ ดินมีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น หรือดินที่มีน้ำขังอยู่เป็นเวลานานๆ เช่นดินใช้ทำนา ดังนั้นจึงมักพบเสมอว่าดินนาซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะเป็นดินที่มีความเป็นกรดและเนื้อดินละเอียด มีดินเหนียวเป็นองค์ประกอบอยู่มาก จะมีธาตุโพแทสเซียมให้แก่พืชใช้เป็นปริมาณที่พอเพียงเสมอ (สุกัญญา, 2554)

1.6 แหล่งที่มาและความสำคัญของแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ เฟลด์สปาร์เป็นแร่ประกอบหินที่มีมากที่สุด พบได้ทั่วไปในหินอัคนี หินตะกอน แต่แร่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจได้จากสายน้ำแร่ร้อน นอกจากนี้แล้วยังมีการผลิตเฟลด์สปาร์จากส่วนที่เป็นหินกราฟิกแกรนิต หินแกรนิตสีขาว หินแอไพลต์ และหินเฟลด์สปาร์เป็นแร่ที่สลายตัวได้ง่ายที่สุดแร่ หนึ่ง สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำหรือกรดคาร์บอนิกได้ดี เมื่อสลายตัวแล้วจะกลายเป็นดินเหนียวต่อไป มีสูตรทางเคมีเป็น $X.AlSi_3O_8$ (เมื่อ X คือธาตุโพแทสเซียม โซเดียมและแคลเซียม) แร่นี้มีสีขาวทึบหรือสีขาวขุ่น มีความแข็งมาตรฐานเท่ากับ 6

1.7 แหล่งที่มาของแร่โพแทชเฟลสปาร์ในประเทศไทย ประเทศไทยมีแหล่งแร่โพแทชที่คอนข้างใหญ่ในแอ่งโคราช (Khorat basin) และแอ่งสกลนคร (Sakhon Nakhon basin) ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แร่สำคัญที่พบคือแร่คาร์นาลไลต์และซิลวิไนต์ ประมาณว่าในแอ่งโคราชที่อำเภอบำเหน็จณรงค์ จังหวัดชัยภูมิมีทรัพยากรสินแร่ (ore resource) ประมาณ 366 ล้านตัน K_2O ส่วนแหล่งโพแทชในแอ่งสกลนคร บริเวณจังหวัดอุดรธานีนั้น มีแร่ซิลวิไนต์เป็นหลัก พบทรัพยากรสินแร่ 250 ล้านตัน K_2O

1.8 การใช้แร่โพแทชเป็นปุ๋ย ในปัจจุบันนี้ประมาณร้อยละ 95 ของเกลือโพแทชที่ผลิตทั่วโลกใช้เป็ปุ๋ย อีกร้อยละ 5 ใช้ในการอุตสาหกรรมอื่นประมาณร้อยละ 92 ของปุ๋ยที่ใช้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพแทสเซียมคลอไรด์ที่เหลือเป็นปุ๋ยโพแทชชนิดอื่น ได้แก่ โพแทชเซียมซัลเฟต (sulfate of potash,SOP) โพแทสเซียมไนเทรต และโพแทสเซียมฟอสเฟต

1.9 การใช้จุลินทรีย์รวมกับแร่เฟลด์สปาร์ บทบาทสำคัญของจุลินทรีย์ดินต่อความเป็นประโยชน์ของโพแทชเซียมส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องในกระบวนการ mobilization โดยการปลดปล่อยกรดอินทรีย์ เช่น กรดแลคติก กรดซิตริค กรดออกซาลิค เป็นต้น หรือกรดอินทรีย์ เช่น กรดคาร์บอนิค กรดไนตริค และกรดซัลฟูริค เป็นต้น ในการละลายแร่ และวัตถุต้นกำเนิดดินที่มีโพแทชเซียมเป็นองค์ประกอบจุลินทรีย์ที่สามารถปลดปล่อยกรดออกมาละลายแร่อะลูมิโนซิลิเกต เช่นแบคทีเรียกลุ่ม Bacillus และ Pseudomonas ราในกลุ่มของ Aspergillus, Mucor,Penicillium โดยอาจละลายได้จากแร่ในกลุ่มไมก้า เช่น biotite, muscovite ละลายจากแร่ในกลุ่มของเฟลด์สปาร์ เช่นmicrocline, nephelite, leucite, orthoclase เป็นต้น และมีรายงานพบว่าโพแทสเซียมจะถูกละลายออกมาจากรูปที่ตกตะกอน โดยการผลิตกรดอนินทรีย์และกรดอินทรีย์จากแบคทีเรียในกลุ่ม Thiobacillus, Clostridium และ Bacillus (ฉวีวรรณ, 2551)

1.10 รูปและปริมาณของโพแทสเซียมในดิน โพแทสเซียมที่ดินได้รับจากการสลายตัวของแร่ปฐมภูมิอยู่ในหลายรูปในดิน ได้แก่

- รูปที่ละลายน้ำในสารละลายดิน
- รูปที่แลกเปลี่ยนได้ ได้แก่ รูปที่ถูกดูดยึดบนผิวคอลลอยด์ดินที่มีประจุลบ ได้แก่ ประจุลบ ถาวร หรือถูกดูดยึดบนผิวคอลลอยด์ดินที่มีประจุผันแปร เช่น คอลลอยด์ดินส่วนที่เป็นอินทรียวัตถุ
- รูปที่ถูกตรึง หรือรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ เป็นรูปที่ถูกดูดยึดอย่างแข็งแรงไม่สามารถถูกแลกเปลี่ยนโดยแคทไอออนอื่นได้ คำว่า การตรึง(fixation) หมายถึง การเปลี่ยนรูป K จากรูปในสารละลายดินหรือรูปแลกเปลี่ยนได้เป็นรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ ได้แก่ รูปที่อยู่ในช่องว่างระหว่างชั้นของแร่ดินเหนียว 2:1 หรือในตำแหน่ง i (inner position) (สุกัญญา, 2554)

2. บทบาทของจุลินทรีย์ในดิน

บทบาทของจุลินทรีย์ในดินที่สำคัญ คือ การย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินจนกลายเป็นฮิวมัส และทำให้ดินมีสีดำ การย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงของอินทรียวัตถุโดยจุลินทรีย์ ทำให้ได้สารประกอบอนินทรีย์ต่าง ๆ เช่น กำมะถัน ฟอสเฟต แคลเซียม ฯลฯ กระบวนการนี้เรียกว่า มินเนอรัลไลเซชัน (Mineralization) ซึ่งเป็นการหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 แบคทีเรีย (Bacteria) แบคทีเรียเป็นพืชชั้นต่ำ มีเซลล์เดียว ขนาดเล็กมากประมาณ 0.5-2 ไมครอน ไม่มีคลอโรฟิลล์จึงทำการสังเคราะห์แสงไม่ได้ พบอยู่ทั่ว ๆ ไป ขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว พบมากที่สุดในดิน ดินสวน 1 กรัม มีแบคทีเรียได้มากถึง หนึ่งพันล้านเซลล์ มีทั้งพวกที่เป็นออโตโทรพ (Autotroph) และเฮเทอโรโทรพ (Heterotroph) แต่จะมีพวกเฮเทอโรโทรพมากที่สุด แบคทีเรียเหล่านี้เจริญได้ดีทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจนหรือมีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย หรือมีทั้งพวกที่สร้างและไม่สร้างสปอร์ เป็นต้น แบคทีเรียในดินพบอยู่เป็นอิสระได้น้อยมาก เพราะเซลล์ยึดเกาะกับอนุภาคของดิน หรือฮิวมัสเอาไว้ แบคทีเรียบางชนิดยังสร้างสารเมือกมาช่วยยึดเกาะอีกด้วย การยึดเกาะระหว่างเซลล์และอนุภาคของดิน เป็นการยึดเกาะด้วยประจุไฟฟ้า เช่น ถ้าเซลล์แบคทีเรียมีประจุลบ ก็เข้ายึดเกาะกับอนุภาคของดินที่มีประจุบวก จึงทำให้ถูกเคลื่อนที่ย้ายจากตำแหน่งเดิมได้ยากด้วย แบคทีเรียที่พบในดินมีชนิดและปริมาณแตกต่างกันไปตามอินทรียสารในดิน เช่น ในดินที่มีการเพาะปลูกพืช มีแบคทีเรียมากกว่าในดินที่ไม่มีการเพาะปลูก เพราะดินที่มีการเพาะปลูกได้รับอินทรียสารต่าง ๆ ที่รากขับออกมาในปริมาณมาก สารเหล่านี้แบคทีเรียนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญและทวีจำนวนต่อไปได้ แบคทีเรียที่พบในดินส่วนมากได้แก่ สกุลอะโกรแบคทีเรียม(Agrobacterium) บาซิลลัส(Bacillus) คลอสตริเดียม(Clostridium) ฟลาโวแบคทีเรียม (Flavobacterium) ซูโดโมแนส (Pseudomonas) และ ซาซินา (Sarcina)

2.2 รา (Fungi) ราที่พบในดินมีหลายร้อยชนิด อาศัยอยู่บริเวณผิวหน้าดิน เพราะเจริญได้ดีในที่มีออกซิเจน ฟังไจที่พบอาจอยู่ในรูปของสปอร์ (Spores) หรือไมซีเลียม (Mycelium) ส่วนจำนวนและชนิดที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความชื้น พีเอช ชนิดของดินและความลึกของดิน บางครั้ง อาจพบไมซีเลียมอยู่รวมกับอนุภาคของสารต่าง ๆ ในดิน บางชนิดใช้ไมซีเลียมยึดเกาะกันและแทรกเข้าไปในเนื้อดินบางชนิดเจริญข้างในหรือด้านบนของอนุภาคอินทรียสาร เป็นต้น การเจริญของฟังไจโดยทั่วไปนั้นเจริญได้รวดเร็วในดินที่มีส่วนประกอบของพืชอยู่ด้วย เช่น เซลลูโลสหรือลิกนิน ในดินที่มีฟังไจมาก ๆ นอกจากเป็นการเพิ่มสารประกอบพวกคาร์บอน และไนโตรเจนให้กับดินแล้ว ยังช่วยให้ดินมีคุณสมบัติอุ้มน้ำได้ดีขึ้น เนื่องจากทำให้อนุภาคของดินขนาดเล็ก ๆ รวมตัวกัน ฟังไจที่พบในดินมีทั้งเห็ดราและยีสต์รา ได้แก่ มิวคอร์ (Mucor) แอสเพอร์จิลลัส (Aspergillus) อัลเทอร์นาเรีย (Alternaria) เคโตเมียม (Chaetomium) ส่วนยีสต์ในดินมีพบน้อยมาก ได้แก่ แคนดิดา (Candida) แฮนเซนูลา (Hansenula) โรท์โดโทรูลา (Rhodotorula) ทอรูลา (Torula) ทอรูลอพซีส (Torulopsis) ไทรโคลสปอรอน (Tricholsporon) แซคคาโรไมซีส (Saccharomyces) และ ไซโกแซคคาโรไมซีส (Zygosaccharomyces)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 แอคติโนมัยซีส (Actinomycetes) แอคติโนมัยซีสเป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างยาว เรียว ส่วนมากเส้นใยแตกแขนงเป็นกิ่งก้าน ไมซีเลียมมีเส้นใยแตกต่างกันไปแต่ละชนิด จึงนำมาใช้เป็นลักษณะสำคัญในการจำแนกหมวดหมู่ได้ แอคติโนมัยซีสแพร่กระจายเป็นจำนวนมาก ในแหล่งที่มีการเน่าเปื่อยของอินทรียวัตถุตลอดจนในสิ่งขับถ่ายจากสัตว์ พบมากบริเวณผิวหน้าดิน เพราะต้องการออกซิเจนในการเจริญ โดยทั่วไปพบแอคติโนมัยซีสประมาณ 100,000 – 1,000,000 เซลล์ต่อดินหนึ่งกรัม เจริญได้ดีในดินที่เป็นด่าง การดำรงชีวิตส่วนมากเป็นแซโพรไฟท์ แต่บางชนิดเป็นปรสิต ทำให้เกิดโรคกับมนุษย์ พืชและสัตว์อื่น ๆ เจริญได้ในอาหารที่มีอินทรียสารอยู่ด้วย เช่น เจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีไคตินได้ดีกว่าแบคทีเรียและฟังไจ ส่วนช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเจริญหรือช่วงอายุยาวนานกว่าแบคทีเรียมาก จึงเจริญได้อย่างช้า ๆ อันเป็นลักษณะสำคัญประการหนึ่งของแอคติโนมัยซีส สำหรับสมาชิกที่พบในดินได้แก่ สเตรพโตมัยซีส (Streptomyces) โนคาร์เดีย (Nocardia) สเตรปโตสปอแรนเจียม(Streptosporangium) ฯลฯ แอคติโนมัยซีส มีการดำรงชีวิตแบบปรุงอาหารได้เอง (Autotroph) จึงเจริญได้ดีในดินที่มีอินทรียสารเป็นจำนวนมาก สามารถใช้สารประกอบเชิงเดี่ยวและเชิงซ้อนของกรดอินทรีย์ไขมัน โปรตีน น้ำตาล และโพลีแซคคาไรด์อื่น ๆ เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานได้ แต่อัตราการย่อยสลายช้ามาก ส่วนมากย่อยโปรตีน ไขมัน แป้ง และไคตินได้ดี ซึ่งการย่อยไคตินนี้เป็นคุณลักษณะที่เฉพาะของสเตรพโตมัยซีส (Streptomyces) อย่างไรก็ตาม แอคติโนมัยซีสเจริญได้ดีในอาหารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ จึงเรียกจุลินทรีย์พวกนี้ว่า Oligocarbophillic Microorganisms (นงลักษณ์ และ ปรีชา, 2550)

3. คะน้า (Chinese Kale)

ผักคะน้าเป็นผักที่เราปลูกเพื่อบริโภคส่วนของใบและลำต้น มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปเอเชีย และมีปลูกกันมากในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น จีน ฮ่องกง ไต้หวัน มาเลเซีย และประเทศไทย ผักคะน้าอยู่ในตระกูล Cruciferae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Brassica alboglabra Bailey ลักษณะโดยทั่วไป ผักคะน้าเป็นผักอายุ 2 ปี แต่ปลูกเป็นผักฤดูเดียว อายุตั้งแต่หว่านจนถึงเก็บเกี่ยว ประมาณ 45-55 วัน ผักคะน้าสามารถปลูก ได้ตลอดปี แต่เวลาที่ปลูกได้ผลดีที่สุดอยู่ ในช่วงเดือนตุลาคม-เมษายน คะน้าสามารถขึ้นได้ในดิน แทบทุกชนิดที่มี ความอุดมสมบูรณ์สูง มีความเป็นกรดด่าง ของดินอยู่ระหว่าง 5.5-6.8 และมีความชื้นในดินสูงสม่ำเสมอ คะน้าที่ปลูกในบ้านเรามีอายุเก็บเกี่ยว ประมาณ 45-55 วันหลังปลูก ซึ่งเป็นคะน้าที่โตเต็มที่ นอกจากนี้เรายังได้คะน้าอ่อน หรือที่เรียกว่า ยอดคะน้า ซึ่งได้จากการถอนแยกขณะที่มีอายุประมาณ 30 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

1. อุปกรณ์ประกอบด้วย

1.1 เชื้อรา (Fungi) จำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่

Aspergillus niger (A.VSS 02)

Aspergillus niger (PK.01)

Pennicilium sp. (PK.02)

Pennicilium sp. (PVSS.05)

1.2 แอคติโนมัยซิส (Actinomycetes) จำนวน 1 สายพันธุ์ ได้แก่

Actinomycetes (T2-10)

1.3 แบคทีเรีย (Bacteria) จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่

Red-orange bacteria Rhodopseudomonas

Purple bacteria Rhodopseudomonas

Bacillus subtilis (J-01)

1.4 อาหารเลี้ยงเชื้อ

1.4.1 เชื้อราใช้อาหาร PDA (Potato Dextrose Agar)

1.4.2 เชื้อแอคติโนมัยซิส ใช้อาหาร YSA (Yeast Starch Agar Medium)

1.4.3 เชื้อแบคทีเรีย ใช้อาหาร PDPB (Potato Dextose Peptone)

1.5 จานเลี้ยงเชื้อ (Plate)

1.6 หม้อนึ่งความดัน

1.7 ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)

1.8 ตู้เขี่ยเชื้อ และเข็มเขี่ยเชื้อ

1.9 ตะเกียงแอลกอฮอล์

1.10 หลอดขยายเชื้อ

1.11 แอลกอฮอล์ 95 % และ 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีการศึกษา

2.1 แผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบ 2 Factor Factorial in Completely Randomiged Desing (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ Factor A เป็น ชนิดของแร่โพแทสเฟลสปาร์ได้แก่ A1 คือ แร่โพแทสเฟลสปาร์ที่อบฆ่าเชื้อ และ A2 คือ แร่โพแทสเฟลสปาร์ที่ไม่อบฆ่าเชื้อ ส่วน Factor B เป็น สายพันธุ์จุลินทรีย์ จำนวน 8 สายพันธุ์

ซึ่งมีตำรับการทดลองดังนี้

T1-A1B1 = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ+ *Aspergillus niger (A.VSS 02)*

T2-A1B2 = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ+ *Aspergillus niger (PK.01)*

T3-A1B3 = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ+ *Pennicilium* sp. (PK.02)

T4-A1B4 = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ+ *Pennicilium* sp. (PVSS.05)

T5-A1B5 = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ+ Actinomycetes (T2-10)

T6-A1B6 = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ+*Red-orange Bacteria Rhodopseudomonas*

T7-A1B7 = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ+ *Purple Bacteria Rhodopseudomonas*

T8-A1B8 = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ+ *Bacillus subtilis (J-01)*

T9-A1B9 (control) = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ผ่านการฆ่าเชื้อ และไม่ใช้จุลินทรีย์

T10-A2B1 = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ+ *Aspergillus niger (A.VSS 02)*

T11-A2B2 = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ+ *Aspergillus niger (PK.01)*

T12-A2B3 = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ+ *Pennicilium* sp. (PK.02)

T13-A2B4 = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ+ *Pennicilium* sp. (PVSS.05)

T14-A2B5 = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ+ *Actinomycetes* (T2-10)

T15-A2B6 = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ+ *Red-orange bacteria Rhodopseudomonas*

T16-A2B7 = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ+ *Purple bacteria Rhodopseudomonas*

T17-A2B8 = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ+ *Bacillus subtilis* (J-01)

T18-A2B9 (control) = แร่โพแทชเฟลด์สปาร์บดที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ และไม่ใช้จุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การหมักปุ๋ยโพแทสชีวภาพ (K-biofertillizer) โดยในแต่ละทรีทเมนต์จะใช้โพแทสเซียมเฟลสปาในอัตรา 250 กรัม ต่อ เชื้อจุลินทรีย์ 3pate หรือ แร่เฟลสปาร์ 1 กิโลกรัมต่อเชื้อจุลินทรีย์ 12pate จากนั้นผสมเชื้อจุลินทรีย์ กับแร่โพแทสเซียมเฟลสปาร์ของแต่ละตำรับการทดลองเข้าด้วยกันในอัตราดังกล่าว หมักทิ้งไว้หนึ่งเดือน และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K) โดยใช้เครื่อง Atommic Absorbtion (AA) (สุมิตรา, 2554)

2.3 การทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยโพแทสชีวภาพ ต่อผลผลิตของคะน้า ทดลองปลูกคะน้าเพื่อทดสอบการดูดใช้โพแทสเซียมจากปุ๋ยชีวภาพโพแทสเซียม และผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของคะน้าโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบรูณ์ (Completely Randomiged Desing) (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยนำปุ๋ยชีวภาพโพแทสเซียมในตำรับการทดลองที่ T10 ถึง T18 มาทำการทดสอบกับคะน้าที่ปลูกในกระถางทดลอง

ทั้งนี้ทำการปลูกคะน้าโดยใช้ปุ๋ยโพแทสชีวภาพในอัตรา 250 กิโลกรัมต่อไร่ จนถึงอายุเก็บเกี่ยวหลังจากนั้นเก็บตัวอย่างใบคะน้าเพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่สะสมในใบคะน้า โดยทำการเก็บข้อมูลดังนี้

1. ข้อมูลผลผลิตคะน้า
   - น้ำหนักสดและแห้งหลังเก็บเกี่ยว
   - วัดขนาดและความยาวราก หลังเก็บเกี่ยว
2. วิเคราะห์โพแทสเซียมในใบคะน้า

โดยการย่อยสลายพืชโดยวิธี Acid mixture digestion และวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available - K) ด้วยเครื่อง Atommic Absorbtion (AA) แล้วนำมาคำนวณหาค่าทางสถิติ

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลในตำรับการทดลองต่างๆนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยตาราง ANOVA โปรแกรม SPSS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

1. การทดสอบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายแร่โพแทสเฟลด์สปาร์

1.1 แร่โพแทสเฟลด์สปาร์ที่อบฆ่าเชื้อ จากการทดสอบโดยการนำจุลินทรีย์จำนวน 8 สายพันธุ์มาหมักร่วมกับแร่โพแทสเฟลด์สปาร์บดที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อก่อนหมัก แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available-k) พบว่าแร่โพแทสเฟลด์สปาร์ที่หมักร่วมกับจุลินทรีย์ทุกตำรับการทดลองมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงกว่าตำรับควบคุมที่ไม่ได้หมักร่วมกับจุลินทรย์และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) แต่ในตำรับการทดลองที่ใช้จุลินทริย์สายพันธุ์ต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 1.)

ตำรับการทดลองที่มีค่าโพแทสซียมที่เป็นประโยชน์มากที่สุดได้แก่ T8 (*Bacillus subtilis - J-01*) มีค่า 6.73 ppm-k รองลงมาคือ T4 (*Pennicilium* sp. - PVSS.05) มีค่า 6.65 ppm-k ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนตำรับการทดลองอื่นๆ มีค่าลดลงบ้าง แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ยกเว้นในตำรับควบคุมมีค่าต่ำสุดเพียง 5.86 ppm-k ซึ่งมีความแตกต่างจากตำรับการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 1.)

1.2 แร่โพแทสเฟลด์สปาร์ที่ไม่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์จากตำรับการทดลองที่หมักจุลินทรีย์ร่วมกับแร่โพแทสเฟลด์สปาร์บดที่ไม่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ พบว่า ผลการศึกษาเป็นทำนองเดียวกับตำรับที่อบฆ่าเชื้อกล่าวคือ ตำรับที่หมักร่วมกับจุลินทรีย์ทุกตำรับการทดลองจะมีค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงกว่าตำรับควบคุมที่ไม่ใช้จุลินทรีย์ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.)

อย่างไรก็ตามจากข้อมูลในตารางที่ 2. จะเห็นว่าเชื่อจุลินทรีย์ที่มีศักยภาพในการย่อยสลายแร่โพแทสเฟลด์สปาร์ในสภาพที่ไม่ผ่านการอบฆ่าเชื้อจะเปลี่ยนไปจากกรณีที่อบฆ่าเชื้อ โดยที่จุลินทรีย์กลุ่มเชื้อรา สายพันธุ์ *Aspergillusniger -PK.01* จะมีค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงสุดคือ 6.83ppm-k และไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์ *Rhodopseudomonas* พวก *Red-orange bacteria* และ *Purple-bacteria* ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.82 และ 6.67 ppm-k ตามลำดับ ส่วนตำรับควบคุมที่ไม่หมักด้วยจุลินทรีย์มีค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เพียง 5.83 ppm-k (ตารางที่ 2.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ที่อบฆ่าเชื้อที่หมักร่วมกับจุลินทรีย์ เป็นเวลา 30 วัน

ตำรับการทดลอง (Treatment)	ค่าโพแทชเซียมเป็นประโยชน์ (ppm)
T1-A1B1	6.42 ab
T2-A1B2	6.04 abc
T3-A1B3	6.07 abc
T4-A1B4	6.65 a
T5-A1B5	6.09 abc
T6-A1B6	6.21 ab
T7-A1B7	6.28 ab
T8-A1B8	6.73 a
T9-A1(control)	5.86 d
F- test	*
% CV	1.05

หมายเหตุ : ns = Non - significant

* = P<0.05

** = P<0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของแร่โพแทชเฟลด์สปาร์ที่ไม่อบฆ่าเชื้อที่หมักร่วมกับจุลินทรีย์ เป็นเวลา 30 วัน

ตำรับการทดลอง(Treatment)	ค่าโพแทชเซียมเป็นประโยชน์ (ppm)
T10-A2B1	6.23 ab
T11-A2B2	6.83 a
T12-A2B3	6.25 ab
T13-A2B4	6.34 ab
T14-A2B5	6.05 abc
T15-A2B6	6.82 a
T16-A2B7	6.67 a
T17-A2B8	6.49 ab
T18-A2 (control)	5.83 d
F- test	*
% CV	1.01

หมายเหตุ : ns = Non – significant

* = P<0.05

** = P<0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยโพแทสชีวภาพ ต่อผลผลิตของคะน้า

2.1 น้ำหนักสดของพืช จากตารางที่ 3. พบว่าน้ำหนักสดเฉลี่ยมีค่ามากที่สุดในตำรับที่ T17 มีค่าเท่ากับ 27.65 กรัม รองลงมาคือตำรับที่ T10, T12, T11, T14, T15, T16, T13, มีค่า 25.32, 25.27, 25.25, 25.17, 25, 24.83, และ 24.75 กรัม ตามลำดับ ส่วนตำรับที่มีค่าต่ำสุดคือตำรับที่ T18 (control) มีค่าเท่ากับ 19.97 กรัม จากข้อมูลข้างต้นพบว่าจุลินทรีย์ในกลุ่มของแบคทีเรียนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าในกลุ่มของรา และ แอคติโนมัยซิตเมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักสดที่ได้จากตำรับที่ T10 ถึง T18 จุลินทรีย์ในกลุ่มของแบคทีเรียที่มีผลต่อน้ำหนักสดของคะน้ามากที่สุดคือ *Bacillus subtilis* (J-01) ซึ่งในขณะเดียวกันนั้น *Bacillus subtilis* (J-01) ก็มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืชได้มาก เมื่อเปรียบเทียบกับจุลินทรีย์ในกลุ่มของราและแอคติโนมัยซีส ปุ๋ยโพแทสชีวภาพในตำรับทีมี่ *Bacillus subtilis* (J-01) อยู่ (T17) ยังส่งผลโดยตรงต่อน้ำหนักสดของคะน้าให้มีค่ามากกว่าตำรับควบคุมและตำรับที่มีเชื้อตัวอื่นๆ โดย น้ำหนักสดเฉลี่ยของคะน้ามีค่ามากที่สุดในตำรับที่ T17 (*Bacillus subtilis* - J-01) มีค่า 27.65 กรัม รองลงมาคือ ตำรับที่ T10 (*Aspergillus niger - A.VSS 02)*, T12 (*Pennicilium* sp.- PK.02), T11(*Aspergillus niger - PK.01)*, T14 (*Actinomycetes* -T2-10), T15 (*Red-orange bacteria Rhodopseudomonas),* T16 (*Purple bacteria Rhodopseudomonas)* และ T13(*Pennicilium* sp. -PVSS.05) มีค่าน้ำหนักสดเฉลี่ย 25.32, 25.27, 25.17, 25, 24.83 และ 24.75 กรัม ตามลำดับ ส่วนตำรับที่มีค่าต่ำที่สุด คือ ตำรับที่ T18 (Control) มีค่าเท่ากับ 19.97 กรัม และเมื่อเปรียบเทียบกันทางสถิติแล้วพบว่า ในตำรับที่ T10 ถึงT17 นั้นมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งอาจจะเกิดจากค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดของคะน้านั้นมีความใกล้เคียงกัน ไม่ต่างกันมากจึงทำให้ค่าเปรียบเทียบทางสถิติในตำรับที่ T10 ถึง T17 แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเปรียบค่าทางสถิติของตำรับT18 (Control) กับตำรับ T10 ถึง T17 นั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. การเปรียบเทียบความแตกต่างน้ำหนักสดเฉลี่ยของคะน้าหลังการเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง(Treatment)	น้ำหนักสดเฉลี่ย (g)
T10A2B1	25.32 ab
T11 – A2B2	25.25 ab
T12 – A2B3	25.27 ab
T13 – A2B4	24.75 bc
T14 – A2B5	25.17 ab
T15 – A2B6	25.00 ab
T16 – A2B7	24.83 b
T17 – A2B8	27.65 a
T18 – A2(control)	19.97 d
F-test	*
% c.v.	3.05

หมายเหตุ : ns = Non – significant

* = P<0.05

** = P<0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 น้ำหนักแห้งของพืช จากข้อมูลน้ำหนักแห้งเฉลี่ยมีค่ามากที่สุดในตำรับที่ T17 มีค่าเท่ากับ 2.31 กรัม รองลงมาคือตำรับที่ T14, T10, T13, T11, T15, T16 และ T12 มีค่า 2.09, 1.67, 1.64, 1.62, 1.50g, 1.47, และ 1.36 กรัม ตามลำดับ ตำรับที่มีค่าต่ำสุดคือตำรับที่ T18(control) มีค่า 1.34 กรัม จากตารางที่4. พบว่าจุลินทรีย์ในกลุ่มของแบคทีเรียนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าในกลุ่มของราและแอคติโนมัยซิตเมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งที่ได้จากตำรับที่ T10 ถึง T18 จุลินทรีย์ในกลุ่มของแบคทีเรียที่มีผลต่อน้ำหนักแห้งของคะน้ามากที่สุดคือ *Bacillus subtilis* (J-01) ซึ่งในขณะเดียวกันนั้น *Bacillus subtilis* (J-01) ก็มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืชได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับจุลินทรีย์ในกลุ่มของราและแอคติโนมัยซีส ปุ๋ยโพแทสชีวภาพในตำรับที่มี *Bacillus subtilis* (J-01) อยู่ (T17) ยังส่งผลโดยตรงต่อน้ำหนักแห้งของคะน้าให้มีค่ามากกว่าตำรับควบคุมและตำรับที่มีเชื้อตัวอื่นๆ ทั้งนี้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของคะน้ามีค่ามากที่สุดในตำรับที่ T17 (*Bacillus subtilis* - J-01) มีค่า 2.31 กรัม รองลงมาคือ ตำรับที่ T14 *(Actinomycetes* -T2-10) , T10 (*Aspergillus niger -A.VSS 02)* , T13 (*Penmicilium* sp.-PVSS.05), T11(*Aspergillus niger -PK.01)*, T15*(Red-orange bacteria Rhodopseudomonas),* T16(*Purple bacteria Rhodopseudomonas)* และ T12*(Pennicilium* sp. - PK.02) มีค่า 2.09, 1.67, 1.64, 1.62, 1.50 และ 1.47 กรัม ตามลำดับ ส่วนตำรับที่มีค่าต่ำที่สุด คือ ตำรับที่ 18 (Control) มีค่าเท่ากับ 1.34 กรัม และเมื่อเปรียบเทียบกันทางสถิติแล้วพบว่า ในตำรับที่ T10 ถึง T17 นั้นมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งอาจจะเกิดจากค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของคะน้านั้นมีความใกล้เคียงกัน ไม่ต่างกันมากจึงทำให้ค่าเปรียบเทียบทางสถิติในตำรับที่ T10 ถึง T17 แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และเมื่อเปรียบค่าทางสถิติของตำรับT18 (Control) กับตำรับ T10 ถึง T17 นั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4. การเปรียบเทียบความแตกต่างน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของคะน้าหลังการเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง(Treatment)	น้ำหนักแห้งเฉลี่ย (g)
T10 – A2B1	1.67 abc
T11 – A2B2	1.62 abc
T12 – A2B3	1.36 bcdef
T13 – A2B4	1.64 abc
T14 – A2B5	2.09 ab
T15 – A2B6	1.50 abcd
T16 – A2B7	1.47 bcde
T17 – A2B8	2.31 a
18 – A2(control)	1.34 bcdef
F-test	*
% C.V.	0.25

หมายเหตุ : ns = Non – significant

* = P<0.05

** = P<0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K) ในใบคะน้า จากการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในใบคะน้า พบว่า มีค่ามากที่สุดในตำรับที่ T17 คือ 25.27 ppm-K รองลงมาคือตำรับที่ T11, T14, T13, T15, T12, T16 และ T10 มีค่า 24.33, 23.93, 23.30, 22.80, 19.31, 18.50 และ 18.87 ppm-K ตามลำดับ ตำรับที่มีค่าต่ำสุดคือตำรับที่ T18 (control) มีค่าเฉลี่ย 17.25 ppm-K จากข้อมูลในตารางที่5. พบว่าจุลินทรีย์ในกลุ่มของแบคทีเรียนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าในกลุ่มของรา และ แอคติโนมัยซิตเมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในใบคะน้าที่ได้จากตำรับที่ T10 ถึง T18 จุลินทรีย์ในกลุ่มของแบคทีเรียที่มีผลต่อน้ำหนักสดของคะน้ามากที่สุดคือ *Bacillus subtilis* (J-01) ซึ่งในขณะเดียวกันนั้น *Bacillus subtilis* (J-01) ก็มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืชได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับจุลินทรีย์ในกลุ่มของราและแอคติโนมัยซีส ปุ๋ยโพแทสชีวภาพในตำรับทีมี่ *Bacillus subtilis* (J-01) อยู่ (T17) ยังส่งผลโดยตรงต่อค่าความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในใบคะน้า ให้มีค่ามากกว่าตำรับควบคุมและตำรับที่มีเชื้อจุลินทรีย์ตัวอื่นๆอยู่ ดังแสดงในตารางที่5. ซึ่งค่าความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในใบคะน้ามีค่ามากที่สุดในตำรับที่ T17 (*Bacillus subtilis* -J-01) มีค่า 25.27 ppm-K รองลงมาคือ ตำรับที่ T11(*Aspergillus niger -PK.01)* , T14(*Actinomycetes* -T2-10), T13(*Pennicilium* sp.- PVSS.05), T15(*Red-orange bacteria Rhodopseudomonas)*, T12(*Pennicilium* sp. -PK.02), T16 *(Purple bacteria Rhodopseudomonas)* และ T10(*Aspergillus niger -A.VSS 02)* มีค่า 24.33 , 23.93, 23.30, 22.80, 19.31, 18.50 และ 18.87 ppm-K ตามลำดับ ส่วนตำรับที่มีค่าต่ำที่สุด คือ ตำรับที่ T18 (Control) มีค่าเท่ากับ 17.25 ppm-K และเมื่อเปรียบเทียบกันทางสถิติแล้วพบว่า ในตำรับที่ T10 ถึง T17 นั้นมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก ซึ่งอาจจะเกิดจากค่าความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในใบคะน้าที่วัดได้นั้น มีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก จึงทำให้ค่าเปรียบเทียบทางสถิติในตำรับที่ T10 ถึง T17 แตกต่างกันค่อนข้างมาก และเมื่อเปรียบค่าทางสถิติของตำรับT18 (Control) กับตำรับ T10 ถึง T17 นั้นก็มีความแตกต่างกันมาก สรุปคือในตำรับที่ T10ถึง T18 นั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) (ตารางที่ 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5. เปรียบเทียบค่าความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในใบคะน้าหลังเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง(Treatment)	Available K (ppm)
T10 – A2B1	18.87 bcde
T11 – A2B2	24.33 ab
T12 – A2B3	19.31 bcde
T13 – A2B4	23.30 abc
T14 – A2B5	23.93 abc
T15 – A2B6	22.80 abcd
T16 – A2B7	18.50 bcde
T17 – A2B8	25.27 a
T18 – A2(control)	17.25 bcdef
F-test	*
% C.V.	3.25

หมายเหตุ : ns = Non – significant

* = P<0.05

** = P<0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความยาวราก จากการวัดความยาวรากของคะน้าหลังการเก็บเกี่ยวพบว่า ตำรับที่มีความยาวของรากมากที่สุดคือตำรับที่ T17 มีค่าเท่ากับ 16.7 เซนติเมตร รองลงมาคือตำรับที่ T11, T15, T16, T12,T14, T13, T10 และ T18 มีค่า 14.5, 13.8, 12.9, 12.7, 12.5, 12 และ 11.7 เซนติเมตร ตามลำดับ ตำรับที่มีค่าต่ำสุดคือตำรับที่ T18(control) มีค่า 11.7 เซนติเมตร จากตารางที่ 6. พบว่าจุลินทรีย์ในกลุ่มของแบคทีเรียที่มีผลต่อความยาวของรากคะน้ามากที่สุดคือ *Bacillus subtilis* (J-01) ซึ่งในขณะเดียวกันนั้น *Bacillus subtilis* (J-01) ก็มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืชได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับจุลินทรีย์ในกลุ่มของราและแอคติโนมัยซีส ปุ๋ยโพแทสชีวภาพในตำรับทีมี่ *Bacillus subtilis* (J-01) อยู่ (T17) ยังส่งผลโดยตรงต่อความยาวของรากคะน้าให้มีค่ามากกว่าตำรับควบคุม และตำรับที่มีเชื้อตัวอื่นๆ แต่อาจเกิดจากปัจจัยด้านอื่นๆขึ้นได้ เช่น ดินที่ใช้ปลูก ปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็น ความเป็นกรด-ด่างของดิน จากข้อมูลในตารางที่ 6. พบว่าความยาวของรากคะน้ามีค่ามากที่สุดในตำรับที่ T17(*Bacillus subtilis* - J-01) มีค่าเท่ากับ 16.7 เซนติเมตร รองลงมาคือ ตำรับที่ T11(*Aspergillus niger -PK.01)* , T15(*Red-orange bacteria Rhodopseudomonas*), T16*(Purple bacteria Rhodopseudomonas)*, T12(*Pennicilium* sp. - PK.02), T14(*Actinomycetes* - T2-10) และ T13(*Pennicilium* sp. - PVSS.05) มีค่า 14.5, 13.8, 12.9, 12.7, 12.5, 12 และ 11.7 เซนติเมตร ตามลำดับ ตำรับที่มีค่าต่ำสุดคือตำรับที่ T18(control) มีค่า 11.7 เซนติเมตร และเมื่อเปรียบเทียบกันทางสถิติแล้วพบว่า ในตำรับที่ T10 ถึง T18 นั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6. เปรียบเทียบความแตกต่างความยาวของรากคะน้าหลังเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง(Treatment)	ความยาวราก (cm.)
T10 – A2B1	12 a
T11 – A2B2	14.5 a
T12 – A2B3	12.7 a
T13 – A2B4	12.5 a
T14 – A2B5	12.7 a
T15 – A2B6	13.8 a
T16 – A2B7	12.9 a
T17 – A2B8	16.7 a
T18 – A2(control)	11.7 a
F-test	ns
% C.V.	1.25

หมายเหตุ : ns = Non – significant

* = P<0.05

** = P<0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ทั้ง 8 สายพันธุ์ที่นำมาหมักร่วมกับแร่โพแทสเฟลด์สปาร์บดที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อและไม่ผ่านการอบฆ่าเชื้อ เป็นเวลา 30 วัน แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

กรณีแร่โพแทสเฟลด์สปาร์ที่อบฆ่าเชื้อก่อนหมักร่วมกับจุลินทรีย์พบว่า *Bacillus subtilis* และ *Pennicilium* (PVSS.05) จะให้ค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ที่วิเคราะห์ได้ สูงสุดคือ 6.73 และ 6.65 ppm-K ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองอื่นๆ ที่ใช้จุลินทรีย์ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับควบคุมที่ไม่ได้หมักด้วยจุลินทรีย์ ซึ่งมีค่าวิเคราะห์เพียง 5.86 ppm-K

ส่วนกรณีแร่โพแทสเฟลด์สปาร์ที่ไม่ผ่านการอบฆ่าเชื้อก่อนหมักผลการทดลองคล้ายคลึงกัน เพียงแต่จุลินทรีย์ที่มีศักยภาพสูงเปลี่ยนเป็น *Aspergillu sniger (PK.01)*, *Red-orange bacteria* และ *Purple bacteria* ซึ่งให้ค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ที่วิเคราะห์ได้เท่ากับ 6.83, 6.82 และ 6.67 ppm-K ตามลำดับ

สำหรับการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความยาวราก และการสะสมโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในใบคะน้าที่ใช้เป็นพืชทดสอบ พบว่า ปุ๋ยชีวภาพโพแทสเซียมที่หมักด้วย *Bacillus subtilis* จะมีผลให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความยาวราก และปริมาณโพแทสเซียมที่สะสมในใบพืชมีค่าสูงสุดหรือมากสุดเมื่อเทียบกับตำรับการทดลองอื่นๆ

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า จุลินทรีย์ที่มีศักยภาพในการนำมาหมักร่วมกับแร่โพแทสเฟลด์สปาร์ เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพโพแทสเซียมนั้นได้แก่ *Bacillus subtilis(J-01)* รวมทั้ง *Red-orange bacteria* และ *Purple bacteria* ก็สามารถพัฒนานำมาใช้ได้ดี ส่วนเชื้อราที่มีศักยภาพคือ *Aspergillus niger (PK.01)* อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพื่อทดสอบกับพืชชนิดอื่นต่อไป เพื่อให้ใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 8. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์. 2551. ทางออกวิกฤติปุ๋ยเคมี. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ. 23(2):14-18

ชัยณรงค์ เหลืองกังวานกิจ. 2533. การศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อราดินในการเพิ่มการละลายของแร่เฟลด์สปาร์. ปัญหาพิเศษปริญาตรี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธงชัย มาลา. 2546. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และ ปรีชา สุวรรณพินิจ. 2550. จุลชีววิทยาทั่วไป สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ปฐพีชล วายุอัคคี. 2550. ดินและปุ๋ย. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, กรุงเทพฯ.

พงศ์เทพ อันตะริกานนท์, ประเสริฐ อะมริต และนวรัตน์ เหล่าชวลิตกุล. 2531. การละลายของแร่เฟลด์สปาร์โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 26 ระหว่างวันที่ 3-5 กุมภาพันธ์ 2531

สุกัญญา แย้มประชา. 2554. เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาเคมีของดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

สุมิตรา ภู่วโรดม. 2554. เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

สุธรรม แย้มนิยม. 2521. เฟลด์สปาร์. รายงานการสัมมนาทางวิชาการเรื่องอุตสาหกรรมปุ๋ยการเกษตร, หน้า 13-21. ใน รายงานการสัมมนาทางวิชาการเรื่องปุ๋ยของประเทศไทย โดยสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย กระทรวงเกษตรและสหกรณ์และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooke, G.W. 1980. Fertilizing for Maximum Yield. Gramada Publishing Ltd., London.

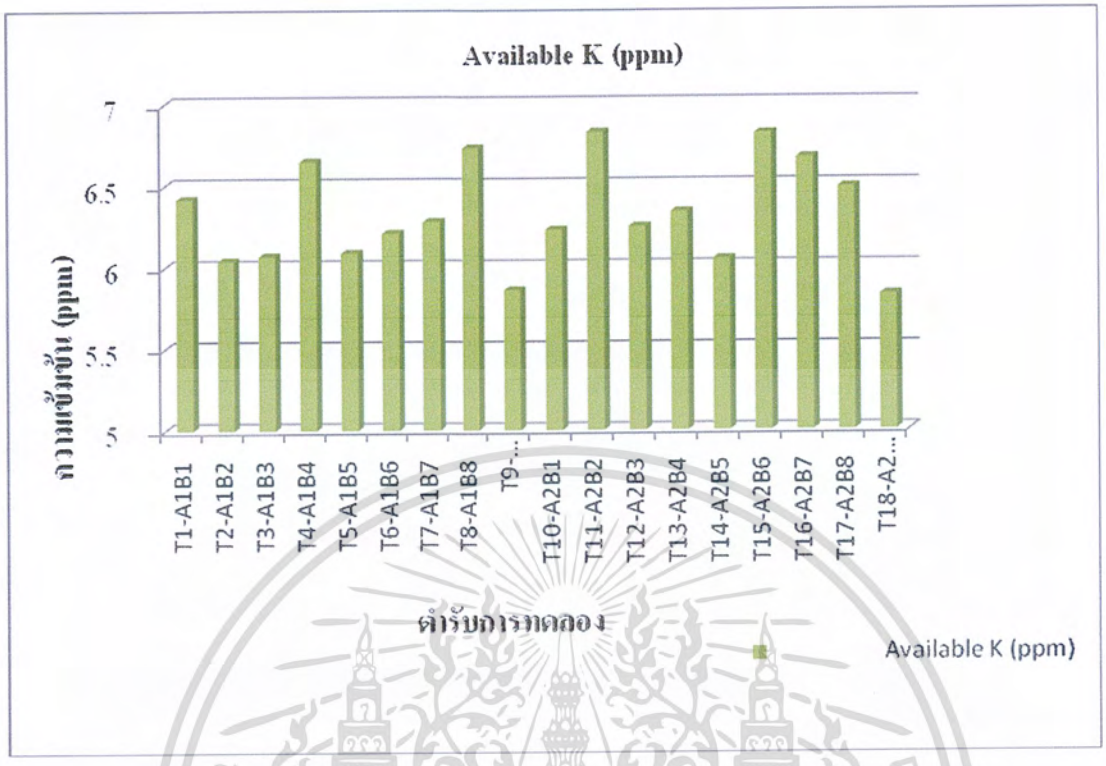
Gomez, A.J. H., L.J. Cajustle and R. Nunez Escobar.1980. Chemcal and mineralogical New York, USA.

Lindsay, W.L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley & Sons, New York, USA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

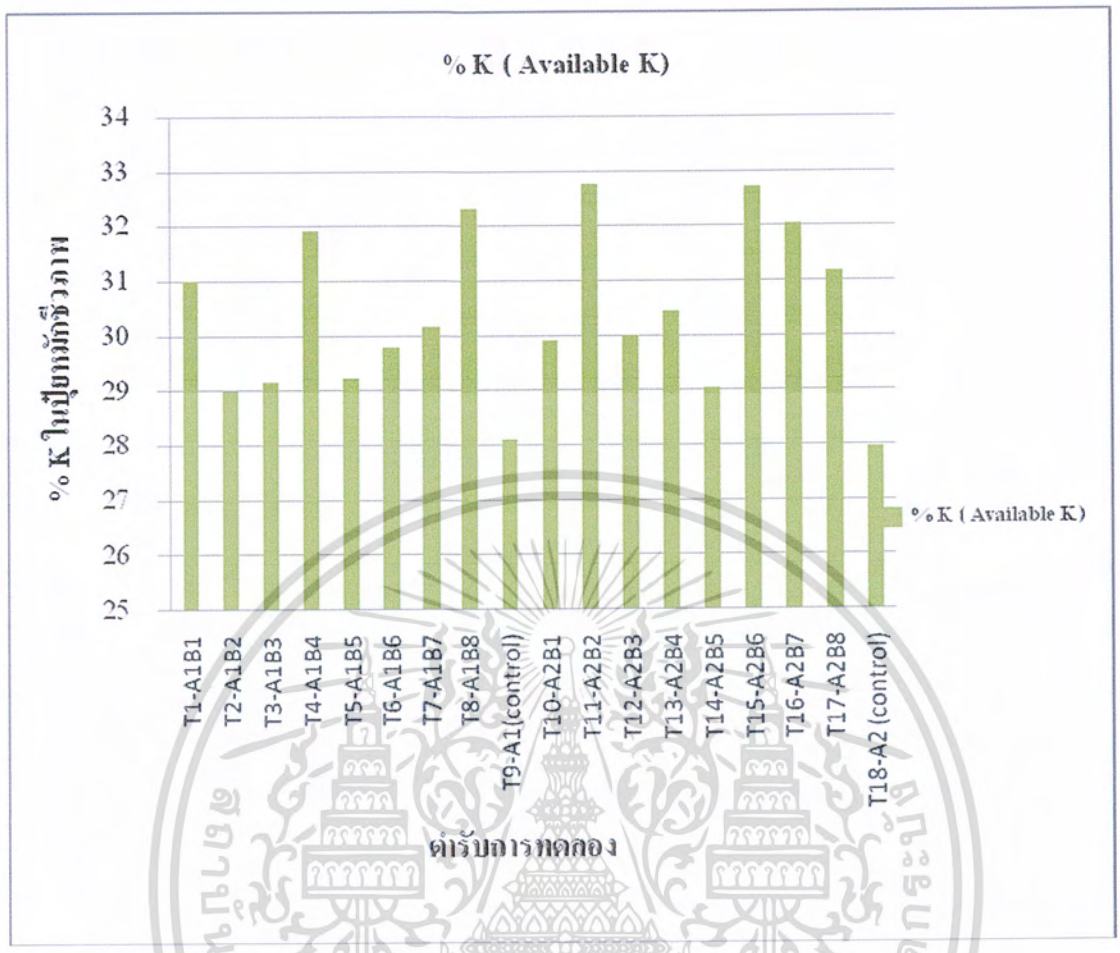
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



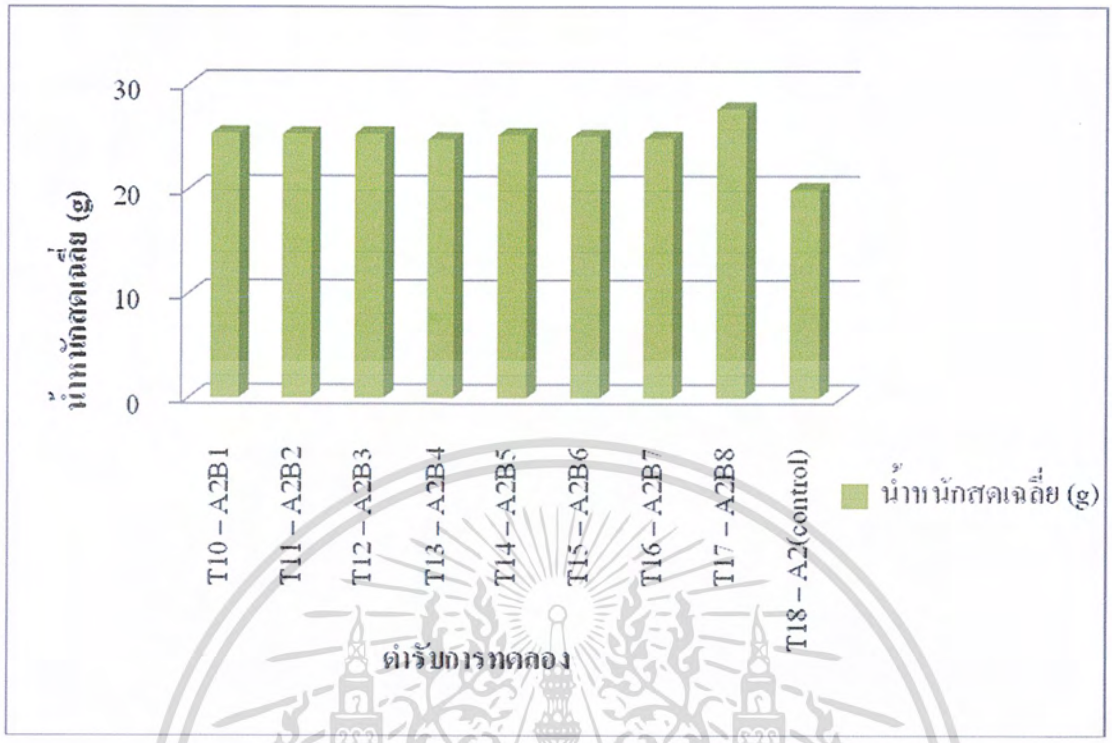
ภาพที่ 1. ค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของแร่โพแทชเฟลด์สปาร์กับจุลินทรีย์ที่หมักร่วมกันเป็นเวลา 30 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



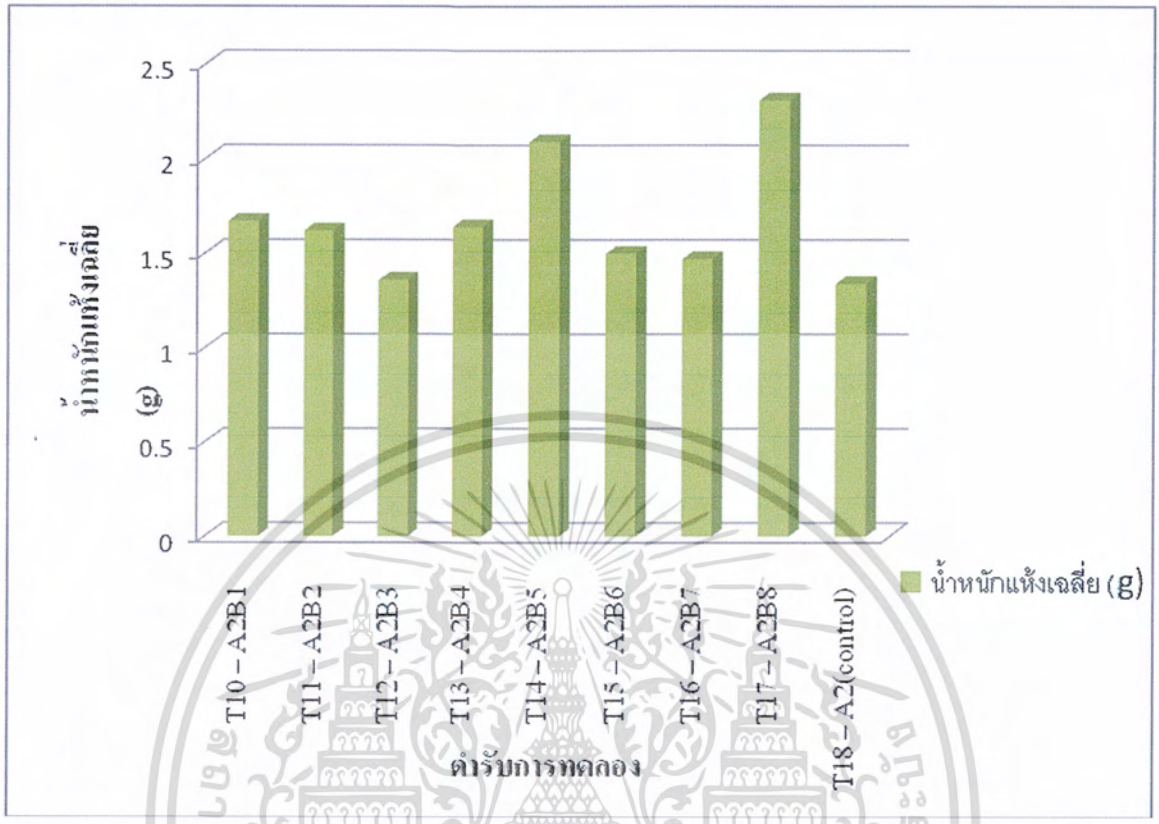
ภาพที่ 2. เปอร์เซ็นต์ของโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์จากปุ๋ยโพแทสชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



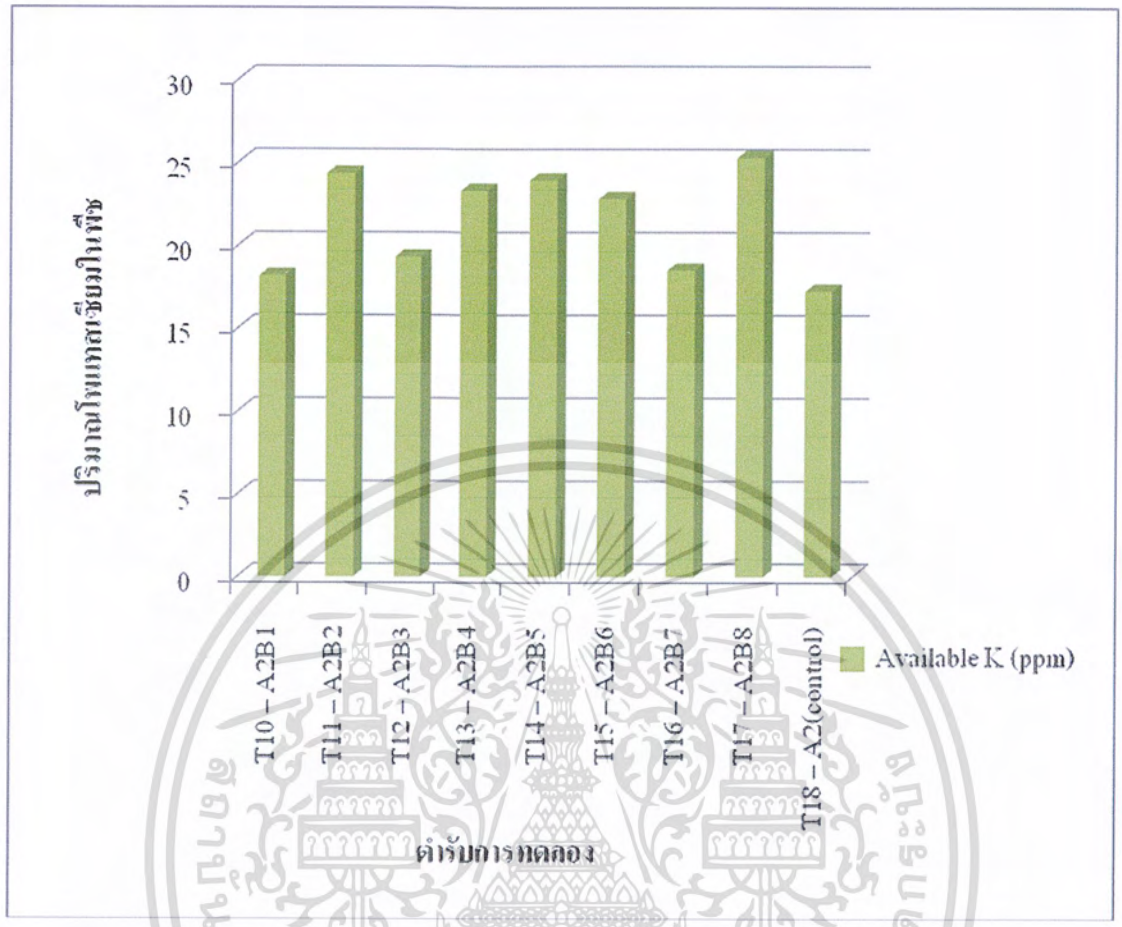
ภาพที่ 3. น้ำหนักสดเฉลี่ยของคะน้าหลังการเก็บเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



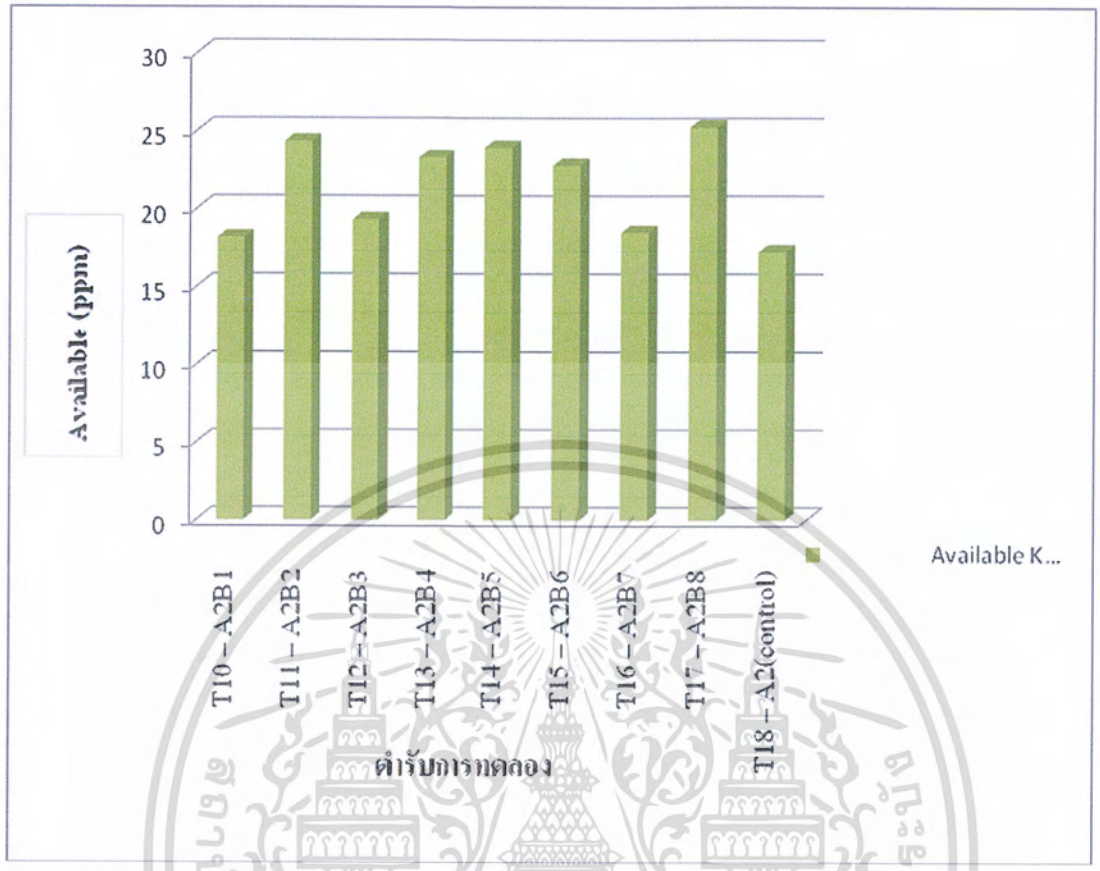
ภาพที่ 4. น้ำหนักแห้งของคะน้าหลังการเก็บเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



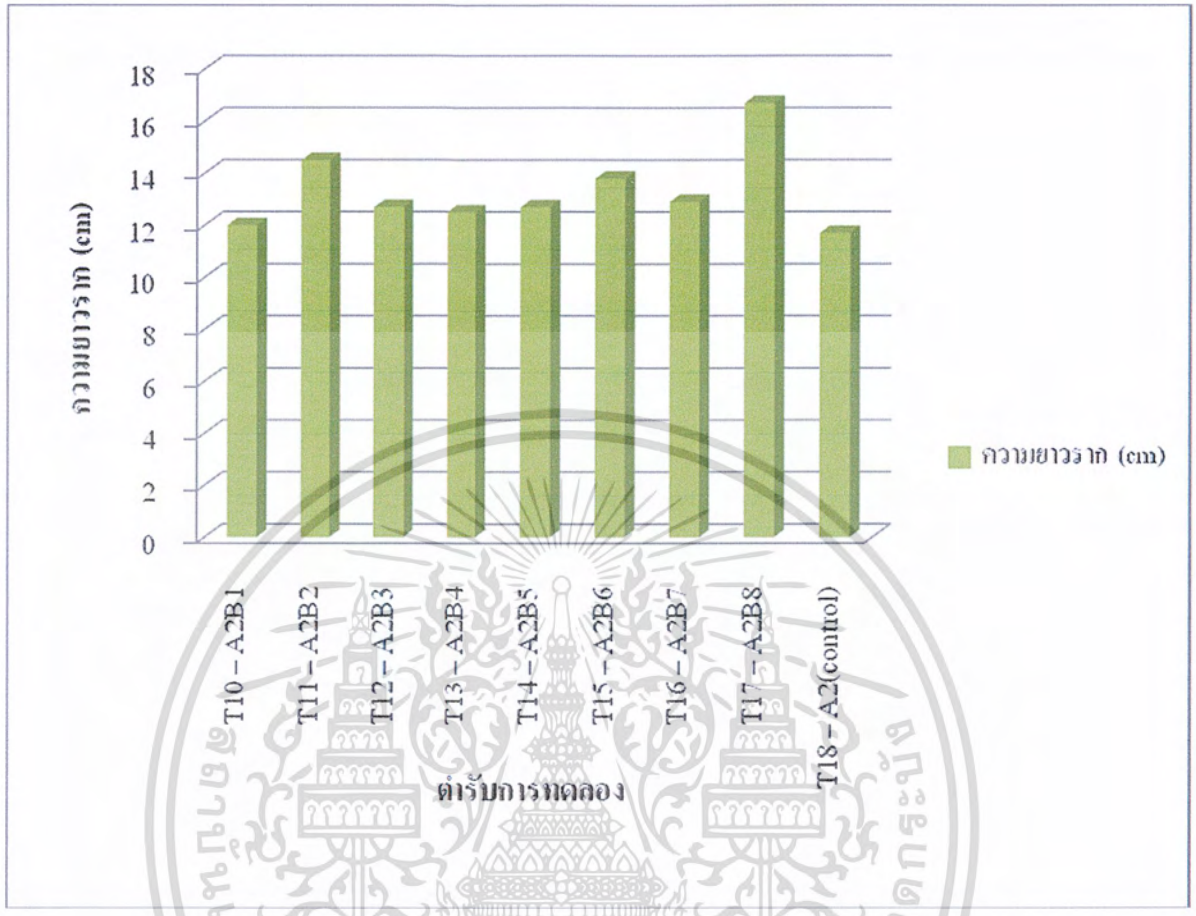
ภาพที่ 5. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ จากการวิเคราะห์ใบคะน้า หลังเก็บเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6. เปอร์เซ็นต์ของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในใบคะน้า หลังการเก็บเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7. ความยาวของรากคะน้าหลังการเก็บเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้