รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การศึกษาคุณภาพดินในแปลงข้าวเกษตรอินทรีย์และเกษตรแบบเดิม เพื่อการปรับปรุงคุณภาพการผลิตข้าวอินทรีย์

Study of organic and conventional rice soil quality for improvement of organic rice production

โดย

สมคิด ดีจริง และ วรางคณา สงวนพงษ์

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2556

รหัสโครงการวิจัย มจ. 1-56-067

รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การศึกษาคุณภาพดินในแปลงข้าวเกษตรอินทรีย์และเกษตรแบบเดิม
เพื่อการปรับปรุงคุณภาพการผลิตข้าวอินทรีย์

Study of organic and conventional rice soil quality
for improvement of organic rice production

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2556
จำนวน 120,000 บาท

หัวหน้าโครงการ นางสาวสมคิด ดีจริง

ผู้ร่วมโครงการ นางวรางคณา สงวนพงษ์

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

26/12/2557

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยโครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาคุณภาพดินในแปลงข้าวเกษตรอินทรีย์และเกษตรแบบเดิมเพื่อการปรับปรุงคุณภาพการผลิตข้าวอินทรีย์ ขอขอบคุณ ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2556 และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ รวมทั้งหน่วยปฏิบัติการจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยจนเสร็จสิ้นสมบูรณ์ และขอขอบคุณ นางสาว สุดารัตน์ ราชอ่องและนางสาว วรัญญา เกษทองมา ที่มีส่วนช่วยทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

ธันวาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	42
ผลการวิจัย	47
วิจารณ์ผลการวิจัย	60
สรุปผลการวิจัย	73
เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก	79

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	การกระจายตัวของจุลินทรีย์ในดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ	11
ตารางที่ 2	ตัวอย่างจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางด้านการเกษตร	19
ตารางที่ 3	ระดับความรุนแรงของความเป็นกรด-ด่างของดิน	32
ตารางที่ 4	ระดับอินทรียวัตถุ (organic matter)	35
ตารางที่ 5	ระดับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน	39
ตารางที่ 6	ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและการอุ้มน้ำของดินที่สภาวะต่าง ๆ	41
ตารางที่ 7	ค่าการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ	41
ตารางที่ 8	จำนวนไอโซเลทของแบคทีเรียทั้งหมดที่แยกได้ และผลการย้อมสีแบบแกรมและรูปร่างของเซลล์แบคทีเรีย	53

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	การเก็บตัวอย่างดินตามตำแหน่งต่าง ๆ ในแปลงนาข้าว	44
ภาพที่ 2	จำนวนจุลินทรีย์ที่แยกได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด ของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์	49
ภาพที่ 3	จำนวนไอโซเลทของจุลินทรีย์ที่แยกได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด ของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลา 1-2 ปี	50
ภาพที่ 4	จำนวนไอโซเลทของจุลินทรีย์ที่แยกได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด ของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลา 5-6 ปี	51
ภาพที่ 5	จำนวนไอโซเลทของจุลินทรีย์ที่แยกได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด ของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลามากกว่า 10 ปี	52
ภาพที่ 6	ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมี และเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่าง ๆ	54
ภาพที่ 7	ปริมาณอินทรียวัตถุของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมี และเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่าง ๆ	55
ภาพที่ 8	ปริมาณฟอสฟอรัสของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมี และเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่าง ๆ	56
ภาพที่ 9	ปริมาณโพแทสเซียมของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมี และเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่าง ๆ	57
ภาพที่ 10	ค่าความหนาแน่นของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมี และเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่าง ๆ	58
ภาพที่ 11	ปริมาณน้ำในภาคสนามของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมี และเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลาทำการเกษตรต่าง ๆ	58
ภาพที่ 12	ค่าการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำของดินจากแปลงนาข้าว เกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่าง ๆ	59

การศึกษาคุณภาพดินในแปลงข้าวเกษตรอินทรีย์และเกษตรแบบเดิม เพื่อการปรับปรุงคุณภาพการผลิตข้าวอินทรีย์

Study of organic and conventional rice soil quality for improvement of organic rice production

สมคิด ดีจริง[1] และ วรางคณา สงวนพงษ์

Somkid Deejing[1] and Varangkana Sanguanpong[2]

[1]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

[2]กลุ่มวิเคราะห์ดิน สำนักพัฒนาที่ดินเขต 6 กรมพัฒนาที่ดิน จ. เชียงใหม่ 50180

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาคุณสมบัติทางจุลชีววิทยา ทางเคมี และทางกายภาพ ของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมี ที่ทำการเกษตรมาระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และมากกว่า 10 ปี โดยเพาะเลี้ยงเชื้อลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดต่าง ๆ ได้แก่ Plate count agar (PCA), Czapek 's medium, Internation streptomyces project 2 (ISP2), Carboxymethylcellulose agar (CMC), Nitrogen free medium (NFM), Pikovskaya 's medium และ Aleksandrov medium พบว่า มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เจริญบนอาหาร PCA จำนวน ระหว่าง 10^5-10^6 CFU/g ส่วนบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดอื่น ๆ พบจำนวนจุลินทรีย์อยู่ระหว่าง 10^2 -10^5 CFU/g เมื่อศึกษาจำนวนไอโซเลทของจุลินทรีย์ที่มีลักษณะโคโลนีแตกต่างกันบนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด พบว่า เป็น แบคทีเรีย แอคติโนมัยซีส และเชื้อรา และดินตัวอย่างพบแบคทีเรียเป็นส่วนใหญ่ เมื่อนำแบคทีเรียมาศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้นโดยการย้อมสีแบบแกรม พบว่า มีทั้งแบคทีเรียแกรมบวกรูปร่างท่อนและรูปร่างกลม แกรมลบรูปร่างท่อนและรูปร่างกลม เมื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดิน พบว่า ดินตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 4.6-5.3 และมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ระหว่าง 0.98-2.12 เปอร์เซ็นต์ พบปริมาณฟอสฟอรัส อยู่ระหว่าง 3.0-10.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ระหว่าง 10.0-53.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ ได้ศึกษาคุณสมบัติทางภาพของดิน พบว่า ดินตัวอย่างมีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.92-1.52 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีปริมาณน้ำในภาคสนามอยู่ระหว่าง 20.93-40.83 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีค่าการนำน้ำของดินอยู่ระหว่าง 0.19-45.57 เซนติเมตรต่อชั่วโมง

คำสำคัญ: เกษตรอินทรีย์ เกษตรแบบเดิม การแยกเชื้อ คุณสมบัติเคมีของดิน คุณสมบัติกายภาพของดิน

Abstract

In this study, microbiological characterization, chemical and physical properties of organic and conventional rice soil cultivated during during 1-2 years, 5-6 years and more than 10 years were studied. The microbiological properties of soil was studied by pour plate technique on Plate count agar (PCA), Czapek 's medium, Internation streptomycetes project 2 (ISP2), Carboxymethylcellulose agar (CMC), Nitrogen free medium (NFM), Pikovskaya 's medium and Aleksandrov medium. The number of microorganisms from soil sample on PCA were found between 10^5-10^6 CFU/g, but on other culture medium were found between 10^2-10^5 CFU/g. The various kind of microorganisms in soil sample were found bacteria, actinomyces and fungi and most of them were bacteria. All of bacteria were selected for preliminary study characteristics. It was found that Gram positive rods and cocci and Gram negative rods and cocci. Chemical and physical properties of soil sample were also examined. It was found that all of soil sample showed pH between 4.6-5.3. The organic matter content of soil found between 0.98-2.12 %. Phosphorus and potassium content of sample soil were between 3.0-10.0 and 10.0-53.0 mg/ml, respectively. The physical properties of organic and conventional rice soil was also determined. The results showed that bulk density, field water content and saturated hydraulic conductivity were 0.92-1.52 g/cm^3, 20.93-40.83 % and 0.19-45.57 cm/hr, respectively.

Key words: organic agricultural, conventional agricultural, isolation, chemical properties, physical properties

คำนำ

การปรับปรุงดินเป็นหัวใจหลักของระบบเกษตรกรรมยั่งยืน ถ้าดินมีความสมบูรณ์ ผลผลิตที่ได้ก็จะดี มีคุณภาพสูง ต้นทุนการผลิตต่ำ และช่วยให้งานในไร่นาเบาลง หลายคนเข้าใจผิดว่าการทำเกษตรยั่งยืน โดยเฉพาะในรูปแบบเกษตรอินทรีย์หมายถึงการไม่ใช้สารเคมีเท่านั้น แต่ที่จริงแล้วหากดินไม่สมบูรณ์ก็ไม่มีทางจะประสบผลสำเร็จ แต่ในขณะเดียวกันเกษตรอินทรีย์พยายามประยุกต์กลไกและวัฏจักรธรรมชาติในการเพิ่มผลผลิต และพัฒนาความต้านทานต่อโรคของพืช เพื่ออนุรักษ์และฟื้นฟูระบบนิเวศการเกษตรในไร่นา ข้าวอินทรีย์ เป็นข้าวที่ได้จากการผลิตแบบเกษตรอินทรีย์ (organic farming หรือ organic agriculture) ซึ่งหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีสังเคราะห์ เช่น ปุ๋ยเคมี สารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช และสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น เคยมีรายงานการสำรวจ พบว่า ประเทศไทยมีการใช้และนำเข้าสารเคมีทางการเกษตรมากเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก เกษตรกรต้องซื้อปัจจัยการผลิต ที่เป็นสารเคมีสังเคราะห์เพื่อใช้ในการเพาะปลูก ซึ่งเป็นต้นทุนการผลิตทางตรงที่เกษตรกรต้องแบกรับ ส่งผลให้ต้องมีการลงทุนต่อไร่สูง ผลเสียของการใช้สารเคมีในการทำการเกษตรแบบเดิม หรือเกษตรทั่วไป นอกจากจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นแล้ว ยังก่อให้เกิดปัญหาทางการเกษตรมากมาย ได้แก่ ความอุดมสมบูรณ์ของดินถูกทำลายต่อเนื่อง ส่งผลทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดิน คุณภาพดินเสื่อมโทรม เกิดปัญหาโรคและแมลงระบาด ทำให้เพิ่มความยุ่งยากในการป้องกันและกำจัด แหล่งน้ำถูกปนเปื้อนด้วยสารเคมี เกิดความไม่สมดุลของระบบนิเวศ และสภาพแวดล้อมถูกทำลายเสียหาย ส่งผลให้ต้นข้าวอ่อนแอและผลผลิตตกต่ำ ทำให้เกษตรกรยิ่งต้องพึ่งสารเคมีและเครื่องจักรมากกว่าเดิม เกิดภาวะภาระหนี้สินจากต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้น และยังพบสารเคมีปนเปื้อนในผลผลิตเกินปริมาณเกณฑ์ที่กำหนด ทำให้เกิดการสะสมสารพิษที่เป็นอันตรายด้านสุขภาพตามมาจากการใช้สารเคมีในการเพาะปลูกทั้งต่อเกษตกรต้นทางและผู้บริโภคปลายทาง มีรายงานของกลุ่มภารกิจด้านข้อมูลข่าวสารและสารสนเทศสุขภาพสำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ประเทศไทย พบว่า สาเหตุการเสียชีวิตของคนไทยด้วยโรคต่าง ๆ ต่อประชากร 100,000 คน พ.ศ. 2549- 2553 5 อันดับแรกคือ มะเร็งและเนื้องอก อุบัติเหตุ ความดันเลือดสูงและโรคหลอดเลือดในสมอง โรคหัวใจ จึงเป็นเรื่องที่ทุกคนควรตระหนัก เพราะสาเหตุสำคัญของมะเร็ง ส่วนใหญ่มาจากอาหารการกิน สภาวะแวดล้อม ปัจจุบันปัญหามลภาวะที่เป็นพิษ ทั้งในอากาศ อาหาร และที่ร่างกายเราสร้างขึ้นมาเองจากความเครียด และอื่น ๆ เป็นเรื่องที่หลีกเลี่ยงได้ยาก เราจึงควรปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตให้เหมาะสม การรับประทานอาหารที่เป็นประโยชน์ หลีกเลี่ยงปัจจัยเสี่ยงต่าง ๆ เท่าที่จะกระทำได้ เพื่อให้มีสุขภาพที่ดี ซึ่งการไม่ใช้

สารเคมีกลับทำให้ดินดีขึ้น ต้นทุนยังคงต่ำอยู่ ผลผลิตที่ได้จะเพิ่มทวี ในทางกลับกันถ้าใช้สารเคมียิ่งนานวันยิ่งทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ ต้นทุนก็เพิ่มขึ้นแต่ผลผลิตกลับลดลง

มลทิวา (2552) รายงานเกี่ยวกับทัศนคติของผู้บริโภคในอำเภอเมืองเชียงใหม่ที่มีต่อข้าวอินทรีย์ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความรู้และเข้าใจเกี่ยวกับข้าวอินทรีย์ มีความรู้สึกโดยรวมเห็นด้วยและชอบในคุณสมบัติต่าง ๆ ของข้าวอินทรีย์ และมีแนวโน้มที่จะซื้อข้าวอินทรีย์ในอนาคต ด้วยเหตุผลหลักคือเพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพร่างกายของผู้บริโภคเอง และทั้งนี้ผู้บริโภคก็พร้อมที่จะแนะนำการบริโภคข้าวอินทรีย์ให้คนอื่นต่อไปอีกด้วย ซึ่งงานวิจัยนี้ สนใจศึกษาคุณสมบัติทางจุลชีววิทยา ทางเคมี และทางกายภาพของดิน จากแปลงนาข้าวเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมี ซึ่งช่วยให้ทราบถึงคุณภาพของดิน และจากงานวิจัยนี้อาจเป็นแนวทางในการปรับปรุงบำรุงดินให้มีประสิทธิภาพในผลิตข้าวอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงต่อไปในอนาคต เพื่อให้สามารถแข่งขันกับนานาประเทศได้

MAEJO UNIVERSITY

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรอินทรีย์และเกษตรแบบเดิม ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่าง ๆ
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรอินทรีย์และเกษตรแบบเดิม ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่าง ๆ
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติกายภาพของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรอินทรีย์และเกษตรแบบเดิม ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบคุณภาพทางจุลชีววิทยา ทางเคมี และทางกายภาพ ของดินจากแปลงข้าวเกษตรอินทรีย์และเกษตรแบบเดิม ที่ทำการเกษตรที่ระยะเวลาต่าง ๆ
2. นำจุลินทรีย์ที่แยกได้ไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินในแปลงนาข้าวเกษตรอินทรีย์
3. การผลิตข้าวอินทรีย์ทำให้ได้ข้าวอินทรีย์ที่มีความปลอดภัยต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค ซึ่งส่งผลทำให้ผู้ผลิตและผู้บริโภคมีสุขภาพดีจากการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มาจากเกษตรอินทรีย์
4. เกษตรอินทรีย์ช่วยลดปัญหาสุขภาพที่เกิดจากการใช้สารเคมีสังเคราะห์ต่าง ๆ
5. เกษตรอินทรีย์ช่วยลดการพึ่งพาสารเคมีจากต่างประเทศ และลดการสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศ และยังช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ด้วย
6. เกษตรอินทรีย์ช่วยฟื้นฟูสภาพแวดล้อมและคืนสมดุลให้แก่ธรรมชาติ
7. เกษตรอินทรีย์ช่วยลดการปนเปื้อนของสารเคมีและการตกค้างของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมจึงช่วยส่งเสริมให้มีสิ่งแวดล้อมให้ดียิ่งขึ้นและยังช่วยลดภาวะโลกร้อนอีกด้วย
8. ผลิตนักศึกษาหลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ
9. การตีพิมพ์บทความในวารสารในประเทศ และวารสารนานาชาติ

MAEJO UNIVERSITY

การตรวจเอกสาร

ส่วนประกอบของดิน (ภาติยะ, 2543)

ดินสามารถแบ่งส่วนประกอบออกตามความสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชได้เป็น 5 ส่วน คือ

- อนินทรีย์วัตถุ (mineral matter) เป็นส่วนที่เกิดจากแร่ธาตุและหินต่าง ๆ ที่สลายตัวทางเคมี ทางฟิสิกส์ และทางชีวภาพ

- อินทรีย์วัตถุ (organic matter) ได้แก่ ส่วนที่เน่าเปื่อยผุพัง หรือสลายตัวของพืชและสัตว์ทับถมกัน ซึ่งอินทรียวัตถุที่สลายตัวสมบูรณ์แล้วเรียกว่า ฮิวมัส (humus)

น้ำในดิน (soil water) น้ำในดินได้มาจากฝนหรือน้ำชลประทาน เมื่อดินได้รับน้ำ น้ำจะแทรกซึม ไล่อากาศออกจากช่องระหว่างเม็ดดินและตัวมันเองไปปรากฏอยู่แทนที่

- อากาศในดิน (soil air) ในดินจะมีช่องอากาศบรรจุอากาศในดินเสมอ ซึ่งสัดส่วนจะเป็นปฏิภาคโดยกลับกันกับปริมาณของน้ำ อากาศในดินจะมีก๊าซไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ แต่จะมีก๊าซออกซิเจนที่ต่ำกว่าในบรรยากาศ

- สิ่งมีชีวิตในดิน (living organisms) ได้แก่ จุลินทรีย์ดินพวก เห็ด รา แบคทีเรียและจำพวกสัตว์ที่อาศัยในดิน เช่น แมลงต่าง ๆ ไส้เดือนเป็นต้น

โดยทั่วไปแล้วดินจะมีส่วนประกอบที่เป็นของแข็ง ร้อยละ 50 โดยปริมาตร(อินทรีย์วัตถุประมาณร้อยละ 45 โดยปริมาตร และอนินทรีย์วัตถุร้อยละ 5 โดยปริมาตร) และส่วนประกอบที่เป็นช่องว่างและน้ำร้อยละ 50 โดยปริมาตร (มีอากาศร้อยละ 25 โดยปริมาตรและน้ำร้อยละ 25 โดยปริมาตร)

ลักษณะของดิน ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกนั้น จะต้องประกอบด้วยสมบัติ 3 ประการ คือ

- สมบัติทางเคมี คือ ดินต้องมีความสมดุล ของแร่ธาตุอาหารพืช ซึ่งประกอบด้วย ธาตุอาหารพืชหลักไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ธาตุอาหารรองประกอบด้วย แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน ธาตุอาหารเสริมประกอบด้วย เหล็ก สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดินัม แมงกานีส และคลอรีน และมีปฏิกิริยาของดินที่เป็นกลาง คือ ดินต้องไม่เป็นกรดเป็นด่างหรือมีความเค็มจนเกินไป

- สมบัติทางกายภาพ คือ ดินต้องมีความสมดุลของอากาศและน้ำ กล่าวคือ ดินต้องมีโครงสร้างที่ดี มีการร่วนซุย อากาศถ่ายเทได้ดี มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี เม็ดดินเกาะกัน

อย่างหลวม ๆ เพื่อช่วยให้รากพืชสามารถแผ่ขยายและชอนไชไปหาแร่ธาตุอาหารพืชได้ง่ายในระยะที่กว้างและไกลเป็นดินที่อ่อนนุ่มไม่แข็งกระด้าง

- สมบัติทางชีวภาพ คือ เป็นดินที่มีความสมดุล ของจุลินทรีย์ กล่าวคือ เป็นดินที่มีจุลินทรีย์และสิ่งที่มีชีวิตเล็ก ๆ ในดิน ที่เป็นประโยชน์ในปริมาณมาก ซึ่ง สามารถควบคุมจุลินทรีย์ และสิ่งที่มีชีวิตเล็ก ๆ ในดินที่เป็นโทษแก่พืชได้เป็นอย่างดีและจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน สามารถสร้างกิจกรรมต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดประโยชน์แก่พืชได้ดี เช่น สามารถย่อยแร่ธาตุในดินที่ยังไม่เป็นประโยชน์แก่พืชหรือให้ประโยชน์น้อยให้เป็นประโยชน์แก่พืชและเพิ่มปริมาณที่มากขึ้น ตรึงธาตุอาหารพืชจากอากาศให้เป็นประโยชน์แก่พืชสร้างสารปฏิชีวนะปราบโรคและศัตรูพืชในดินได้ เสริมสร้างพลังให้แก่พืชและทำลายสารพิษ ในดินได้

ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินกับการให้ผลผลิต

ดินที่มีลักษณะเนื้อดินต่างกัน ย่อมมีผลต่อการให้ผลผลิตของพืชที่ปลูกอยู่บนดินนั้นด้วย ซึ่งผลกระทบนี้ จะมีทั้งทางตรงและทางอ้อม ผลทางตรงคือ เมื่อดินมีเนื้อละเอียดมาก ๆ เวลาแห้งจะแข็งแกร่ง ทำให้รากพืชไชชอนได้ยาก ส่วนผลกระทบทางอ้อมก็เนื่องจากเนื้อดินไปมีผลกระทบต่อปัจจัยอย่างอื่นของพืช ทำให้การให้ผลผลิตของพืชน้อยลง เป็นต้น

ดินที่เป็นทรายมาก โดยทั่วไปจะมีการถ่ายเทอากาศดีและดูดซับน้ำได้เร็วมาก แต่ข้อเสียของดินทรายก็คืออุ้มน้ำได้น้อยและดูดซับธาตุอาหารพืชได้น้อย ดังนั้น ดินที่มีเนื้อหยาบจึงจำเป็นต้องให้น้ำและใส่ปุ๋ยบ่อย ๆ จึงจะให้ผลผลิตได้ดี วิธีการที่จะทำให้ดินทรายอุ้มน้ำได้มาก ก็คือการเพิ่มอินทรียวัตถุในดินและวิธีการใส่ปุ๋ยลงในดินที่มีเนื้อหยาบนี้จะต้องใส่ทีละน้อยแต่บ่อย ๆครั้ง เพราะถ้าใส่ครั้งเดียวทีละมาก ๆ ธาตุอาหารจากปุ๋ยมีโอกาสที่จะถูกชะล้างจากดินได้ง่ายมาก

ดินที่มีเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียว จะมีความสามารถในการดูดจับธาตุอาหารพืชในรูปที่เป็น ประโยชน์ได้มาก ถึงแม้ว่าธาตุอาหารเหล่านี้จะถูกชะล้างไปบ้าง แต่ก็เป็นจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับการชะล้างที่เกิดกับดินเนื้อหยาบ นอกจากจะมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารได้ดีแล้ว ดินเหนียวยังมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูงด้วย ปริมาณน้ำที่ก่อให้เกิดการชะล้างในดินทรายนั้น จะไม่ก่อให้เกิดการชะล้างในดินเหนียวเลย ทั้งนี้เพราะดินเหนียวมีช่องว่างขนาดเล็กจำนวนมากพอที่จะซึมซับน้ำจำนวนนั้นไว้ได้หมด จึงไม่ก่อให้เกิดการชะล้างเหมือนในดินเนื้อหยาบ

ชนิดของจุลินทรีย์ในดิน

1. แบคทีเรีย (bacteria) เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กที่สุด และเป็นจุลินทรีย์ในดินที่มีมากที่สุดทั้งชนิดและจนวน โดยแบคทีเรียในดินมักจะยึดเกาะกับอนุภาคดินเพราะในอนุภาคของดินจะมีประจุ นอกจากนี้จำนวนแบคทีเรียยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัย เช่น จำนวนอินทรีย์สารดิน เพราะแบคทีเรียใช้อินทรีย์สารเพื่อการเจริญ และในดินที่มีการเพาะปลูกพืชจะมีแบคทีเรียในดินมากกว่าในดินที่ไม่มีการเพาะปลูกพืชเพราะดินที่มีการเพาะปลูกจะได้รับอินทรีย์สารต่าง ๆ ที่รากขับออกมามากมายสารเหล่านี้แบคทีเรียนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญและเพิ่มจำนวนต่อไป

มีรายงานว่าในดินที่มีอินทรียวัตถุ 5 เปอร์เซนต์ จะมีแบคทีเรียที่มีชีวิตหนักประมาณ 3.5 ตันต่อเอเคอร์ ตามปกติแล้ว พืชโดยทั่วไปมักจะเจริญได้ดีในดินที่มีออกซิเจนเพียงพอหรือดินที่มีการถ่ายเทอากาศดี แต่สำหรับแบคทีเรียแล้วจะมีอยู่จำพวกหนึ่งที่ เรียกว่า Anaerobic bacteria ซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่ขาดออกซิเจน เพราะมันสามารถจะดึงเอาออกซิเจนจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสารอาหารประเภทน้ำตาล ซึ่งมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลได้

แบคทีเรีย มีบทบาทที่สำคัญหลายอย่าง ได้แก่
ช่วยในกระบวนการสลายตัวของสารอินทรีย์ ช่วยในกระบวนการ nitrification ช่วยในกระบวนการ denitrification ช่วยในกระบวนการ sulfur oxidation ช่วยในกระบวนการ sulfur reductionช่วยในกระบวนการ nitrogen fixation

2. แอคติโนมัยสีท (actonomycetes) เป็นแบคทีเรียแต่มักจะถูกแยกออกมาศึกษาเนื่องจากแอคติโนมัยสีทมีลักษณะพิเศษ คือ มีลักษณะโคโลนีขนาดค่อนข้างใหญ่และมีลักษณะผิวที่หยาบ รูปร่างแบบฟิลาเมนท์ที่ต่อกันเป็นเส้นยาว ซึ่งมีลักษณะคล้ายเชื้อราแต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าเชื้อรา ทำให้ในสภาวะที่แห้งแล้งเส้นฟิลาเมนท์ของแบคทีเรียแอคติโนมัยสีทจะทำให้เชื้อมีพื้นที่ผิวมากที่สุดเมื่อเทียบกับรูปร่างแบคทีเรียอื่น ๆ ซึ่งจะทำให้มีประโยชน์ต่อการดูดอาหารในดินในดินที่มีแอคติโนมัยสีทจะมีกลิ่นอับเนื่องจากแอคติโนมัยสีทเป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างสารที่เรียกว่า จีโอสมิน (geosmin) ที่ทำให้เกิดกลิ่นอับ นอกจากนี้ แบคทีเรียกลุ่มแอคติโนมัยสีทค่อนข้างทนต่อความแห้งแล้ง ดังนั้น จึงสามารถรอดชีวิตได้ในสภาวะที่แห้งแล้งมาก เช่น ดินในทะเลทราย และแอคติโนมัยสีทยังชอบที่จะเจริญในสภาวะที่เป็นด่างหรือเป็นกลางแต่ไม่ทนในสภาวะที่เป็นกรด

3. เชื้อรา (fungi) เมื่อกล่าวถึงจำนวนแล้ว จุลินทรีย์พวกราอาจมีอยู่ในดินในจำนวนน้อยกว่าแบคทีเรียและแอคติโนมัยสีท ลักษณะของราเป็นแบบ filamentous mycelium ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรียและแอคติโนมัยสีท มีการเจริญที่ยาว เคยมีรายงานการศึกษาความยาวของ

mycelium ของราในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงว่า ในดินเพียง 1 กรัม อาจมี mycelium ของราแทรกอยู่นับเป็นความยาวตั้งแต่ 10 ถึง100 เมตร เชื้อราเป็นจุลินทรีย์ที่ไม่มีคลอโรฟีลล์ ได้รับอาหารจากการเข้าย่อยสารอินทรีย์ในดิน ราที่มักพบในดิน ได้แก่ ยีสต์ เชื้อรา และเห็ดรา แต่ที่นับว่ามีบทบาทและความสำคัญมากในดิน ได้แก่ เชื้อรา และ เห็ดรา ทั้งนี้เพราะพวกยีสต์นั้นมีขอบเขตการเจริญเติบโตที่จำกัด

ความสำคัญของเชื้อรา

- สามารถย่อยสารประกอบของพืชที่ย่อยยากได้ เช่น เซลลูโลส ลิกนิน เป็นต้น
- มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนคาร์บอนจากสารอินทรีย์ให้เป็นคาร์บอนในองค์ประกอบของเซลล์ได้ดี จึงทำให้การสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยลง
- เจริญได้ดีในดินที่มีความเป็นกรดสูง ดังนั้นการสลายตัวของสารอินทรีย์ในสภาพที่ดินเป็นกรดจึง เป็นกิจกรรมที่เกิดจากพวก เชื้อรา เป็นส่วนใหญ่

เชื้อรามีความสามารถในการอยู่ร่วมกับรากพืชได้ ซึ่งเรียกลักษณะการอยู่ร่วมกันนี้ว่า mycorrhiza ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์กับพืชหลายอย่าง คือ ช่วยย่อยอาหารให้แก่รากพืช เป็นตัวกลางในการลำเลียงอาหารจากดินเข้าสู่รากพืชและเพิ่มพื้นที่ในการดูดน้ำและธาตุอาหารให้แก่รากพืช

4. สาหร่าย (Algae) สาหร่ายเป็นจุลินทรีย์ดินที่ปรากฏอยู่ในดินในระดับรองลงมาจากแบคทีเรีย แอคติโนมัยสีทและรา ลักษณะทั่วไปเป็นทั้งพวกที่มีเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์รวมกันเป็นเส้นสายยาว ๆ ปกติเมื่ออยู่เดี่ยว ๆ มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า แต่ถ้าเจริญรวมกันมาก ๆ มองเห็นเป็นกลุ่มก้อนสีเขียวโดยไม่ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ สีที่ทำให้มองเห็นได้ง่ายนี้เป็น pigment ที่ช่วยในการดูดซับแสงแดดเพื่อให้ได้พลังงานสำหรับการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของจุลินทรีย์ดินชนิดนี้

สาหร่ายเป็นพืชขนาดเล็กที่แตกต่างจากแบคทีเรีย กล่าวคือ จะมีคลอโรฟีลล์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย จึงทำ ให้มันสามารถสังเคราะห์อาหารแป้งและน้ำตาลได้โดยกระบวนการ photosynthesis algae เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญได้ดีในน้ำนิ่งที่มีแดดส่องทั่วถึง บทบาทของสาหร่ายที่มีต่อดิน คือ ช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน ช่วยทำให้เม็ดดินเชื่อมยึดกัน เพิ่มไนโตรเจนให้แก่ดิน เพราะสาหร่ายบางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้และช่วยเพิ่มออกซิเจนให้แก่ดินที่มีน้ำขัง เพราะสาหร่ายสามารถสังเคราะห์แสงได้สาหร่ายในดิน จำแนกออกได้เป็นพวกใหญ่ ๆ ดังนี้ Chlorophyceae (green algae), Cyanophyceae (blue - green algae), Bacillariophyceae (diatom)และ Xanthophyceae (yellow - green algae) สาหร่ายชนิดที่มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ดีที่สุดคือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

5.ไวรัส (Viruses) เป็นจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในดินในปริมาณค่อนข้างสูง แม้ว่าการศึกษาเกี่ยวกับไวรัสยังไม่กว้างขวางมากนัก แต่ก็เป็นที่ทราบว่า ไวรัสจะมีชีวิตอยู่ได้ต้องอาศัยอยู่บน

host ซึ่งอาจจะเป็น พืชสัตว์หรือจุลินทรีย์อื่น ๆ ก็ได้ ถ้าปราศจากสิ่งมีชีวิตอื่นที่เรียกว่า host cell นี้แล้ว ไวรัสจะไม่มีการเจริญเติบโตและขยายจำนวน การอาศัยสิ่งมีชีวิตอื่นของไวรัสนี้ เป็นไปอย่างเฉพาะเจาะจง ดังนั้น จึงแบ่งแยกไวรัสออกเป็นพวกใหญ่ ๆ คือ พวกที่อาศัยพืช (พวกที่เป็นโรคของพืช) พวกที่อาศัยสัตว์ (พวกที่เป็นโรคของสัตว์) พวกที่อาศัยแบคทีเรีย หรือแอคติโนมัยสีท (พวกที่เป็นโรคของแบคทีเรียและแอคติโนมัยสีท) เช่น ไวรัสที่อาศัยอยู่บนแบคทีเรียก็จะมีชื่อว่า bacteriophage หรือไวรัสที่อาศัยอยู่บนแอคติโนมัยสีท เรียกว่า actinophage

ปัจจุบันนี้ ไวรัสได้รับความสนใจมากในแง่ที่ว่า เป็นตัวการที่ทำให้เกิดโรคในพืชและสัตว์และยังมีอำนาจในการทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์บางชนิดอีกด้วย เช่น พวก *Rhizobium* spp. หรือแอคติโนมัยสีท เป็นต้น

6. โพรโทซัว (protozoa) โพรโทซัวพบมากในดินเช่นกัน โดนจะเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ชนิดที่อาศัยอย่างอิสระ มีขนาดเล็กและมีความหลากหลายของชนิดน้อยกกว่าเมื่อเทียบกับโพรโทซัวในน้ำ เนื่องจาก โพรโทซัวกินแบคทีเรียเป็นอาหาร ดังนั้น จำนวนของโพรโทซัวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของแบคทีเรียที่มีในดินบริเวณนั้น ๆ โพรโทซัวจะพบที่ความลึกของดินประมาณ 15 เซนติเมตร เนื่องจาก โพรโทซัวส่วนใหญ่ต้องการออกซิเจนในการหายใจปริมาณที่สูง ดังนั้น โพรโทซัวจึงไม่สามารถอาศัยในชั้นดินที่ลึกลงไปได้ การกระจายตัวของจุลินทรีย์ในดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การกระจายตัวของจุลินทรีย์ในดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ (จำนวนจุลินทรีย์ต่อดิน 1 กรัม)

ความลึก (เซนติเมตร)	**แบคทีเรีย**	**แอคติโนมัยสีท**	**รา**	**สาหร่าย**
3-8	9,750,000	2,080,000	119,000	25,000
20-25	2,179,000	245,000	50,000	5,000
35-40	570,000	49,000	14,000	500
65-75	11,000	5,000	6,000	100
135-145	1,400	-	3,000	-

กิจกรรมที่เป็นประโยชน์ของจุลินทรีย์ดิน (Beneficial Activities of Soil Microorganism)

กิจกรรมของจุลินทรีย์ดินที่นับว่ามีประโยชน์ต่อการเกษตรมีมากมาย ได้แก่

1. ช่วยในกระบวนการสลายตัวของอินทรียวัตถุ (organic matter decomposition) ในการที่จุลินทรีย์จะย่อยอินทรียวัตถุในดินนั้น จำเป็นต้องใช้เอนไซม์เข้าย่อย ซึ่งเอนไซม์ที่ใช้ก็มีทั้งชนิดที่ปล่อยออกมานอกเซลล์ (extracellular enzyme) เพื่อย่อยให้อินทรียวัตถุมีโมเลกุลเล็กลงจนสามารถดูดซึมผ่านผนังเซลล์เข้าไปได้ แล้วจะถูกย่อยอีกครั้งด้วยเอนไซม์ที่อยู่ภายในเซลล์ (intracellular enzyme)เพื่อที่จะให้ได้ธาตุอาหารที่จำเป็นต้องใช้ในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ต่อไป

จากการย่อยสลายอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์ มีผลผลิต ที่เกิดขึ้นหลายอย่างได้แก่

- คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่ง เมื่อรวมกับน้ำจะได้ กรดคาร์บอนิค ซึ่งเป็นกรดอย่างอ่อน

- กรดอินทรีย์ (organic acid) ทั้งกรดคาร์บอนิคที่เกิดขึ้นจากคาร์บอนไดออกไซด์และกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆที่เกิดขึ้นนี้ มีบทบาทสำคัญในการช่วยละลายธาตุอาหารบางอย่างที่ไม่สามารถละลายในน้ำธรรมดา เช่น ธาตุ Fe, Mn, Ca, P

- Slimy materials เป็นสารประกอบที่เกิดจากการที่อินทรียวัตถุสลายตัว มีสมบัติค่อนข้างเหนียวซึ่งจะช่วยทำให้เม็ดดินจับกันเป็นดินที่มีโครงสร้าง และช่วยทำให้ดินร่วนซุยเหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืช

- Minerals ตามปกติพืชและสัตว์เมื่อมีชีวิตอยู่นั้น จะมีธาตุต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบอยู่มากมาย ดังนั้น เมื่อสิ่งเหล่านี้ตายลงและถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ธาตุต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ก็จะถูกปลดปล่อยออกมาสะสมอยู่ในดินและกลายเป็นประโยชน์ต่อพืชที่จะปลูกในดินนั้นต่อไป

- Humus เป็นสารที่มีความคงทนต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มีคุณสมบัติในการที่จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของดินทั้งทางเคมีและทางฟิสิกส์

2. ช่วยในการปลดปล่อยและเปลี่ยนรูปธาตุอาหารให้พืชใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น (Releasing and transformation of plant nutrient) เนื่องจากมีธาตุอาหารพืชหลายชนิดในดินที่อยู่ในรูปซึ่งพืชไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ แต่กิจกรรมที่เกิดจากการกระทำของจุลินทรีย์สามารถทำให้ธาตุอาหารเหล่านั้นเปลี่ยนมาอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ เช่น ในการสลายตัวของตอซังธัญพืช จะมีผลทำให้เกิดกรดคาร์บอนิคออกมาเป็นจำนวนมาก ซึ่งกรดนี้ จะช่วยในการละลายธาตุอาหารพืชในดินให้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ นอกจากนั้นยังมีกรด ไนตริค ซัลฟุริกรวมอยู่ด้วย ซึ่งมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปธาตุอาหารจากรูปที่ไม่ละลาย (insoluble form)

ให้อยู่ในรูปที่ละลายได้ (soluble form) เช่น ทำให้แคลเซียมฟอสเฟต เปลี่ยนมาอยู่ในรูปปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต หรือเปลี่ยนจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแคลเซียมฟอสเฟต เป็นต้น

กิจกรรมในการเปลี่ยนรูปธาตุอาหารพืชของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์และพบบ่อย ๆ อีกอย่าง ได้แก่ การเปลี่ยนรูปของซัลเฟอร์ (S) ซึ่งพืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ ให้เป็น ซัลเฟต (SO_4^-) ซึ่งพืชใช้ประโยชน์ได้โดยการกระทำของแบคทีเรียพวก *Thiobacillus* หรืออีกกระบวนการหนึ่ง ได้แก่ การเปลี่ยนรูปของอนุมูลแอมโมเนีย (NH_4^+) ซึ่งพืชใช้ประโยชน์ได้น้อย ให้เปลี่ยนเป็นอนุมูลไนเต-รท (NO_3^-) ซึ่งพืชใช้ประโยชน์ได้มากโดยพวก Nitrifying bacteria ช่วยในกระบวนการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ (nitrogen fixation) ก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศมีอยู่เป็นปริมาณถึง 78 เปอร์เซนต์ แต่พืชไม่สามารถใช้ไนโตรเจนในรูปของก๊าซได้ จนกว่าจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบอินทรีย์ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตเสียก่อน ซึ่งมีแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถดึงไนโตรเจนที่เป็นอิสระจากอากาศในดินมาใช้ประโยชน์ในการสร้างเซลล์ของมันได้และเรียกไนโตรเจนนั้นว่า อยู่ในรูปที่ถูกตรึง และต่อมาเมื่อจุลินทรีย์นั้นตายลงก็จะกลายเป็นแหล่งของไนโตรเจนของพืชต่อไป กระบวนการในการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนในอากาศให้กลายมาเป็นสารประกอบอินทรีย์โดยแบคทีเรียในดินนี้เรียกว่า กระบวนการตรึงไนโตรเจนและนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่า เชื้อรา และ blue-green algae บางพวก ก็สามารถตรึงไนโตรเจนได้เช่นกัน

จุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้จะตรึงไนโตรเจนได้ต้องอาศัยอยู่ในรากของพืชตระกูลถั่ว ซึ่งเราเรียกกระบวนการตรึงนั้นว่า Symbiotic nitrogen fixation แบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนแบบนี้ ได้แก่ พวก *Rhizobium* sp.

กลุ่มที่ 2 จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระโดยไม่ต้องอาศัยอยู่ในรากพืชตระกูลถั่ว เราเรียกกระบวนการตรึงแบบนี้ว่า Non-symbiotic nitrogen fixation จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนแบบนี้ แบ่งตามสภาพแวดล้อมในการตรึงได้หลายแบบ คือ

- *Azotobacter* สามารถตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศดีมีออกซิเจนในดินอย่างเพียงพอ

- *Clostridium* ตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระในสภาพที่อากาศถ่ายเทไม่ดี มีออกซิเจนน้อย

- Blue green algae สามารถตรึงไนโตรเจนได้ในสภาพพื้นที่ที่มีน้ำขัง เช่นในนาข้าว แบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระนั้น บางชนิดต้องการสภาพดินที่เป็นกลาง ในขณะที่บางชนิดสามารถเจริญได้ดีแม้ดินนั้นจะมีสภาพเป็นกรด สำหรับพวกที่ต้องอาศัยอยู่ในรากพืชตระกูล

ถั่วนั้น ต้องการสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศดี มีอินทรียวัตถุมาก มีปริมาณฟอสฟอรัสและแคลเซียมสูง อุณหภูมิและความชื้นพอเหมาะ และกิจกรรมการตรึงไนโตรเจนจะมีมากขึ้นถ้าดินนั้นได้รับการใส่ปูนและเพิ่มธาตุแคลเซียมกับฟอสฟอรัสลงไป

สารประกอบไนโตรเจนที่ถูกตรึงไว้นั้น บางส่วนจะถูกแบคทีเรียปลดปล่อยออกมาให้เป็นประโยชน์แก่พืช และเมื่อแบคทีเรียนั้นตายลง สารประกอบไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในเซลล์จะแตกตัวออกมาอยู่ในรูปที่พืชเอาไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งเรียกกระบวนการปลดปล่อยนี้ว่า Mineralization of nitrogen

บทบาทที่สำคัญอย่างหนึ่งของ nitrogen fixation bacteria คือ มีความสามารถในการสร้างปมที่รากพืชตระกูลถั่วได้ โดยแบคทีเรียพวกนี้จะเข้าสู่รากพืชทางรากขนอ่อน แล้วแบคทีเรียจะเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม จากนั้นมันก็จะแทรกเข้าไปในชั้น cortexของรากพืชและทำให้รากมีการแบ่งเซลล์มากขึ้นจนมีขนาดใหญ่กว่ารากบริเวณอื่น และมีลักษณะโป่งออกมาเป็นปม ในปมหนึ่ง ๆ จะมีแบคทีเรียอาศัยอยู่เป็นจำนวนล้าน ๆ เซลล์

3. จุลินทรีย์สามารถผลิตสารปฏิชีวนะให้แก่ดิน (antibiotic properties of soil organism) เกษตรกรส่วนใหญ่มีความคุ้นเคยกับสารปฏิชีวนะที่ใช้กับสัตว์เลี้ยงเป็นอย่างดี และสารปฏิชีวนะบางอย่างนั้น มีแหล่งกำเนิดจากจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดิน เช่น penicillin ซึ่งผลิตโดยเชื้อรา หรือ streptomycin ซึ่งผลิตโดยแบคทีเรีย สารปฏิชีวนะที่จุลินทรีย์ผลิตออกมานี้ มีคุณสมบัติในการควบคุมเชื้อโรคบางชนิดที่เป็นอันตรายต่อพืชที่ปลูกไว้

4. จุลินทรีย์ช่วยปรับปรุงสภาพความร่วนซุยของดิน (aiding soil tilth) นักปฐพีวิทยาบางท่านเชื่อว่า แบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยสีท สามารถทำให้เม็ดดินเชื่อมติดกันเป็นก้อนดินได้ ซึ่งเป็นผลจากเส้นใยของจุลินทรีย์หรือจากเซลล์ของจุลินทรีย์เอง ดังนั้น สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ จึงมีผลต่อสภาพความร่วนซุยของดินด้วย

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ได้แก่

ปริมาณธาตุอาหาร ดังได้กล่าวแล้วว่า การที่จุลินทรีย์ดินจะเจริญเติบโตและดำเนินกิจกรรมต่างๆนั้น จำเป็นต้องใช้ธาตุอาหารเช่นเดียวกับพืชชั้นสูงทั่วไป และแหล่งอาหารที่สำคัญส่วนมากได้จากการย่อยสลายซากพืชหรือสัตว์ ยกเว้นจุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถสังเคราะห์อาหารได้เอง ดังนั้น ปริมาณของจุลินทรีย์และกิจกรรมต่าง ๆ ในดินที่เกิดโดยจุลินทรีย์ จึงขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารในดินด้วย

- แหล่งธาตุไนโตรเจน โดยทั่วไปอาหารที่ใช้เลี้ยงเชื้อแบคทีเรียมักใช้ peptone, tryptones เป็นแหล่งของไนโตรเจน

- แหล่งคาร์บอน ในอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์มักใช้แป้งหรือน้ำตาล เช่น น้ำตาลกลูโคส เป็นแหล่งของคาร์บอน

- แหล่งเกลือแร่ อาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์มักจะมีเกลือแร่เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เกลือแร่ที่จุลินทรีย์ต้องการในปริมาณมาก เช่น โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม แคลเซียมและเหล็ก สำหรับเกลือแร่ที่จุลินทรีย์ต้องการในปริมาณน้อย เช่น โคบอลท์ ทองแดงสังกะสี โมลิบดินัม และแมงกานีส

- แหล่งวิตามินและสารที่ส่งเสริมการเจริญ เป็นสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์นำไปใช้เป็นสารตั้งต้นเพื่อนำไปสังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อการเจริญและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ เช่น ไทอะมีน ไรโบฟลาวิน ไพริดอกซิน เป็นต้น

อุณหภูมิของดิน การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ดินมีความเกี่ยวข้องกับระดับความสูงต่ำของอุณหภูมิในดินเสมอ ถึงแม้ว่าจุลินทรีย์ส่วนมากจะสามารถปรับตัวและลดกิจกรรมต่าง ๆ ลงได้เมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงก็ตาม แต่จุลินทรีย์ก็มีความต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับพืชชั้นสูง และอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับพืชชั้นสูงก็มักเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ด้วยในดินที่มีสีเข้ม มักจะมีอุณหภูมิสูงกว่าดินที่มีสีจาง ทั้งนี้เพราะในดินที่มีสีเข้ม กิจกรรมที่เกิดโดยจุลินทรีย์จะมีมากกว่า ทำให้อุณหภูมิสูงกว่าดินที่มีสีจาง

- Psychrophile เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญได้ดีในที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 15-20 องศาเซลเซียส
- Mesophile เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ดีในอุณหภูมิปานกลาง ในช่วง 20-40 องศาเซลเซียส
- Thermophile เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ดีในอุณหภูมิสูง ในช่วง 40-60 องศาเซลเซียส

ความชื้น จุลินทรีย์ดินมักจะมีความสามารถสูงในการปรับตัวเข้ากับระดับความชื้นในดิน แต่โดยปกติแล้ว สภาพความชื้นที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ มักจะอยู่ในช่วงเดียวกับพืชชั้นสูง

ปฏิกิริยาของดิน จุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ส่วนมาก จะเจริญได้ดีในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกลาง เช่น bacteria เจริญได้ดีที่ค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 6.0 - 8.0 เชื้อราเจริญได้ดีที่ค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 4.0 - 5.0 และแอคติโนมัยสีทเจริญได้ดีที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง

เท่ากับ 7.0 - 7.5 สำหรับแบคทีเรียที่อยู่ร่วมกับพืชตระกูลถั่วนั้น เจริญได้ดีในดินที่มีแคลเซี่ยมสูง ถ้าหากดินมีความเป็นกรดสูงแล้ว กิจกรรมที่เกิดจากแบคทีเรียพวกนี้จะลดลงอย่างรวดเร็ว

การถ่ายเทอากาศ ในอากาศประกอบด้วยก๊าซที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์หลายชนิดเช่น ออกซิเจน จำเป็นสำหรับการหายใจ และนอกจากนั้นเชื้อราและแอคติโนมัยสีทยังใช้สำหรับกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ จำเป็นสำหรับกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายบางชนิด และเป็นแหล่งคาร์บอนของแบคทีเรียบางชนิดด้วย โดยส่วนใหญ่ดินที่มีเนื้อหยาบมักจะมีการถ่ายเทอากาศดีกว่าดินที่มีเนื้อละเอียดและแน่นทึบ ดังนั้นกิจกรรมต่าง ๆ จึงเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าด้วย

- aerobic bacteria เป็นแบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ดีในที่มีออกซิเจน
- anaerobic bacteric เป็นแบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ดีในที่ไม่มีออกซิเจน
- facultative anaerobic bacteria เป็นแบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ทั้งในสภาพมีและไม่มีออกซิเจน แต่เจริญได้ดีในที่มีออกซิเจนมากกว่า
- microaerophillic bacteria เป็นแบคทีเรียที่เจริญได้ดีในที่มีออกซิเจนน้อย

ปัจจัยอื่น ๆ เช่น แสงมีความจำเป็นสำหรับจุลินทรีย์บางชนิดที่ต้องสังเคราะห์อาหารเอง เช่น สาหร่ายแต่สำหรับแบคทีเรียแล้ว จะไม่สามารถทนต่อแสงอาทิตย์โดยตรงได้ แบคทีเรียบางชนิดต้องการความเค็ม

จุลินทรีย์ด้านการเกษตร (ดุสิต, 2556)

จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์หลากหลายชนิดที่ถูกนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพทางการผลิตพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปกป้องพืชพันธุ์อ่อนแอให้รอดพ้นจากศัตรูพืช โดยบทบาทของจุลินทรีย์เหล่านี้อาจจะช่วยพืชในการตรึงไนโตรเจน ละลายฟอสเฟต และธาตุอาหารพืชชนิดอื่น ๆ ปกป้องพืชจากการเข้าทำลายของเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืชด้วยกลไกการเป็นปรสิต การชักนำให้พืชผลิตฮอร์โมนพืช และการกระตุ้นภูมิต้านทานพืชทั้งระบบ ซึ่งจุลินทรีย์หนึ่งสายพันธุ์อาจมีหนึ่งกลไกหรือมากกว่าหนึ่งกลไกที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ตัวอย่าง เช่น แบคทีเรียบริเวณรอบรากพืชซึ่งมีศักยภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้หลากหลายบทบาท ได้แก่ มีความสามารถในการผลิตสารปฏิชีวนะ การแย่งใช้ธาตุเหล็กจากเชื้อโรค ตลอดจนชักนำให้พืชมีระบบภูมิต้านทานรอดพ้นจากการรบกวนของศัตรูพืชซึ่งการใช้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตรสามารถใช้ได้หลายรูปแบบ ได้แก่ การใส่หรือราดดิน การคลุกเมล็ด หรือจุ่มส่วนขยายของพันธุ์พืช รวมทั้งการพ้นต้นพืช แต่อย่างไรก็ดี การคลุกเมล็ดด้วยจุลินทรีย์เป็นวิธีที่ง่าย

และประหยัด ส่วนวิธีการใส่ลงในดินต้องใช้จุลินทรีย์ในปริมาณที่มากจึงทำให้สิ้นเปลืองและอาจไม่ได้ผล ถ้าเป็นวิธีการพ่นนิยมใช้ในกรณีที่ต้องควบคุมเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืช ซึ่งอาจทำให้พืชมีผลผลิตเพิ่มมากยิ่งขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถควบคุมพืชที่ดื้อสารเคมีได้สำเร็จ แต่หลักสำคัญในการใช้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์คือควรมีการใช้ซ้ำในพื้นที่เดิมจนกระทั่งเชื้อโรคหรือแมลงศัตรูพืชลดลงจึงจะลดปริมาณการใช้หรือหยุดใช้จุลินทรีย์ได้ ปัจจุบันมีการพัฒนาสูตรสำเร็จหรือผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่เหมาะสมเพื่อคงประสิทธิภาพจุลินทรีย์ไม่ให้ลดลง อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่พัฒนาขึ้นควรได้รับการทดสอบในสภาพแปลงปลูกในหลายพื้นที่ก่อนที่จะนำมาใช้ในระบบการผลิตพืชเศรษฐกิจ

การจัดการระบบการผลิตพืชด้วยชีววิธี ซึ่งเน้นการใช้จุลินทรีย์ที่มีบทบาทและหน้าที่อันเป็นประโยชน์ต่อพืชแตกต่างกันนั้น จัดเป็นกลยุทธ์การผลิตพืชที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและได้รับความนิยมเป็นอย่างกว้างขวาง (Prathuangwong *et al*., 2005) โดยเฉพาะในระบบการผลิตพืชอินทรีย์ที่ผลิตจากธรรมชาติและจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ สามารถใช้ทดแทนสารเคมีทางเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการใช้จุลินทรีย์ในที่นี้ยังสามารถควบคุมได้ทั้งโรคและแมลงศัตรูพืชที่เข้าทำลายราก ลำต้น และใบพืช ซึ่งสามารถนำเข้าร่วมกับระบบการผลิตพืชและหลักการจัดการศัตรูพืชต่าง ๆ ได้ทุกระยะและทุกขั้นตอนตลอดจนประสิทธิภาพในการลดสารพิษตกค้างในผลผลิตและสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน ประกอบกับกระแสการบริโภคในปัจจุบันหันมาใส่ใจปัญหาสุขภาพและสิ่งแวดล้อมกันมากขึ้น เกษตรกรส่วนใหญ่จึงปรับเปลี่ยนวิถีการผลิตของตนเองมาเป็นการผลิตพืชปอลดสารพิษซึ่งเน้นการใช้สารเคมีเท่าที่จำเป็นตลอดจนการผลิตพืชไร้สารพิษและเกษตรอินทรีย์ซึ่งไม่ใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีใด ๆ เลย จุลินทรีย์และผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์สำหรับส่งเสริมการเจริญเติบโต ควบคุมโรคและศัตรูพืชจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีทั้งจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์และจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ ดังนั้น การเลือกใช้จุลินทรีย์ให้มีประสิทธิภาพตรงตามความต้องการของผู้ใช้ จึงจำเป็นที่ต้องรู้จักจุลินทรีย์แหล่งที่มา หน้าที่ การใช้ วิธีการใช้ ข้อควรพิจารณาในการใช้จุลินทรีย์ และประโยชน์ของการใช้จุลินทรีย์เป็นอย่างดี

กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชนด้านการเกษตร (สุวรรณี, 2555)

1. จุลินทรีย์ที่เพิ่มธาตุอาหารแก่พืช

จุลินทรีย์เพิ่มธาตุอาหารพืชในดิน ได้แก่ กลุ่มจุลินทรีย์แปรสภาพไนโตรเจน ซึ่งผลิตเอนไซม์โปรตีเอส ย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในดิน ให้อยู่ในรูปของไนโตรเจนที่

พืชสามารถนำไปใช้ได้ จุลินทรีย์ในดินที่มีบทบาทในการย่อย ได้แก่ กลุ่ม *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Streptomyces*, *Aspergillus*, *Nitrobacter* และ *Nitrosomonas* นอกจากนี้ จุลินทรีย์ในดินบางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีประโยชน์ต่อพืชได้

2. จุลินทรีย์ที่ช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช

จุลินทรีย์ที่ช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์ คือ จุลินทรีย์ที่สามารถแปรสภาพฟอสฟอรัส ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ นอกจากนี้ ยังสามารถย่อยสารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัสเช่น หินฟอสเฟต หรือตะกอนของสารประกอบฟอสเฟต ซึ่งเกิดจากการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตอย่างต่อเนื่องแต่ถูกตรึงไว้ในดินการใส่จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตในดินได้ จุลินทรีย์แปรสภาพฟอสฟอรัส ได้แก่ เชื้อแบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Thiobacillus* sp. และเชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp.

3. จุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

จุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดินรอบรากพืช และช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช โดยการสร้างสารกระตุ้นการเจริญของพืช นอกจากนี้ เชื้อจุลินทรีย์ยังสามารถสร้างฮอร์โมนพืช เชื้อจุลินทรีย์ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ *Azospirillum* sp., *Streptomyces* sp., *Bacillus* sp. *Pseudomonas* sp. และ *Trichoderma* sp.
ตัวอย่างจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางด้านการเกษตร แสดงในตารางที่ 2

การทำเกษตรแบบเดิม หรือการทำเกษตรเคมี หรือการทำเกษตรแบบทั่วไป (conventional agricultural)

ปัญหาจากการทำการเกษตรแบบทั่วไป (พันธ์จิตต์, 2555) ได้แก่

1. ปัญหาและผลกระทบจากปุ๋ยเคมี

การส่งเสริมการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวโดยไม่ได้มีการส่งเสริมการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการปรับปรุงดิน สิ่งที่เกิดขึ้นก็คือ ดินเสื่อมโทรม อันเนื่องมาจากปุ๋ยเคมีจะเร่งอัตราการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งทำให้โครงสร้างของดินแน่นแข็ง ดินกระด้าง ไม่อุ้มน้ำ การใช้ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องทำให้ดินขาดธาตุอาหารรอง ทำให้เกิดปัญหาโรคและแมลงได้ง่าย และการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีไนโตรเจนสูง(โดยเฉพาะปุ๋ยยูเรีย) ทำให้ดินเป็นกรด ซึ่งธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะฟอสฟอรัสจะเปลี่ยนสภาพไปอยู่ในรูปที่พืชเอาไปใช้ไม่ได้

ตารางที่ 2 ตัวอย่างจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางด้านการเกษตร

จุลินทรีย์	**แหล่งที่มา**	**หน้าที่ในระบบนิเวศ**	**อ้างอิง**
แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* TU-Orga1	ดินบริเวณรากข้าว	1.ส่งเสริมการเจริญเติบโต : ข้าว 2. ควบคุมโรคและชักนำระบบภูมิต้านทาน พืช : ข้าว ; โรคไหม้ ใบจุดสีน้ำตาล ใบขีดสีน้ำตาล กาบใบแห้ง เมล็ดด่าง ขอบใบแห้ง และใบขีดโปร่งแสง 3. ละลายฟอสเฟตและโพแทสเซียม 4. แปรสภาพอินทรีย์ในโตรเจนให้เป็นอนินทรีย์ในโตรเจน	ปาริชาติ และคณะ (2556) นิภาพร และคณะ(2556)
Pseudomonas fluorescens TU-Orga2	ดินบริเวณรากข้าว	1. ส่งเสริมการเจริญเติบโต : ข้าวและพืชผักตระกูลกระหล่ำ 2. ควบคุมโรคและชักนำระบบภูมิต้านทาน พืชผักตระกูลกระหล่ำ ; โรคเน่า และขอบใบทอง ราน้ำค้าง และใบจุดอัลเทอร์นาเรีย ข้าว ; โรคไหม้ ใบจุดสีน้ำตา ใบขีดสีน้ำตาล กาบใบแห้ง เมล็ดด่าง ขอบใบแห้ง และใบขีดโปร่งแสง	ดุสิต, 2556
Bacillus thuringiensis	ใบคะน้า	ควบคุมแมลงศัตรูพืช พืชผักตระกูลกะหล่ำ ; หนอนใยผัก หนอน กระทู้ นอนคืบและหนอนผีเสื้อต่างๆ	
Azotobacter sp.	ดินบริเวณรากข้าว	ตรึงไนโตรเจน	จตุพร และคณะ (2555)

ตารางที่ 2 (ต่อ)

จุลินทรีย์	แหล่งที่มา	หน้าที่ในระบบนิเวศ	อ้างอิง
รา *Trichoderma harzianum*	ดินบริเวณรากข้าว	ควบคุมโรคและชักนำระบบภูมิต้านทานพืชผักตระกูลกระหล่ำ ; โรคเน่า และขอบใบทอง ราน้ำค้าง และใบจุดอัลเทอร์นาเรีย ข้าว ; โรคไหม้ ใบจุดสีน้ำตา ใบขีดสีน้ำตาล กาบใบแห้ง เมล็ดด่าง ขอบใบแห้ง และใบขีดโปร่งแสง	จตุพร และคณะ (2555)
Paecilomyces lilacinus	-	ควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม	สืบศักดิ์, 2539 ก ; สิบศักดิ์, 2539 ข
Aspergilus sp.	ดินบริเวณรากข้าว	1. ย่อยสลายซากพืช 2. ละลายฟอสเฟต	จตุพร และคณะ (2555)
Beauveria bassiana	ดินบริเวณรากข้าว	ควบคุมแมลงศัตรูพืช : พืชผักตระกูลกะหล่ำ ; ด้วงหมัดกระโดด เต่าแตง หนอนใยผัก และหนอนผีเสื้อต่างๆ ข้าว ; เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่น เพลี้ยไฟ และหนอนห่อใบ	ดุสิต, 2556

นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยเคมียังมีผลต่อสุขภาพผู้บริโภคทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยผลกระทบทางตรงก็คือ การตกค้างของธาตุอาหาร โดยเฉพาะไนโตรเจนซึ่งอยู่ในรูปของสารไนเตรท ที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยที่มีไนโตรเจนมากเกินไป ซึ่งนอกจากจะพบในผลผลิตการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งผักสดแล้วอาจพบสารไนเตรทในแหล่งน้ำใต้ดินด้วย สารไนเตรทนี้เป็นอันตรายต่อเด็กอ่อน เพราะสารไนเตรทจะเข้าไปจับกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง ทำให้เม็ดเลือดแดงไม่สามารถนออกซิเจนไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้ ส่งผลให้ร่างกายขาดออกซิเจน จนมีลักษณะอาการ “ตัวเขียว” ซึ่งอาการเช่นนี้จะพบกับเด็กทารกเท่านั้น นอกจากนี้สารไนเตรทยังเป็นสารที่กระตุ้นให้เกิดมะเร็งได้อีกด้วย

ปัญหาผลกระทบทางอ้อมเกิดขึ้นจากการที่การใช้ปุ๋ยเคมีจะทำให้พืชที่เพาะปลูกอ่อนแอ เนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมีมักจะไม่ใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ทำให้พืชที่ปลูกขาดธาตุอาหารรองต่าง ๆ ส่งผลให้พืชเกิดความอ่อนแอ โรคและแมลงจึงสามารถระบาดได้โดยง่าย เมื่อเกิดการระบาดของโรคและแมลงเกษตรกรก็นิยมฉีดพ่นด้วยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ซึ่งทำให้เกิดการตกค้างและปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในผลผลิตทางการเกษตร เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้อีกต่อหนึ่ง

2. ผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรและผู้บริโภค

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีปัญหาในเรื่องสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในห่วงโซ่อาหารเป็นจำนวนมาก ซึ่งเกษตรกรมักจะฉีดพ่นสารเคมีโดยไม่มีการป้องกันตนเองอย่างเหมาะสม ดังนั้น เกษตรกรเกือบทั้งหมดที่ต้องใช้สารเคมีการเกษตรจึงมักมีปัญหาสุขภาพเรื้อรังอยู่ตลอดเวลา

ในขณะเดียวกันผู้บริโภคเองก็มีโอกาสที่จะได้รับสารเคมีการเกษตรจากสารเคมีที่ตกค้างอยู่ในอาหารได้ค่อนข้างมากเช่นกัน ผักและผลไม้อาจมีสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างอยู่เมื่อบริโภคสารเคมีเหล่านี้บางส่วนอาจถูกกำจัดออกจากร่างกาย แต่บางส่วนก็ตกค้างสะสมในร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เป็นไขมันในร่างกาย ซึ่งสารเหล่านี้สามารถถ่ายทอดจากแม่ไปสู่ลูก

ปัญหาผลกระทบจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช

ในส่วนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชก็เช่นกัน เนื่องจากประเทศไทยมีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกับพืชหลายชนิด โดยสารเคมีส่วนใหญ่จะใช้ในการเพาะปลูกข้าว ทั้งนี้เพราะพื้นที่ปลูกข้าวมากที่สุด โดยเฉลี่ยแล้วประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในประเทศไทยจะเป็นการใช้ในนาข้าว แต่เมื่อเฉลี่ยการใช้สารเคมีต่อหน่วยพื้นที่แล้ว พืชผักและผลไม้มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชเข้มข้นมากกว่า (ยกตัวอย่าง เช่น องุ่นมีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชสูงถึง 24.63 กิโลกรัมต่อไร่ มะเขือเทศ 6.78 กิโลกรัมต่อไร่ ส้ม 4.92 กิโลกรัมต่อไร่ และผัก 4.73 กิโลกรัมต่อไร่) แต่ถ้าเปรียบเทียบกับพืชไร่อื่น ๆ แล้วข้าวก็นับว่ามีการใช้สารเคมีเข้มข้นมากที่สุด คือประมาณ 0.14กิโลกรัมต่อไร่ (ถั่ว เหลือง 0.12 กิโลกรัมต่อไร่ อ้อย 0.02 กิโลกรัมต่อไร่ ปาล์มน้ำมัน 0.014 กิโลกรัมต่อไร่ และข้าวโพดใช้ 0.011 กิโลกรัมต่อไร่) ประเทศไทยมีการนำเข้าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชต่างๆ ในแต่ละปีเฉลี่ยประมาณเกือบ 80,000 ตันต่อปี ซึ่งทั้งหมดจะถูกใช้ในการผลิตภาคการเกษตร หรือคิดเฉลี่ยต่อหัวประชากร (62.279 ล้านคน) จะมีปริมาณการ

ใช้สารเคมีสูงถึง 1.28 กิโลกรัมต่อประชากร ซึ่งมากพอที่จะทำให้ประชากรทั่วประเทศเสียชีวิตได้ นอกจากนี้ยังพบว่าในแต่ละปีมีเกษตรกรไทยเสี่ยงต่ออัตราการเกิดโรคมะเร็งมากกว่ากลุ่มอาชีพอื่น เนื่องจากยาฆ่าแมลงทำให้เกิดความเสียหายต่อระดับดีเอ็นเอ (DNA) ในเนื้อเยื่อของร่างกาย ซึ่งอาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชจะมีต้นทุนแฝงที่มักจะไม่ได้นำมาวิเคราะห์ ไม่ว่าจะเป็นต้นทุนในแง่สุขภาพของผู้ผลิต ปัญหาสารเคมีตกค้างในอาหารและระบบนิเวศ และปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ถ้ามีการนำต้นทุนเหล่านี้มาพิจารณาร่วมด้วย จะพบว่าการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชควรจะต้องถูกลดการสนับสนุนลง เพราะต้นทุนแฝงของการใช้สารเคมีสูงถึง 13-155 เปอร์เซ็นต์

จากข้อมูลกรมวิชาการเกษตร (2546) พบว่า มีการนำเข้าปุ๋ยเคมีสูงถึงปีละ 15,000-20,000 ล้านบาท และสารเคมีนำเข้าปีละ 5,000-6,000 ล้านบาท ซึ่งสามารถเพิ่มผลผลิตเป็นสินค้าส่งออกทำรายได้เข้าประเทศได้ทางหนึ่ง แต่ผลกระทบจากการใช้สารเคมีทุกชนิดไม่ว่าปุ๋ยเคมี หรือสารเคมีที่ใช้เกี่ยวกับพืช พืชสามารถนำไปใช้ได้เพียงร้อยละ 25-30 เท่านั้น ส่วนที่เหลือร้อยละ 70-75 ตกค้างอยู่ที่สิ่งแวดล้อม ซึ่งส่งผลทำลายสุขภาพแก่ผู้ผลิตและผู้บริโภคอย่างไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ อรทัย (2549) รายงานปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อข้าวอินทรีย์ของโรงพยาบาลในจังหวัดเชียงราย พบว่า ปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจซื้อข้าวอินทรีย์คือมาตรฐานของข้าวตรงกับความต้องการ ปราศจากสารเคมีทุกขั้นตอนการผลิต เจ้าหน้าที่ฝ่ายโภชนาการคือบุคคลที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อข้าวอินทรีย์มากที่สุด

เกษตรอินทรีย์ (Organic agricultural)

เกษตรอินทรีย์คือ การทำการเกษตรด้วยหลักธรรมชาติ บนพื้นที่การเกษตรที่ไม่มีสารพิษตกค้างและหลีกเลี่ยงจากการปนเปื้อนของสารเคมีเพื่อส่งเสริมความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความหลากหลายทางชีวภาพในระบบนิเวศและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมให้กลับคืนสู่สมดุลธรรมชาติ โดยไม่ใช้สารเคมีสังเคราะห์ หรือสิ่งที่ได้มาจากการตัดต่อพันธุกรรม ใช้ปัจจัยการผลิตที่มีแผนการจัดการอย่างเป็นระบบในการผลิตภายใต้มาตฐานการผลิตเกษตรอินทรีย์ให้ได้ผลผลิตสูงอุดมด้วยคุณค่าทางอาหารและปลอดสารพิษโดยมีต้นทุนการผลิตต่ำเพื่อคุณภาพชีวิต

แนวทางการปรับปรุงบำรุงดิน โดยวิธีธรรมชาติ ได้แก่

การปรับปรุงบำรุงดินโดยใช้ระบบพืช เช่น การปลูกพืชต่างชนิดแบบผสมผสาน การปลูกพืชหมุนเวียน การปลูกพืชสดเป็นปุ๋ยปรับปรุงบำรุงดิน การปลูกพืชคลุมดิน การปรับปรุงบำรุงดินโดยใช้วัสดุที่เกิดจากแหล่งธรรมชาติ เช่น การใช้ปุ๋ยมาร์ (Mar) โดโลไมท์ (Dolomite)

หินฟอสเฟต (Rock phosphate) หินฝุ่นปะการัง และ เปลือกหอย กระดูกป่น (Ground bone) เป็นวัสดุปรับปรุงดินเปรี้ยว เพื่อลดความเปรี้ยวของดินให้น้อยลง และ เป็นการเพิ่มธาตุอาหารพืช เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัสให้แก่ดินการใช้แร่ยิปซัม ($CaSO_4.2H_2O$) ลดความเค็ม และ เพิ่มธาตุอาหาร เช่น แคลเซียม และ กำมะถันให้ แก่ดิน การใช้เขตกรรม (Deep Cultivation) การไถพรวนลึก ช่วยปรับปรุงดินได้ การใช้น้ำฝน (Rain water) ขณะฝนตกมีฟ้าแลบ ทำให้ก๊าซไนโตรเจนทำปฏิกิริยา กับก๊าซไฮโดรเจนเป็นแอมโมเนีย (NH_3) ก๊าซนี้ละลายปะปนมากับน้ำฝน ช่วยเพิ่มธาตุไนโตรเจน ในดินเป็นประโยชน์ต่อพืช ที่ปลูกได้ การปรับปรุงดินโดยใช้ไส้เดือน (Eargth worm) ดิน ที่ทำการเกษตรทั่วไป และ ดินที่มีปัญหาถ้านำมาใช้ ในการเกษตรนั้นเราสามารถใช้วิธีธรรมชาติปรับปรุงบำรุงดินได้ โดยเฉพาะการเกษตรแบบเกษตรอินทรีย์ซึ่งปฏิเสธการใช้สารเคมีสังเคราะห์นำมาใช้ปรับปรุงบำรุงดินการปรับปรุงบำรุงดินโดยวิธีธรรม-ชาติก็ยิ่งมีความจำเป็น เพราะเป็นวิธีการที่ช่วยให้เกิดความสมดุลภายในดิน เป็นการช่วยรักษาทรัพยากรดินให้เกิดประโยชน์ในการเพาะปลูกได้อย่างถาวร ผลผลิตทางการเกษตรที่ได้ จะเป็นผลผลิต ที่มีคุณภาพบริสุทธิ์ และ ปลอดภัย (Safety food) จะเป็นคุณประโยชน์ต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค ช่วยลดต้นทุนในการผลิตและช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้นด้วย การปรับปรุงบำรุงดินโดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น การใช้ปุ๋ยคอก การใช้ปุ๋ยหมัก การใช้เศษพืช การใช้จุลินทรีย์ปรับปรุงบำรุงดิน จะช่วยสร้างธาตุอาหาร แก้ไขการขาดสมดุลของจุลินทรีย์ ในดิน ช่วยป้องกันจุลินทรีย์ก่อโรคพืชในดิน ช่วยย่อยอินทรีย์สาร และอนินทรีย์สารในดิน ซึ่ง Wu *et al.* (2005) รายงานการศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพที่มีประกอบไปด้วยแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจน แบคทีเรียที่ช่วยปลดปล่อยฟอสเฟตจากดิน (phosphate solubilizer) และแบคทีเรียที่ช่วยปลดปล่อยโพแทสเซียมจากดิน (potassium solubilizer) รวมทั้ง Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) เพื่อช่วยในการเจริญของข้าวโพดที่ปลูกในเรือนกระจก พบว่า เมื่อผสมจุลินทรีย์ทั้ง 4 กลุ่มคือ AMF คือ *Glomus misseae* หรือ *Glomus intraradices* ในที่มีและไม่มีแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน (N_2 fixer) (*Azotobacter chroococcum*) แบคทีเรียที่ช่วยปลดปล่อยฟอสเฟตจากดินคือ *Bacillus megaterium* และแบคทีเรียที่ช่วยปลดปล่อยโพแทสเซียมจากดินคือ *Bacillus mucilaginous* พบว่า การใช้ AMF ร่วมกับแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด มีผลทำให้ต้นข้าวโพดเจริญเติบโตในด้านของน้ำหนัก ความสูงของการงอกมากที่สุด และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อใส่ปุ๋ยชีวภาพดังกล่าวลงไปในดินเพียงปริมาณเล็กน้อย ก็พบว่า ต้นข้าวโพดมีการเจริญเติบโตได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี ซึ่งการใช้ปุ๋ยชีวภาพนั้นไม่เพียงแต่ทำให้ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการในพืชสูงขึ้นเท่านั้น แต่ยังมีผลในการปรับปรุงคุณภาพดินโดยการเพิ่มปริมาณธาตุต่าง ๆ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม รวมทั้ง

เพิ่มปริมาณสารอินทรีย์และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินอีกด้วย ในทางกลับกัน ในการทดลองนี้ พบว่า พวก AMF มีผลในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ช่วยปลดปล่อยฟอสเฟตจากดินคือ *Bacillus megaterium* ซึ่งมีผลทำให้ดินขาดธาตุฟอสเฟต แต่การเกิดสภาพเช่นนี้มีผลทำให้ส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียพวกที่ตรึงไนโตรเจน และพบ AMF จำนวนมาก ซึ่ง

ปุ๋ยชีวภาพ (Bio fertilizer)

ปุ๋ยชีวภาพ คือปุ๋ยที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ที่สามารถสร้างธาตุอาหาร หรือช่วยให้ธาตุอาหารเป็นประโยชน์กับพืช ปุ๋ยชีวภาพ เป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้ช่วยทดแทนและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมีและสร้างระบบการผลิตทางการเกษตรให้เกิดความยั่งยืน ปุ๋ยชีวภาพ เป็นปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง เพราะมีจุลินทรีย์ซึ่งจะเป็นตัวเร่งการย่อยสลายของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่นำมาผสม ระหว่างการย่อยสลายจะมีสารอินทรีย์ต่างๆ เกิดขึ้นทั้งกรดอินทรีย์ กรดฮิวมิค เอนไซม์ ฮอร์โมน กรดอะมิโน วิตามิน เช่นเดียวกับน้ำสกัดชีวภาพ เมื่อใส่ลงดินที่มีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ไถกลบหรือมีอินทรีย์วัตถุ จุลินทรีย์ในปุ๋ยหมักชีวภาพจะย่อยสลายอินทรียวัตถุในดิน ขณะเดียวกันก็ย่อยสลายส่วนผสมของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในปุ๋ยหมักชีวภาพให้เป็นสารประกอบอินทรีย์ และธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์ต่อต้นพืช ปุ๋ยหมักชีวภาพจึงไม่ใช่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยอินทรีย์ทั่วไปที่ได้รับการแปรสภาพแล้วจากกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์

ประโยชน์ของปุ๋ยหมักชีวภาพ

ปุ๋ยหมักชีวภาพ เป็นปุ๋ยหมักที่มีจุลินทรีย์ เมื่อใส่ลงในดินที่มีสภาวะที่เหมาะสม จุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยสลายเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรืออินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในไร่นา ไม่ว่าจะเป็นพื้นที่นาข้าว พื้นที่เพาะปลูกพืชไร่ พืชผัก และสวนไม้ผล ซึ่งจะได้สารอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต และเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ในดิน ทำให้ดินมีอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น มีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์อาศัยอยู่ในดินมากขึ้น ดินมีคุณสมบัติทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมีเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูก ต้นพืชจะได้รับธาตุอาหาร และสารอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ได้อย่างต่อเนื่อง ในพื้นที่นาข้าว พื้นที่ปลูกพืชไร่ พืชผัก หลังการเก็บเกี่ยวจะมีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลงเหลืออยู่ในไร่นา ในแปลงปลูก ไม่ควรเผาทิ้ง ควรไถกลบเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากภายนอกไร่นา มาใส่ลงในพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มเติม แล้วไถกลบหรือหมักไว้ให้เกิดการย่อยสลาย เป็นการนำอินทรียวัตถุและธาตุอาหารพืชกลับคืนลงสู่ดิน และก่อนไถกลบควรฉีดพ่นด้วยน้ำสกัดชีวภาพ เพื่อช่วยเร่งการย่อย

สลาย อัตราการใช้ปุ๋ยหมักชีวภาพในช่วงการเตรียมดิน ประโยชน์ของปุ๋ยหมักชีวภาพ มีมากมายหลายด้าน เช่น ด้านเกษตรกรรม จะช่วยปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน ช่วยแก้ปัญหาศัตรูพืช ช่วยปรับสภาพดินให้ร่วนซุย อุ้มน้ำ และให้อากาศผ่านอย่างเหมาะสม ช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุให้เป็นอาหารของพืช และช่วยให้ผลผลิตมีคุณภาพสูง ด้านการประมง ช่วยควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ และมีผลทำให้ผลผลิตสูงขึ้น ด้านสิ่งแวดล้อม ช่วยกำจัดกลิ่นเหม็นและย่อยสลายของเสีย

ประโยชน์ที่ได้รับจากเกษตรอินทรีย์

จากผลกระทบของเกษตรเคมีทำให้หลายคนหันมาให้ความสนใจการทำเกษตรที่ปลอดภัยไม่ใช้สารเคมี ซึ่งเกษตรอินทรีย์เป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตดังกล่าว ซึ่งจากการศึกษาของ FAO เกี่ยวกับผลความสำเร็จของฟาร์มที่ปรับเปลี่ยนเข้าสู่ระบบเกษตรอินทรีย์ในการเพิ่มผลผลิต โดยมีการศึกษาข้อมูลจาก 79 โครงการในประเทศกำลังพัฒนา พบว่า ในเขตเกษตรน้ำฝน ผลผลิตต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นราว 50-100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เขตชลประทาน ผลผลิตเพิ่มขึ้น 5-10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการที่เกษตรกรสามารถปรับเปลี่ยนเข้าสู่ระบบเกษตรอินทรีย์โดยที่ผลผลิตไม่ลดลง และกลับเพิ่มมากขึ้นได้นั้น เกิดจากผลของการอนุรักษ์และการปรับปรุงบำรุงดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์และอินทรียวัตถุอย่างจริงจัง ในปี 2550 การผลิตเกษตรอินทรีย์ได้ขยายตัวไปอย่างรวดเร็วกว่า 120 ประเทศทั่วโลกประมาณว่ามีพื้นที่ที่ทำการผลิตในระบบเกษตรอินทรีย์ (ที่มีการรับรองมาตรฐาน) ทั่วโลกราว 193.75 ล้านไร่ (31 ล้านเฮกตาร์) หรือคิดเป็น 0.7 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่การเกษตร (31,325 ล้านไร่)

นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาวิจัยประโยชน์ที่ได้รับจากการทำเกษตรอินทรีย์อื่น ๆ ซึ่งอาจพอสรุปได้ดังนี้

1. ด้านสิ่งแวดล้อม

- ความหลากหลายทางพันธุกรรม ได้ทำการรวบรวมและเปรียบเทียบงานวิจัย 33 เรื่อง ได้ข้อสรุปว่า เกษตรอินทรีย์นำไปสู่การสร้างความหลากหลายทางชีวภาพ โดยเฉพาะ นก พันธุ์พืช และแมลง นอกจากนี้ยังทำให้ห่วงโซ่อาหารที่ถูกทำลายไปโดยสารเคมีกลับฟื้นคืน ทำให้มีอาหารจากธรรมชาติ เช่น กุ้ง หอย ปู ปลา ฯลฯ

- ความอุดมสมบูรณ์ของดิน จากการวิจัยในแคลิฟอร์เนีย พบว่า ธาตุไนโตรเจนที่มีประโยชน์ (nitrogen mineralization potential) ในระบบเกษตรอินทรีย์สูงกว่าเกษตรทั่วไปถึง 3 เท่าและมีคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (organic carbon) สูงกว่าถึง 28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดปริมาณของอินทรียวัตถุในดิน และทำให้การเกิดโรคต่อพืชลดลง นอกจากนี้ในงานวิจัยอื่นยัง

แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์สามารถเพิ่มไนโตรเจนในดิน (soil nitrogen) 7-15 เปอร์เซ็นต์

- ผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ จากการศึกษาของ IFOAM พบว่า เกษตรอินทรีย์สามารถลดก๊าซเรือนกระจก และมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนเมื่อพบกับความแปรปรวนของอากาศได้ดีกว่า

- การจัดการน้ำและของเสีย เกษตรอินทรีย์สามารถจัดการของเสียได้ดีกว่าโดยผ่านการปฏิบัติ ได้แก่ การคลุมดินด้วยเศษพืช (mulching) เป็นต้น นอกจากนี้การทำเกษตรอินทรีย์ยังไม่มีความเสี่ยงต่อปัญหาน้ำปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตร ในขณะที่การใช้มูลสัตว์แทนปุ๋ยเคมีรวมทั้งการทำปุ๋ยหมักยังช่วยลดการรั่วไหลของมูลสัตว์ลงในแหล่งน้ำอีกด้วย

2. ด้านสุขภาพ

เกษตรกรเกือบทั้งหมดที่ต้องใช้สารเคมีการเกษตรมักมีปัญหาสุขภาพเรื้อรังอยู่ตลอดเวลา ในขณะเดียวกันผู้บริโภคเองก็มีโอกาสที่จะได้รับสารเคมีการเกษตรที่ตกค้างอยู่ในอาหารได้ค่อนข้างมากเช่นกัน

แม้ว่าในระบบการผลิตเกษตรอินทรีย์ จะปฏิเสธการใช้สารเคมีการเกษตรทุกชนิด และในมาตรฐานการตรวจรับรองเกษตรอินทรีย์มีข้อกำหนดเกี่ยวกับการป้องกันการปนเปื้อนของสารเคมีการเกษตรและมลพิษจากภายนอก แต่ในทางปฏิบัติก็อาจจะยังคงสามารถพบสารเคมีการเกษตรปนเปื้อนในผลผลิตเกษตรอินทรีย์ ซึ่งในทางเกษตรอินทรีย์ก็ยอมรับความจริงในข้อนี้ เพราะสิ่งแวดล้อมโดยรวมทั่วโลกถูกปนเปื้อนจากสารเคมีการเกษตรทั้งสิ้น อย่างไรก็ตามการปนเปื้อนของสารเคมีการเกษตรในผลผลิตเกษตรอินทรีย์ควรจะอยู่ในระดับต่ำกว่าผลผลิตทั่วไป

นอกจากผลผลิตเกษตรอินทรีย์จะมีความปลอดภัยมากกว่าผลผลิตทั่วไปแล้วประโยชน์ต่อสุขภาพโดยตรงที่ผู้บริโภคได้จากการบริโภคอาหารเกษตรอินทรีย์ก็คือ คุณค่าทางโภชนาการ คุณค่าทางโภชนาการของผลผลิตเกษตรอินทรีย์สูงกว่าผลผลิตทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจาก 2 ปัจจัยสำคัญ คือ

1) การปรับปรุงบำรุงดินในระบบเกษตรอินทรีย์ ซึ่งทำให้พืชเกษตรอินทรีย์มีระบบเมตาโบลิซึมที่ดีกว่า ส่งผลให้ผลผลิตเกษตรอินทรีย์มีวิตามินซี ธาตุเหล็ก แมกนีเซียม และฟอสฟอรัสที่สูงกว่าผลผลิตที่ไม่ใช่เกษตรอินทรีย์ รวมทั้งมีไนเตรทและโลหะหนักตกค้างที่น้อยกว่า ในขณะเดียวกันปริมาณโปรตีนในผลผลิตเกษตรอินทรีย์ไม่แตกต่างกับผลผลิตทั่วไป

2) ผลผลิตเกษตรอินทรีย์มีปริมาณน้ำในผลผลิตต่ำกว่า (เฉลี่ย 20 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งทำให้มวลแห้ง (drymatter) สูงกว่าผลผลิตทั่วไป ส่งผลให้ผลผลิตเกษตรอินทรีย์มีปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ในสัดส่วนที่มากกว่าผลผลิตทั่วไป

3. ความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารในดิน

"ความอุดมสมบูรณ์ของดิน" ถือได้ว่าเป็นหัวใจของเกษตรอินทรีย์ ผิวดินในระบบนิเวศป่าธรรมชาติจะมีเศษซากพืชและใบไม้ปกคลุมอยู่ตลอดเวลา ซึ่งอินทรียวัตถุที่คลุมดินนี้นอกจากจะช่วยป้องกันการกัดเซาะและการพังทลายของหน้าดินแล้ว ยังมีส่วนสำคัญที่ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น เพราะอินทรียวัตถุเหล่านี้เป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตและจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน ดังนั้น การมีอินทรียวัตถุคลุมหน้าดินจึงทำให้ "ดินมีชีวิต" ขึ้น ซึ่งเมื่ออินทรียวัตถุเหล่านี้ย่อยสลายผุพัง (โดยการทำงานของสิ่งมีชีวิตและจุลินทรีย์ในดิน) ก็จะทำให้เกิดฮิวมัสซึ่งทำให้ดินร่วนซุย และสามารถเก็บกักน้ำและธาตุอาหารต่างๆ ได้เพิ่มมากขึ้น ดินจึงมีความชื้นอยู่ตลอดเวลา และมีธาตุอาหารเพียงพอให้กับพืชพรรณในบริเวณดังกล่าวเจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์แข็งแรง ดังนั้นหลักการของการทำเกษตรอินทรีย์จึงจำเป็นต้องหาอินทรียวัตถุต่าง ๆ มาคลุมหน้าดินอยู่เสมอ ไม่ว่าจะเป็นฟาง ใบไม้ หรือแม้แต่พืชขนาดเล็ก (เช่น พืชที่ใช้ปลูกคลุมดิน) ซึ่งอินทรียวัตถุ เหล่านี้จะกลายเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตและจุลินทรีย์ในดิน ทำให้ดินฟื้นกลับมามีชีวิตอีกครั้งหนึ่ง นอกจากนี้การไม่ใช้สารเคมีต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและจุลินทรีย์ในดิน (เช่น สารเคมีกำจัดศัตรูพืช) เป็นการช่วยทำให้ดินสามารถฟื้นความอุดมสมบูรณ์ของตัวเองได้อย่างรวดเร็ว เมื่อดินมีความสมบูรณ์พืชที่ปลูกก็แข็งแรง มีความต้านทานต่อโรคและแมลง รวมทั้งให้ผลผลิตสูง

คุณสมบัติของอาหารเลี้ยงเชื้อทั้ง 7 ชนิด

1. Plate count agar (PCA)

เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้สำหรับการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ส่วนประกอบของอาหารประกอบไปด้วย Tryptone 5 กรัม เป็นแหล่งไนโตรเจนของแบคทีเรีย Yeast extract 2.5 กรัม เป็นแหล่งของคาร์บอน ไนโตรเจนและวิตามิน สำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ทั่วไป กลูโคส 1 กรัม เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ วุ้น 15 กรัม น้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

2. Carboxymethylcellulose agar (CMC)

เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้สำหรับการคัดแยกจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ ส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อประกอบไปด้วย Carboxymethylcellulose 5 กรัม เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ Yeast extract 1 กรัม เป็นแหล่งของคาร์บอน ไนโตรเจนและวิตามิน สำหรับช่วยในการเจริญของจุลินทรีย์ $(NH_4)_2SO_4$ เป็นInorganic nutrient และเป็นแหล่งไนโตรเจนของจุลินทรีย์ วุ้น 15 กรัม น้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

3. Nitrogen free medium (NFM)

เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้สำหรับการคัดแยกจุลินทรีย์ที่สามารตรึงไนโตรเจนได้จากอากาศ ส่วนประกอบของอาหารประกอบไปด้วย $CaCl_2.2H_2O$ 0.1 กรัม, K_2HPO_4 1 กรัม, $MgSO_4.7H_2O$ 0.2 กรัม และ $FeSO_4.7H_2O$ 0.05 กรัม เป็นแหล่งของ Inorganic nutrient ใช้เป็นแหล่งของคาร์บอนและเกลือแร่ กลูโคส 10 กรัม เป็นแหล่งของพลังงาน วุ้น 15 กรัม น้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

4. Internation streptomyces project 2 (ISP2)

เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้สำหรับการคัดแยกจุลินทรีย์เฉพาะในกลุ่มจำพวกของแอคติโนมัย-สีท ส่วนประกอบของอาหารประกอบไปด้วย Malt extract 10 กรัม เป็นแหล่งของไนโตรเจน Yeast extract 4 กรัม เป็นแหล่งของคาร์บอน ไนโตรเจนและวิตามิน สำหรับช่วยในการเจริญของจุลินทรีย์ กลูโคส 4 กรัม เป็นแหล่งของพลังงานของจุลินทรีย์ วุ้น 15 กรัม น้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

5. Pikovskaya' s medium (Kucey, 1963)

เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้สำหรับการคัดเลือกแบคทีเรียที่สามารถละลายฟอสเฟตในดิน ส่วนประกอบของอาหารประกอบไปด้วย $Ca(PO_4)_2$ 5 กรัม เป็นเหล่งของฟอสเฟต $(NH_4)_2SO_4$ 0.5 กรัม, KCl 0.2 กรัม, $MgSO_4.7H_2O$ 0.1กรัม, $MnSO_4$ และ $FeSO_4$ เล็กน้อย เป็นแหล่งของ Inorganic nutrient ใช้เป็นแหล่งของคาร์บอนและเกลือแร่ Yeast extract 0.5 กรัม เป็นแหล่งของคาร์บอน กลูโคส10 กรัม เป็นแหล่งของพลังงาน วุ้น 15 กรัม น้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

6. Czapek' s medium (ดัดแปลง Atlas, 1993)

เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้สำหรับการคัดแยกจุลินทรีย์เฉพาะในกลุ่มจำพวกของเชื้อรา ส่วนประกอบของอาหารประกอบไปด้วย $NaNO_3$ 2 กรัม เป็นแหล่งของไนเตรท $CaHPO_4.H_2O$ 1 กรัม, KCl 1.4 กรัม, $MgSO_4.7H_2O$ 0.5 กรัม, $FeSO_4.7H_2O$ 0.01 กรัม เป็นแหล่งของ Inorganic nutrient ใช้เป็นแหล่งของคาร์บอนและเกลือแร่ ซูโครส 30 กรัม เป็นแหล่งของพลังงาน วุ้น 15 กรัม น้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

7. Aleksandrov medium (Hu *et al.*, 2006)

เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้สำหรับการคัดแยกจุลินทรีย์ที่สามารถละลายโพแทสเซียม ส่วนประกอบของอาหารประกอบไปด้วย Calcium carbonate 2 กรัม, $CaSO_4$ 2 กรัม เป็นแหล่งของแคลเซียม KCl 2 กรัม เป็นแหล่งของโพแทสเซียม $MgSO_4.7H_2O$ 0.05 กรัม, $FeCl_3$ 0.1 กรัม

เป็นแหล่งของ inorganic nutrient ใช้เป็นแหล่งของคาร์บอนและเกลือแร่ กลูโคส 5 กรัม เป็นแหล่งของพลังงาน วุ้น 15 กรัม น้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

วิธีการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยทั่วไปมี 4 วิธีคือ

1. การวิเคราะห์ดิน (soil analysis)
2. การสังเกตอาการขาดธาตุอาหารของพืช (nutrient deficiency symptom)
3. การวิเคราะห์พืช (plant analysis)
4. การทดสอบโดยใช้พืชปลูกทดลองในกระถางและในไร่นา (biological test)

หลักการและขั้นตอนการวิเคราะห์ดิน

1. หลักการสำคัญในการวิเคราะห์ดินมี 2 ประการคือ

1.1 การสกัด คือ การละลายธาตุอาหารที่คาดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อพืช ออกมาทั้งหมด หรือออกมาในปริมาณที่เป็นสัดส่วนที่แน่นอนกับปริมาณที่พืชใช้ประโยชน์ได้จริง โดยใช้น้ำยาสกัดซึ่งเป็นสารละลายที่เหมาะสม

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณ คือการนำน้ำยาที่สกัดได้จากดินมาวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุอาหารแต่ละชนิดโดยใช้เครื่องมือที่อ่านค่าได้ละเอียดมีความแม่นยำและแน่นอน

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ดิน ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

2.1 การเก็บตัวอย่างดิน เป็นขั้นตอนแรกที่มีความสำคัญที่สุด เนื่องจากตัวอย่างดินที่เก็บจะต้องเป็นตัวแทนที่ดีของพื้นที่ทั้งหมด จึงควรแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อยที่มีขอบเขตชัดเจน โดยภายในแปลงย่อยเดียวกันควรมีความแตกต่างกันน้อยที่สุด หรือไม่มีเลย

2.2 การวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ เป็นการวิเคราะห์ดินด้วยวิธีมาตรฐานเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้อง

2.3 การแปลความหมายของผลการวิเคราะห์ดิน เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับผลการวิจัยที่มีผู้ศึกษามาก่อน แล้วแปลข้อมูลนั้นว่าดินมีความอุดมสมบูรณ์ในระดับใด

2.4 การให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ย หรือการปรับปรุงดิน การให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีการจัดการที่ทำให้ได้ผลตอบแทนสงในการปลูกพืช เช่น คำแนะนำเกี่ยวกับชนิดอัตราและวิธีการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม

การเพาะปลูกเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุดจำเป็นจะต้องคำนึงถึงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งจะหมายถึง ความสามารถของดินในการปลดปล่อยธาตุอาหารรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ครบทุกธาตุในปริมาณที่เพียงพอและสมดุลกันตามที่พืชต้องการ การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินคือ วิธีการที่จะทำให้ทราบว่าระดับธาตุอาหารพืชในดินมีปริมาณเท่าใดและเพียงพอ กับความต้องการของพืชหรือไม่

การเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์

การเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างที่นิยมทำกันมีอยู่ 2 ประเภท ประเภทแรก เป็นการเก็บตัวอย่างดินเพื่อใช้ในการจำแนกดิน และประเภทที่ 2 เป็นการเก็บตัวอย่างดินเฉพาะหน้าดิน เพื่อใช้ตรวจวิเคราะห์ สำหรับประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน หรือเพื่อนำมาใช้แนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับพืชที่ต้องการปลูก

การเก็บตัวอย่างดิน เพื่อใช้ในการจำแนกดินตามปกติจะเก็บจากหลุมที่กว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร และลึก 2 เมตร และลึก 2 เมตร การเก็บตัวอย่างดิน จะเก็บตามชั้นดิน (soil horizon) ซึ่งได้มาจากการทำคำบรรยายหน้าตัดดินตามระบบมาตรฐานสากล ตัวอย่างที่เก็บส่งห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย

1. ตัวอย่างดินรวม (composite samples) หรือตัวอย่างดินที่เปลี่ยนสภาพ (disturbed soil samples) เป็นตัวอย่างที่เก็บโดยทั่ว ๆ ไปจากแต่ละชั้นดินใส่ลงในถุงเก็บตัวอย่างดิน ตัวอย่างดินนี้จะใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของดินทางกายภาพ เคมี และทางแร่

2. ตัวอย่างดินสภาพธรรมชาติ (undeisturbed soil samples) เป็นตัวอย่างที่เก็บโดยให้มีดินในสภาพที่ใกล้เคียงกับที่อยู่ในสภาพธรรมชาติมากที่สุด การเก็บตัวอย่างดินจำเป็นต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ โดยปกติจะใช้กล่องเก็บตัวอย่างดิน ซึ่งมี 2 แบบ คือแบบกระบอกกลม (core) และแบบกล่องสี่เหลี่ยมที่ เรียกว่า Kubiena box แต่ถ้าไม่มีก็ใช้ภาชนะอื่น ๆได้ ข้อสำคัญคือพยายามให้ตัวอย่างดินตามธรรมชาตได้รับการกระทบกระเทือนน้อยที่สุด และตัวอย่างดินมีขนาดพอสมควร ตัวอย่างดินนี้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาสมบัตของดินทางกายภาพบางอย่าง รวมถึงการศึกษาทางจุลสัณฐานของดิน และแร่บางชนิดในดิน

การเตรียมตัวอย่างดิน

เมื่อนำตัวอย่างดินมาถึงห้องปฏิบัติการแล้วให้เลขตัวอย่างดิน นำดินออกผึ่งโดยเกลี่ยดินในถาด การผึ่งดินนั้นต้องผึ่งในห้องที่สะอาด ไม่มีฝุ่นคลุ้ง หรือปนเปื้อนด้วยปุ๋ย หรือสารเคมี

เลือกเศษพืช หรือเศษกรวดหินออกทิ้งให้หมดเท่าที่จะทำได้ เมื่อดินแห้งแล้งแล้วบดด้วยเครื่องบดดิน แล้วร่อนดินที่บดด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ส่วนของดินที่ค้างบนตะแกรงนำไปบดอีกจนหมดเก็บตัวอย่างที่บดแล้วนี้ใส่ถุงพลาสติก กล่องกระดาษ หรือขวดพลาสติก เขียนเลขที่ตัวอย่างดินที่เก็บวิเคราะห์

วิธีวิเคราะห์ปฏิกิริยาของดิน (soil reaction; pH)

ปฏิกิริยาของดิน หมายถึง ความเป็นกรด (acidity) หรือความเป็นด่าง (alkalinity) ของดิน การที่ดินมีสภาพเป็นกรด หรือเป็นด่าง เป็นเพราะ hydrogen ion (H^+) ในสารละลายดิน ถ้าในสารละลายดินมี $H^+ > OH^-$ ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรด ถ้า $H^+ < OH^-$ ดินมีปฏิกิริยาเป็นด่าง และถ้า $H^+ = OH^-$ ดินมีปฏิกิริยาเป็นกลาง การวิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน นิยมวัดเป็นค่า pH เรียกว่า มาตราพีเอช (pH scale) ที่บ่งบอกเป็นตัวเลขซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ H+ มากกว่าการใช้ความเข้มข้นของ H^+ โดยตรงเป็นดรรชนีของความเป็นกรดและความเป็นด่าง

การวัด pH ของดิน ในห้องปฏิบัติการทดลองใช้วัดด้วยเครื่อง pH meter หลักการเหมือนกับการวัด pH โดยทั่วไป แต่การวัด pH ของดินใช้สารละลายได้หลายชนิด เป็นต้นว่าวัดในน้ำ ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ หรือโซเดียมฟลูออไรด์ การใช้สารละลายต่างชนิดกัน จะเป็นตัวชี้บอกคุณสมบัติบางอย่างของดินนั้น ๆ เมื่อต้องการทราบเพียงว่าดินมี pH เป็นกรด หรือด่าง การวัดใช้วัดในน้ำ ในอัตราส่วนของดินต่อน้ำต่าง ๆ กัน ตั้งแต่อัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:2.5, 1:5 ผู้วัดจะเลือกใช้อัตราส่วนใดก็ได้ แต่มีข้อสังเกตว่าปริมาณสัดส่วนของน้ำที่ต่างกันจะมีผลต่อค่า pH ที่วัดได้ ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินโดยทั่วไปมักใช้สัดส่วนดินต่อน้ำเป็น 1:1 หรือ 1:2 ในกรณีที่ต้องการทราบว่าความเป็นกรดของดินเกิดจากปริมาณ Al^{3+} ในดิน หรือจาก H^+ มักใช้วัด pH ในสารละลายของ KCl ความเข้มข้น 1N ในอัตราส่วน 1:1

วิธีที่นิยมใช้ในการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ของดินมี 2 วีคือ วิธีที่นิยมใช้ในสนามคือวิธี Colorimetric method ซึ่งส่วนใหญ่ใช้สารประกอบอินทรีย์ที่ให้สีเฉพาะเจาะจงเมื่อสัมผัสกับดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง หนึ่ง ๆ และนำไปเทียบกับ chart สีมาตรฐานของ pH indicator แต่ละชนิด ซึ่งค่าที่เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น ส่วนวิธีที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการคือ วิธี Electrometric หรือ potentiometric method ใช้เครื่องมือ pH meter จากหลักการความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้า (glass electode) สองอันที่จุ่มอยู่ในสารละลายดิน ซึ่งผันแปรโดยกลับกับความเข้มข้นของ H^+ อิสระที่อยู่ในสารลลาลายความสัมพันธ์นี้ถูกนำมาดัดแปลงให้อ่านออกมาเป็นค่าความเป็นกรด-ด่าง บนหน้าปัดของ pH meter ระดับความรุนแรงของความเป็นกรด-ด่างของดิน แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับความรุนแรงของความเป็นกรด-ด่างของดิน (soil reaction) , pH (ดิน : น้ำ = 1: 1) (Land Classification Division และ FAO project staff, 1973; Soil survey division staff, 1993)

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
เป็นกรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid)	< 3.5
เป็นกรดรุนแรงมาก (extremely acid)	3.5-4.5
เป็นกรดจัดมาก (very strongly acid)	4.6-5.0
เป็นกรดจัด (strongly acid)	5.1-5.5
เป็นกรดปานกลาง (moderately acid)	5.6-6.0
เป็นกรดเล็กน้อย (slightly alkaline)	6.1-6.5
เป็นกลาง (neutral)	6.6-7.3
เป็นด่างเล็กน้อย (slightly alkaline)	7.4-7.8
เป็นด่างปานกลาง (moderately alkaline)	7.9-8.4
เป็นด่างจัด (Strongly alkaline)	8.5-9.0
เป็นด่างจัดมาก (very strongly alkaline)	>9.0

ที่มา: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547)

อินทรียวัตถุในดิน (organic matter; OM)

อินทรียวัตถุในดิน หมายถึง อินทรีย์สารทุกชนิดที่มีอยู่ในดินซึ่งได้จากซากพืช ซากสัตว์ และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในดิน สิ่งขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์ สลายตัวทับถมอยู่ในดิน รวมถึงอินทรียสารที่รากพืชปลดปล่อยออกมา และที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ (สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2547) สารประกบอเนทรีย์ในดิน (organic compounds of soil) หมายถึงสิ่งมีชีวิตและซากสิ่งมีชิวิตที่ยังไม่เน่าเปื่อย ที่เน่าเปื่อยไปบางส่วนและที่เน่าเปื่อยสมบูรณ์แล้ว รวมทั้งผลผลิตทีได้จากการแปรสภาพแล้ว ประกอบด้วย

-จุลินทรีย์ที่ดำรงชีพในดิน (living organisms) ทั้งจุลินทรีย์ขนาดใหญ่และเล็ก

-อินทรียวัตถุในดิน (organic matter) องค์ประกอบที่ปลอดสิ่งมีชีวิต เป็นสารผสมประกอบด้วยผลิตผลส่วนใหญ่ที่เกิดจากการแปรรูปของซากสารอินทรีย์ ทั้งโดยการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมี

หน้าที่ของอินทรียวัตถุในดิน ได้แก่ หน้าที่ทางด้านอาหารพืช เป็นแหล่งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส สำหรับการเจริญเติบโตของพืช หน้าที่ทางด้านชีววิทยา มีผลอย่างมากต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่ดำรงชีพกับพืชและสัตว์ หน้าที่ด้านฟิสิกส์ และเคมี-ฟิสิกส์ คือการช่วย

เสริมโครงสร้างดินให้ดีขึ้นจึงเป็นการปรับปรุงการไถพรวนให้เกิดประโยชน์มากขึ้น เพิ่มอากาศและกักเก็บความชื้น และเพิ่มประจุความสามารถของดินในการแลกเปลี่ยน เกลือ แร่ธาตุ และการปรับสมดุลกรด-ด่าง

อินทรียวัตถุ (organic matter) มีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการเกิดธาตุอาหารพร้อมใช้เพื่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากเป็นแหล่งบริการอาหารพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์โดยผ่านการแปรสภาพเป็นแร่ธาตุโดยจุลินทรีย์ในดินแล้วอินทรียวัตถุยังมีอิทธิพลต่อการให้อาหารพืชจากแหล่งอื่นด้วย เช่น อินทรียวัตถุเป็นที่ต้องการเพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำหรับจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ตรึงไนโตรเจน เป็นต้น

ตัวอย่างดิน อินทรียวัตถุในดินประกอบด้วยอินทรียสารหลายชนิด คือพวกสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน สารประกอลอินทรีย์ฟอสฟอรัส สารประกอบอินทรีย์กำมะถัน เป็นต้น และเมื่ออินทรีย์วัตถุสลายตัวโดยจุลินทรีย์ถึงขั้นสุดท้ายจะได้ฮิวมัส (humus) ซึ่งเป็นอินทรีย์ประกอบเชิงซ้อนที่ประกอบขึ้นจากสารกลุ่มต่าง ๆ เช่น methyl phenolic, quinone และ carboxylic groups ที่มีอยู่ในดิน ฮิวมัส แบ่งได้เป็น สองส่วน คือ humic acid และ fulvic acid ฮิวมัสนี้ไม่ใช่สารที่คงทนถาวร จุลินทรีย์ในดินทำให้สลายตัวได้ เช่นเดียวกับอินทรียสารอื่นที่มีอยู่ในดินแต่อัตราการสลายตัวของฮิวมัสจะช้ากว่าการสลายตัวของอินทรียสารที่เป็นต้นกำเนิดของฮิวมัส ฮิวมัสเป็นของแข็งที่มีอนุภาคละเอียดมากมีบทบาทสำคัญคือมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity) สูงสามารถดูดซับน้ำได้ดี และมีบทบาทสำคัญต่อการเกาะยึดกันเป็นเม็ดของอนุภาคดิน ระดับอินทรียวัตถุ แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระดับอินทรียวัตถุ (organic matter) (% organic carbon X 1.724)

ระดับ (ชั้นคุณภาพ)	พิสัย (ร้อยละ)
ต่ำมาก (VL)	< 0.5
ต่ำ (L)	0.5–1.0
ค่อนข้างต่ำ (ML)	1.0–1.5
ปานกลาง (M)	1.5–2.5
ค่อนข้างสูง (MH)	2.5–3.5
สูง (H)	3.5–4.5
สูงมาก (VH)	> 4.5

ที่มา: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available phosphorus, P)

ความสำคัญของธาตุฟอสฟอรัสต่อพืช ได้แก่ เป็นองค์ประกอบของสารที่สำคัญในพืชหลายชนิด เช่น เป็นองค์ประกอบสำคัญของ นิวคลีโอโปรตีน ฟอสโฟลิพิด เป็นองค์ประกอบของแหล่งพลังงาน ของพืช ช่วยเคลื่อนย้ายพลังงานในพืช และกรดนิวคลีอิค เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด เป็นต้น

หน้าที่ของฟอสฟอรัส ทำให้ลำต้นแข็งทำให้ลำต้นแข็งแรงไม่ล้มง่ายและต้านทานโรค ฟอสฟอรัสช่วยให้รากพืชสามารถใช้โพแทสเซียมได้ดีขึ้น ช่วยแก้ผลเสียเนื่องจากพืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไป ส่งเสริมการเจริญเติบโตระยะแรกของรากฝอย รากแขนง ช่วยเร่งให้พืชแก่เร็ว โดยช่วยในการออกดอกออกผลและการสร้างเมล็ดของพืช ทำให้ผลผลิตของพืชมีคุณภาพดี ช่วยเพิ่มความต้านทานโรคบางชนิด มีประโยชน์ในการเร่งการเจริญเติบโตของรากทำให้รากขยายยืด ส่งเสริมการเจริญของรากฝอยและ รากแขนง ช่วยการออกดอกและสร้างเมล็ด ต้นอ่อน ช่วยในการสังเคราะห์แสง สร้างแป้งและน้ำตาล ช่วยให้พืชดูดไนโตรเจน โพแทสเซียม และโมลิบดินัม ได้ดีขึ้น ฟอสเฟตในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในสารละลายในดิน พวกนี้มักจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ในทุกสภาพของความเป็นกรดด่าง เช่น ถ้าดินเป็นกรด ฟอสเฟตจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับเหล็ก หรือ อะลูมิเนียมไปเป็นเหล็กหรือ อะลูมิเนียมฟอสเฟตที่พืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้ หรือถ้าดินเป็นด่างจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับแคลเซียมและแมกนีเซียม เปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมหรือแมกนีเซียมฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำพืชนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้เช่นกัน เพื่อให้ฟอสฟอรัสหรือฟอสเฟตเป็นประโยชน์ต่อพืช จึงควรรักษาให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับสูงและระดับความเป็นกรดด่างของดินควรอยู่ในช่วงประมาณ 6.0-7.0 รูปที่ฟอสฟอรัสจะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ คือ orthophosphate ($H_2PO^-_4$) และ dibasic orthophosphate (HPO_4^{2-}) พืชต้องการฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการเจริญเติบโตของพืช ในขณะที่พืชกำลังสร้างกิ่งก้านสาขาแต่ยังน้อยมากเมื่อเทียบกับไนโตรเจนและต้องการมากยิ่งขึ้นเมื่อพืชเริ่มออกดอกและสร้างเมล็ดจนถึงเมล็ดแก่ หลังจากนั้น พืชจะต้องการฟอสฟอรัสน้องลงตามลำดับจนถึงไม่ต้องการเลยเมื่อพืชแก่เต็มที่จนถึงเมล็ดแก่ หลังจากนั้นพืชจะต้องการฟอสฟอรัสน้อยลงตามลำดับจนถึงไม่ต้องการเลยเมื่อพืชแก่เต็มที่ หากพืชขาดหรือได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช รากพืชจะไม่เจริญ มีรากฝอยน้อยและรากจะผอม บาง สั้น และมีจำนวนน้อย ต้นแคระแกรน การเจริญเติบโตจะหยุดชะงัก ใบมีสีแดงแซมเนื่องจากพืชมีการสังเคราะห์รงควัตถุ แอนโทไซยานิน เพิ่มขึ้น จึงทำให้สีของใบกลายเป็นสีม่วงเข้ม โดยเฉพาะเกิดที่ใบแก่ การออกดอกช้า มีขนาดเล็ก การติดเมล็ดน้อย และจำนวนลดลง พืชหักล้มได้ง่าย

ชนิดของสารประกอบฟอสฟอรัสในดิน แยกออกเป็น 2 ประเภท คือ สารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัส เป็นสารที่ประกอบด้วยโมเลกุลใหญ่ ๆ ของสารอินทรีย์ที่ทำหน้าที่คล้ายแคตไอออนที่มาแทนที่ H ของกรดออโทฟอสฟอริก โดยโมเลกุลของสารอินทรีย์และอนุมูลฟอสเฟตมีการจับตัวกันในลักษณะเช่นเดียวกับการจับตัวระหว่างโมเลกุลของกรดกับแอลกอฮอล์ โดยทั่วไป สารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินชั้นบนที่มีการทับถมของเศษซากพืช หรือตะกอนที่ถูกพัดพา รูปของสารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน ได้แก่ inositol phosphates ซึ่งพบประมาณร้อยละ 30-45 ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน กรดนิวคลีอิก ซึ่งพบโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 2 ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน ฟอสโฟลิพิด พบเป็นปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 1 ของ อินทรีย์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน และอินทรีย์ฟอสฟอรัสอื่น ๆ ที่ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสารประกอบชนิดใดซึ่งพบเป็นปริมาณมากกว่า ร้อยละ 62 ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน สารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ได้แก่ เกลือฟอสเฟตซึ่งเกิดจากแคตไอออนต่าง ๆ เข้าแทนที่ H อะตอมของกรดฟอสฟอริก จำนวน 1,2 หรือ 3 อะตอมก็ได้ ดินที่ใช้ทำการเกษตรกรรมโดยทั่วไปซึ่งเป็นดินแร่ธาตุโดยเฉพาะในดินล่างจะพบอนินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นปริมาณมากกว่า ร้อยละ 95 ของฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน

แหล่งสำคัญของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ได้แก่ ซากพืชที่ใส่ลงในดิน ฟอสฟอรัสในซากพืชจะถูกจุลินทรีย์ดินย่อยสลายให้อยู่ในรูปของฮิวมัสในดิน และหากฟอสฟอรัสในซากพืชมีมากเกินความต้องการของจุลนทรีย์ ฟอสฟอรัสในรูปของอนินทรีย์ฟอสเฟตส่วนที่เหลือจะถูกปลดปล่อยออกมาให้พืชใช้ได้ อินทรีย์ฟอสฟอรัสในฮิวมัส อินทรีย์ฟอสฟอรัสในฮิวมัสจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายต่อไปเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัสอย่างช้า ๆ อย่างไรก็ตาม อินทรีย์ฟอสฟอรัสที่พบในดินที่ใช้ทำการเพาะปลูกทั่วไปมักมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับแหล่งที่มาอื่น ๆ ของฟอสฟอรัสในดิน ดังนั้น อินทรีย์ฟอสฟอรัสในฮิวมัสจึงเป็นแหล่งที่มาจของฟอสฟอรัสที่มีความสำคัญน้อยมากในดิน แร่ฟอสเฟตในดิน อาจแบ่งตามความเป็นประโยชน์ได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ช้ามาก (very slow available phosphate) เช่น แร่อะพาไทต์ เหล็กฟอสเฟต แมงกานีสฟอสเฟต และอะลูมินัมฟอสเฟตที่มีอายุมาก ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ค่อนข้างช้า slowly available phosphate) ได้แก่ อนุมูลฟอสเฟตที่อยู่ในสารละลายดิน และฟอสเฟตที่อยู่ในรูป CH_2PO_4, $CaHPO_4.2H_2O$ และ $CaHPO_4$ เป็นต้น ปุ๋ยฟอสเฟต ได้แก่ ปุ๋ยคอกต่าง ๆ ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำมากประมาณร้อยละ 0.1-0.4 แร่หรือหินฟอสเฟต ซึ่งมีฟอสเฟตที่ละลายได้ในน้ำและในกรดซิตริกเป็นปริมาณน้อยแม้จะมีฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงถึงร้อยละ 36 จึงมีความเป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยฟอสเฟตที่ผ่านกระบวนการแปรสภาพทางเคมี โดยการทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถัน หรือกรด

ฟอสฟอริกซึ่งจะได้ปุ๋ยซุเปอร์ฟอสเฟตชนิดต่าง ๆ ที่ละลายได้ดีในน้ำและในกรดซิตริก ซึ่งมีความเป็นประโยชน์ต่อพืชสูง อย่างไรก็ตาม เมื่อใส่ปุ๋ยเหล่านี้ลงไปในดิน ฟอสเฟตที่ละลายได้ง่ายจากปุ๋ยก็มีโอกาศที่จะถูตรึงในดินทำให้ความเป็นประโยชน์ต่อพืชลดลงอย่างมาก แต่ส่วนของปุ๋ยที่ตกค้างอยู่ในดินนั้นจะกลับมาเป็นประโยชน์ต่อพืชที่ปลูกตามมาได้อีกซึ่งเรียกว่า ผลตกค้างของปุ๋ย (residual effect)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารพืชธาตุหนึ่งที่พืชต้องการเป็นปริมาณมาก และจะมีอยู่ในดินต่ำมากโดยมีค่าเพียง 0.06 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับไนโตรเจนที่มี 0.14 และ โพแทสเซียม 0.83 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินอยู่ในรูปอนุมูลฟอสเฟตคือ $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-} ซึ่งได้จากกระบวนการแปลสภาพของอินทรียวัตถุ และจากการละลายของสารประกอบฟอสเฟตต่างในดิน ออกมาอยู่ในสารละลายดิน (soil solution) ซึ่งอยู่ในสภาพสมดุลกัน เมื่อพืชดูดดึงฟอสเฟตในสารละลายดินไปใช้จะทำให้ปริมาณในส่วนนี้ลดลง ฟอสเฟตในส่วนของแข็งในดินจะถูกปลดปล่อยออกมาเพื่อชดเชย ซึ่งอัตราการสลายตัวของฟอสเฟตออกมาอยู่สารละลายดินจะช้า หรือเร็วขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบฟอสเฟตในดิน

วิธีวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อทราบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน นิยมใช้สารละลายชนิดต่าง ๆ ทั้งที่เป็นด่างและเป็นกรดทั้งนี้ขึ้นกับการศึกษาวิจัยกันมาแล้วว่าสารละลายชนิดใดเมื่อสกัดปริมาณฟอสฟอรัสในดินกันมาแล้วว่า สารละลายชนิดใดเมื่อสกัดปริมาณฟอสฟอรัสในดินแล้วมีความสัมพันธ์มากที่สุดกับฟอสฟอรัสที่พืชสามารถดึงดูดไปใช้หรือกับผลผลิตของพืช สารละลายที่ใช้สกัดดินในห้องปฏิบัติการนี้ใช้วิธีของ Bray II ซึ่งประกอบด้วย 0.1 NHCl และ 0.03 N NH_4F ซึ่งความเป็นกรดของสารละลายนี้ จะช่วยละลายฟอสเฟตบางส่วนของแข็งในดินออกมา และ F^- ในสารละลายสกัดจะช่วยแทนที่ฟอสเฟตไอออนที่ถูกดูดยึดอยู่ที่ผิวของ soil colloid ให้ออกมาอยู่ในรูปที่ละลาย ซึ่งอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช สามารถใช้ได้กับดินส่วนใหญ่ของประเทศ แต่สำหรับดิน calcareous หรือ alkaline หรือดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกลาง ซึ่งฟอสเฟต ส่วนใหญ่อยู่ในรูป Ca-phosphate แล้วควรใช้วิธีของ Olsen (1954)

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available potassium; P)

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการปริมาณมาก และจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชในกิจกรรมสร้างและเคลื่อนย้ายน้ำตาล สังเคราะห์แสงและการหายใจ ฯลฯ โพแทสเซียมในดินมีอยู่ด้วยกัน 3 รูป คือ Fixed K, Exchangeable K และ Soluble รูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้คือ Exchangeable K และ Soluble

ความสำคัญของธาตุโพแทสเซียมต่อพืช ปัจจุบันยังไม่ทราบแน่นอนว่าโพแทสเซียมเป็นส่วนประกอบของสารประกอบที่มีบทบาทในการเจริญเติบโตของพืช เข้าใจว่าโพแทสเซียมทำหน้าที่ช่วยประกอบกิจกรรม มากกว่าเป็นองค์ประกอบ ของสารประกอบในพืช โพแทสเซียมจะสะสมอยู่ที่ยอด หรือใบอ่อนมากกว่าส่วนที่แก่ของพืช

หน้าที่ของโพแทสเซียมในพืช ได้แก่ โพแทสเซียมจำเป็นสำหรับกระบวนการสร้างคาร์โบไฮเดรทและการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรทในพืช มีส่วนร่วมในการสร้างคลอโรฟิลล์ ส่งเสริมการเจริญเติบโตของใบและการสร้างเนื้อไม้แข็งของลำต้น ส่งเสริมการเจริญของรากเป็นธาตุที่จำเป็นในการสร้างหัวของ root crop จำเป็นสำหรับการสร้างเนื้อผลไม้ที่มีคุณภาพดี ทำให้เซลล์พืชอิ่มน้ำ เพราะโพแทสเซียมช่วยให้รากพืชดูดน้ำได้ดีขึ้น พืชที่ได้รับโพแทสเซียมเพียงพอจึงทนแล้งได้ดีกว่าพืชที่ขาด ทำให้เซลล์พืชอิ่มน้ำ เพราะโพแทสเซียมช่วยให้รากพืชดูดน้ำได้ดีขึ้น พืชที่ได้รับโพแทสเซียมเพียงพอจึงทนแล้งได้ดีกว่าพืชที่ขาด ทำให้คุณภาพของพืชดีขึ้น เช่น ช่วยให้ตอซังของธัญพืชแข็งไม่ล้มง่าย ช่วยให้ใบยาสูบไหม้ไฟได้ดี และช่วยเพิ่มปริมาณแป้งและน้ำตาลในพืช ป้องกันผลเสียหายจากการที่พืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไป และช่วยไม่ให้ผลไม้มีเนื้อฟ่าม โพแทสเซียมยังช่วยไม่ให้พืชแก่เร็วในกรณีที่พืชได้รับฟอสฟอรัสมากเกินไป เกี่ยวข้องกับกระบวนการไนเตรทรีดักชันและกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนพืชที่ขาดโพแทสเซียมอาจจะมีไนโตรเจนในรูปของไนเตรทสะสมอยู่มากผิดปกติ ช่วยให้พืชมีความต้านทานโรคบางชนิดดีขึ้น

แหล่งที่มาของโพแทสเซียมในดิน

โพแทสเซียมในดิน ส่วนใหญ่มาจากการสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นหินและแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ แร่สำคัญที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมาก ได้แก่ แร่พวกโพแทสเฟลด์สปาร์ (potash feldspars, $KAlSi_3O_8$) และแร่พวกไมกา (mica) แร่เหล่านี้เมื่อสลายตัวกลายเป็นดินจะให้ธาตุโพแทสเซียมและแร่ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ เช่น อิลไลต์ (illite) และเวอร์มิคิวไลต์ ตกค้างอยู่ในดินเป็นปริมาณมากจึงมักพบว่าดินเนื้อละเอียดหรือดินหนียวจะมีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าดินเนื้อหยาบ หรือดินทราย ส่วนหินที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่เป็นปริมาณมากคือหินอัคนี เช่น หินแกรนิต ดังนั้น ดินที่เกิดจากหินอัคนีจึงมักมีปริมาณโพแทสเซียมในดินสูงกว่าดินที่เกิดจากหินประเภทอื่น ๆ เมื่อดินเหล่านั้นมีอายุ หรืออัตราการสลายตัวผุพังของหินและแร่เท่า ๆ กัน รูปของโพแทสเซียมในดิน โพแทสเซียมในดินที่มีความสำคัญในแง่ของการเป็นธาตุอาหารพืชนั้น เกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ซึ่งอยู่ในสภาพต่าง ๆ หรืออยู่ในรูปทางเคมีซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 รูป คือ รูปที่ละลายน้ำได้ (water soluble forms) เป็นโพแทสเซียมที่อยู่ในสภาพของแคตไอออน หรือ

ไอออนที่มีประจุบวกละลายอยู่ในสารละลายดินซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทันที โพแทสเซียมรูปนี้จะมีอยู่ในดินเป็นปริมาณน้อยที่สุด รูปไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable forms) ได้แก่ โพแทสเซียมที่อยู่ในสภาพของแคตไอออน (K^+) ที่ดูดยึดอยู่ที่ผิวของสารคอลลอยด์ดินซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ได้โดยตรงและบางส่วนยังสามารถปลดปล่อยออกมาอยู่ในสภาพของไอออนละลายอยู่ในสารละลายดินซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ง่าย โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปนี้จะมีปริมาณมากกว่าโพแทสเซียมรูปที่ละลายน้ำได้คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 9:1 แต่จะมีปริมาณน้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับโพแทสเซียมที่อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช รูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (non-exchangeable forms) หรือรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้เป็นรูปของโพแทสเซียมส่วนใหญ่ในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ยากมาก ได้แก่ โพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่ชนิดต่าง ๆ ในดิน และโพแทสเซียมที่ถูกตรึงไว้โดยอนุภาคดินเหนียวซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ง่ายกว่าโพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมาก และจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ในกิจกรรมสร้างและเคลื่อนย้ายน้ำตาลสังเคราะห์แสง และการหายใจ ฯลฯ โพแทสเซียมในดินมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปคือ Fixed K, Exchangeable K และ soluble K รูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ คือ Exchangeable K และ soluble K สำหรับ soluble นั้น พืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย แต่เนื่องจากมีปริมาณน้อยมากจึงไม่ค่อยนำมาใช้ในการประเมินปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์โพแทสเซียมในดินในรูปต่าง ๆ จะสมดุลเสมอ กล่าวคือเมื่อรากพืชดูด Exchangeable K (readily available K) ไปใช้ประโยชน์อยู่เสมอจนมีระดับต่ำมาก โพแทสเซียมในดินที่ถูกตรึงไว้จะถูกตรึงไว้จะถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูป readily available ซึ่งการปลดปล่อยนี้จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิดของ soil colloid และความชื้นของดิน เป็นต้น

การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินนั้นมีสารละลายที่ใช้สกัดมากกมายหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้คือสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (NH_4OAc) 1 N pH 7.0 (Jackson, 1958) โดยใช้ NH^+_4 แลกเปลี่ยนประจุ โพแทสเซียมให้ออกมาอยู่ในสารลลายมากกว่าการใช้กรดสกัด ซึ่งเป็นการสกัดที่รุนแรง อาจจะทำให้ Fixed K (slowly available K) ถูกปลดปล่อยออกมาด้วย ซึ่งจะทำให้ค่าโพแทสเซียมมีมากเกินกว่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งอยู่ในรูปที่ละลายได้และแลกเปลี่ยนได้ดังกล่าวแล้ว

โพแทสเซียมเป็นธาตุที่มีความสำคัญคือเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช คือเร่งปฏิกิริยาต่าง ช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ให้รวมตัวกับสารอื่นได้ง่ายขึ้น รักษา

สมดุลพืชส่งเสริมให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงมากขึ้นส่งเสริมการดูดคาร์บอนไดออกไซด์ ควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบ คุณภาพของผลผลิตในด้าน สี และขนาดคุณภาพการเก็บ หากได้รับธาตุนี้มากเกินไป พืชจะแก่ช้ากว่าปกติ เนื่องจากกิจกรรมในกระบวนการต่าง ๆ ดำเนินไปได้ไม่ดี ธาตุโพแทสเซียม เป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายภายในต้นได้ดี หากได้รับน้อยเกินไปพืชจะเจริญเติบโตช้า ผลผลิตคุณภาพต่ำ จะแสดงอาการขาดที่ใบล่าง ระดับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ระดับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (USDA)

ธาตุอาหารพืช	ระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืช (mg kg^{-1})				
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
ฟอสฟอรัส (P)	< 3	3-10	11-15	16-45	> 45
โพแทสเซียม (K)	< 30	30-60	61-90	91-120	> 120
แคลเซียม (Ca)	< 400	400-1000	1001-2000	2001-4000	>4000
แมกนีเซียม (Mg)	< 36	36-120	121-365	366-975	> 975
กำมะถัน (S)*	< 5	5-10	11-20	21 - 30	> 30

ที่มา: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547)

ความหนาแน่นรวมของดิน (soil bulk density)

ความหนาแน่นรวมของดิน หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลของดิน ขณะที่มวลแห้งสนิทต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรรวมของดิน (ปริมาตรของอนุภาคดินและช่องว่างในดิน) ค่านี้จะแตกต่างจา “ความหนาแน่นของอนภาค” (particle density) ซึ่งหมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลของดินขณะดิน แห้งสนิทต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของส่วนที่เป็นของดิน ค่าความหนาแน่นของอนุภาคจึงสูงกว่าค่าความหนาแน่นรวมเสมอ ค่าความหนาแน่นรวมมีหน่วยเป็นน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร ที่ใช้โดยทั่ว ๆ ไปคือ g cm^{-3} วิธีหาความหนาแน่นรวมของดินมีหลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันคือ clod method และ core method ปกติค่าความหนาแน่นจาก clod method จะสูงกว่า core method เนื่องจากปริมาตรของดินไม่ได้รวมถึงปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดดินกับวงแหวน วิธีที่นำมาใช้ในห้องปฏิบัติการด้านวิเคราะห์ดินของกรมพัฒนาที่ดินที่ใช้ core method

หลักการ ดินในที่ต่าง ๆ จะมีค่าความหนาแน่นรวมแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เนื้อดินโครงสร้างของดิน และการเขตกรรม เป็นต้น โดยทั่ว ๆ ไป ค่าความหนาแน่นรวมของดินบนที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ดินร่วนปนเหนียว และดินร่วนปนทรายแป้งมีค่าอยู่ในช่วง 1.20-1.80 g cm^{-3} ส่วนใหญ่ค่าความหนาแน่นรวมของดินจะเพิ่มขึ้นตามความลึก เนื่องจากมีอินทรียวัตถุน้อยกว่าดินบน ดินล่างต้องรับน้ำหนักของดินที่อยู่ข้างบน หรือเครื่องมือเขตกรรม การเหยียบย่ำของคน หรือสัตว์

การวัดการนำน้ำของดินในสภาพที่อิ่มตัวในห้องปฏิบัติการ (Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil)

การที่น้ำจะเคลื่อนที่ผ่านดินซึ่งเปรียบเสมือนวัตถุพรุนได้นั้นจะต้องมีแรงมากกระทำ ซึ่งแรงเหล่านี้ก็มีอยู่มากมาย เช่น เกรเดียนท์ของแรงดัน (pressure gradient) หรือแรงดึงดูดของโลก (gravitational) หรือแรงดึงดูดยึด (adsorption) เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วแรงที่มากระทำเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำในดินขึ้นนั้น เรียกว่า แรงขับเคลื่อน (driving force) เนื่องจากในภาพธรรมชาติแล้วดินจะมีน้ำอยู่ 2 สภาวะคือ สภาวะที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated condition) ซึ่งหมายถึงช่องว่างในดินทุกส่วนจะมีน้ำอยู่เต็ม และอีกสภาวะหนึ่งคือสภาวะที่ไม่อิ่มตัวด้วนน้ำ (unsaturated condition) หมายถึง ช่องว่างในดินมีน้ำอยู่เพียงบางส่วนเท่านั้น ดังนั้น การเคลื่อนของน้ำในดินจึงมีอยู่ 2 ค่า เช่นกัน คือการนำน้ำในสภาพอิ่มตัว (saturated hydraulic conductivity) และการนำน้ำของดินในสภาพที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated hydraulic conductivity) ในที่นี้จะเป็นการวัดค่าการนำน้ำในสภาพอิ่มตัวของดินโดยการเก็บตัวอย่างดินมาวัดในห้องปฏิบัติการ ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและการอุ้มน้ำของดินที่สภาวะต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 6 และค่าการนำน้ำของดิน แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและการอุ้มน้ำของดินที่สภาวะต่าง ๆ (% ความชื้นโดยน้ำหนัก)

เนื้อดิน	ค่าคงที่ความชื้น				ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ
	Air dried	PWP	FC	AWCA	
หยาบ	1 - 2	3 - 6	6 - 16	3 - 10	21 - 31
ปานกลาง	2 - 5	12 - 15	27 - 35	15 - 20	31 - 47
ละเอียด	5 - 10	24 - 34	38 - 53	14 - 19	38 - 90

PWP = permanent wilting point. FC = field capacity. AWCA = available water capacity = FC - PWP.

ที่มา : สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547)

ตารางที่ 7 ค่าการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ

Hydraulic conductivity class (cm h^{-1})		
Very Slow	(VS)	< 0.125
Slow	(S)	0.125 – 0.5
Moderately Slow	(MS)	0.5 – 2.0
Moderate	(M)	2.0 – 6.25
Moderately Rapid	(MR)	6.25 – 12.5
Rapid	(R)	12.5 – 25.0
Very Rapid	(VR)	> 25.0

ที่มา: สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (2547)

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

เครื่องมือ

- ตู้ปลอดเชื้อ (Biosafety cabinet class II รุ่น ABS 1200)
- ตู้บ่มเชื้อ (Incubator) รุ่น BD/ED/FD with R3-controller
- ตู้ทำความเย็นเก็บสารเคมี ของ TOSHIBA, Japan
- ตู้ทำความเย็น 4 องศาเซลเซียส ของ SANYO, Japan
- ตู้แช่แข็ง – 20 องศาเซลเซียส ของ SANYO, Japan
- เครื่องชั่งหยาบ (Laboratory balance) 2 ตำแหน่ง ของ METTLER TOLELO รุ่น PG
- เครื่องชั่งละเอียด (Laboratory balance) 4 ตำแหน่ง ของ METTLER TOLELO รุ่น P
- เครื่องปั่นผสม (Vortex) ของ KIKA works, Malaysia
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) รุ่น WNB 7-45 ของ Memmert และรุ่น Ecotemp TW20 ของ Julabo
- หม้อนึ่งความดันไอน้ำไฟฟ้า รุ่น AMA 230S/240S ของ ASTELL
- หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) รุ่น 1941X
- ตู้อบความร้อนแห้ง (hot air oven)
- เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter) รุ่น pH 500 ของ Clean
- ไมโครเวฟ (Microwave) ของ Sharp, Japan
- กล้องจุลทรรศน์ (Microscopes) ของ Olympus, Japan
- เครื่องให้ความร้อน (hot plate, Clifton, 100979)

อุปกรณ์

เครื่องแก้ว ได้แก่

จานเลี้ยงเชื้อ (petri dish), หลอดทดลอง (test tube), ขวดดูแรน (duran bottle), บีกเกอร์ (beaker), หลอดหยด (dropper), ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask), ปิเปตแก้ว (measuring pipette), หลอดดักก๊าซ (durham tube), แผ่นสไลด์ (slide), ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask)

อุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่

ไมโครปิเปต (micro pipette), ไมโครปิเปตทิป (micropipette tip), ช้อนตักสาร (spatula) ,

ตะเกียงแอลกอฮอล์, ห่วงถ่ายเชื้อ (loop), แท่งแก้วเกลี่ยเชื้อ (spreader), แท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic stirrer), หลอดปั่นเหวี่ยง (centrifuge tube), หลอดปั่นเหวี่ยงขนาดเล็ก (microcentrifuge tube), ปากคีบ (forceps), นาฬิกาจับเวลา (Casio, TMR100), หลอดทนความเย็น (cryotube), กล่องทนความเย็น (cryobox) สำลี ถุงพลาสติก ยางรัดของ

สารเคมี

- Crystal violet, KI, Acetone alcohol, Safranin, Agar, $CaCl_2$, K_2HPO_4, KH_2HPO_4, $MgSO_4.7H_2O$, $FeSO_4.7H_2O$, $(NH_4)_2SO_4$, Carboxymethylcellulose(CMC), $Ca_3(PO_4)_2$, $Ca_3(PO_4)_2$, $MgSO_4.7H_2O$, KCl, $MnSO_4$, $FeSO_4$, $NaNO_3$, , $FeCl_3$, Calcium carbonate, $CaSO_4$, Tryptone, Malt extract, Beef extract, Peptone, Yeast extract, Glucose, Sucrose, agar,

วิธีการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินจากแปลงนาข้าวเกษตรอินทรีย์และดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมี (แปลงข้าวเกษตรเคมีเป็นแปลงที่ติดกับแปลงเกษตรอินทรีย์) ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่าง ๆ กัน ดังนี้

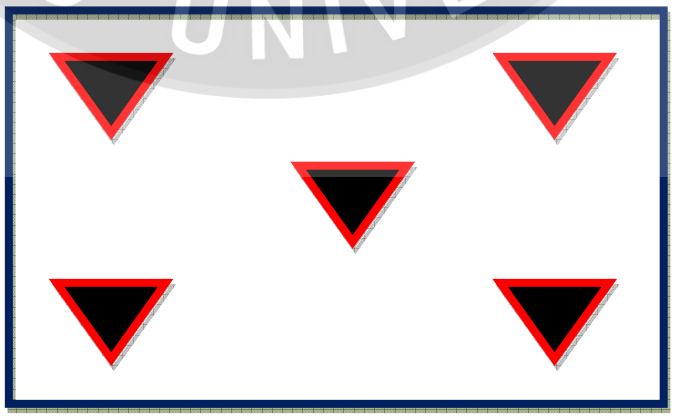
1) ดินจากแปลงนาข้าวเกษตรอินทรีย์ และดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมี ระยะเวลาที่ทำเกษตรอินทรีย์ 1-2 ปี จากอำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่

2) ดินจากแปลงข้าวเกษตรอินทรีย์ และดินจากแปลงข้าวเกษตรเคมี ระยะเวลาที่ทำเกษตรอินทรีย์ 5-6 ปี จากอำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

3) ดินจากแปลงข้าวเกษตรอินทรีย์ และดินจากแปลงข้าวเกษตรเคมี ระยะเวลาที่ทำเกษตรอินทรีย์ มากกว่า 10 ปี จากอำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่

วิธีการเก็บตัวอย่างดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินในช่วงฤดูกาลหลังการเก็บเกี่ยวข้าวแล้ว โดยเก็บตัวอย่างดิน 5 จุด และเก็บตัวอย่างจากตำแหน่ง 4 มุม และตำแหน่งกึ่งกลางของแปลงนาข้าว โดยในแต่ละตำแหน่งใช้จอบขุดหลุมเป็นรูป V ให้ลึกในแนวดิ่งประมาณ 15 เซนติเมตร แล้วใช้จอบถากหน้าดินด้านหนึ่ง เป็นแผ่นหนาประมาณ 2-3 เซนติเมตร จากปากหลุมถึงก้นหลุม และถากอีกด้านหนึ่งของหลุมแล้วบรรจุใส่ถุงพลาสติก จากนั้นนำตัวอย่างดินที่ได้แต่ละตำแหน่งทั้ง 5 ตำแหน่ง ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 1 มาคลุกรวมกันซึ่งถือว่าเป็นตัวแทนของดินจาก 1 แปลง จากนั้นนำดินไปผึ่งให้แห้งระยะเวลาตามความเหมาะสม จากนั้นเก็บตัวอย่างดินเพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป



ภาพที่ 1 การเก็บตัวอย่างดินตามตำแหน่งต่าง ๆ ในแปลงนาข้าว

2. การศึกษาคุณสมบัติของดิน

2.1 การศึกษาคุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของดิน

2.1.1 การแยกและศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ในดิน บนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดต่าง ๆ นำตัวอย่างดินจากแปลงข้าวเกษตรอินทรีย์และดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมี ที่ทำการเกษตรมาระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี ขึ้นไป มาทำการเจือจางตามลำดับด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.85 เปอร์เซ็นต์ ปราศจากเชื้อ จากนั้นเลือกระดับความเจือจางที่เหมาะสม มาเพาะเลี้ยงเชื้อโดยวิธี pour plate ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดต่าง ๆ 7 ชนิด คือ

- Plate count agar (PCA) ใช้ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศา-เซลเซียส ระยะเวลา 24-48 ชั่วโมง
- Czapek ' s medium ใช้สำหรับแยกเชื้อรา บ่มที่อุณหภูมิห้อง 48-72 ชั่วโมง
- Internation streptomyces project 2 (ISP2) ใช้สำหรับแยกแอคติโนมัยซีส บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 สัปดาห์
- Carboxymethylcellulose agar (CMC) ใช้แยกจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลส บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24-48 ชั่วโมง
- Nitrogen free medium (NFM) ใช้แยกจุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจน บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศา-เซลเซียส ระยะเวลา 48-72 ชั่วโมง
- Pikovskaya 's medium ใช้แยกจุลินทรีย์ที่ละลายฟอสเฟต บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 48-72 ชั่วโมง
- Aleksandrov medium ใช้แยกจุลินทรีย์ที่ละลายโพแทสเซียมในดิน บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 48-72 ชั่วโมง

หลังจากการบ่มเชื้อไว้ตามระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์แต่ละชนิด ทำการตรวจนับจำนวนโคโลนีทั้งหมดของจุลินทรีย์ แล้วบันทึกผลจำนวนโคโลนีของเชื้อที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด จากนั้นเลือกจุลินทรีย์ที่มีโคโลนีแตกต่างกันมา streak ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเดียวกันกับที่ใช้ในการแยกเชื้อ เพื่อให้ได้เชื้อที่บริสุทธิ์ บันทึกจำนวนไอโซเลทของเชื้อที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด จากนั้นเก็บรักษาเชื้อบริสุทธิ์ไว้บนอาหารวุ้นเอียง แล้วเก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และเก็บไว้ในกลีเซอรอล 40 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

2.1.2 การศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้นของแบคทีเรียที่แยกได้

ในงานทดลองนี้เลือกเฉพาะแบคทีเรียมาศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้น โดยทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphological characteristic) ของแบคทีเรีย นำแบคทีเรียที่แยกได้ทั้งหมดมาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยเพาะเลี้ยงแบคทีเรียบนอาหารวุ้นเอียงแต่ละชนิด ได้แก่ PCA, CMC, NFM, ISP2, Pikovskaya 's medium , Czapek 's medium และ Aleksandrov ระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำแบคทีเรียแต่ละไอโซเลทไปย้อมสีแบบแกรม (Gram's staining) แล้วส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดเลนส์ประกอบ กำลังขยาย 1,000 เท่า บันทึกการติดสีแกรม รูปร่างและการจัดเรียงตัวของเซลล์แบคทีเรีย

2.2 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดิน

นำตัวอย่างดินจากแปลงข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ทำการเกษตรอินทรีย์ ระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี ส่งวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน ที่หน่วยวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 6 กรมพัฒนาที่ดิน จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่

- ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดิน วัดโดย pH meter ตามวิธีของ Peech (1965)
- วิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ตามวิธีการของ Walkley and Black (1947)
- วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) ตามวิธีของ Bray and Kurtz (1945)
- วิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangable potassium) โดยใช้ 1 N ammonium acetate pH 7.0 เป็นสารสกัด ตามวิธีการของ Jackson (1958) ทำการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม โดยใช้เครื่อง Flame Photometer

2.3 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดิน

นำตัวอย่างดินจากแปลงข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ทำการเกษตรอินทรีย์ ระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และ 10 ปี ขึ้นไป ส่งวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของดิน ที่หน่วยวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 6 กรมพัฒนาที่ดิน จังหวัดเชียงใหม่ การวิเคราะห์ ได้แก่

- ค่าความหนาแน่นของดิน (soil bulk density) ตามวิธีของ Blake (1965)
- วิเคราะห์ปริมาณน้ำในภาคสนาม (field water content) ตามวิธีของ Gardner (1986)
- ค่าการนำน้ำของดินในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated hydraulic conductivity) ตามวิธีของ Klute and Dirksen (1986)

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางจุลชีววิทยาของดิน

ผลการแยกและศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ในดินบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดต่าง ๆ

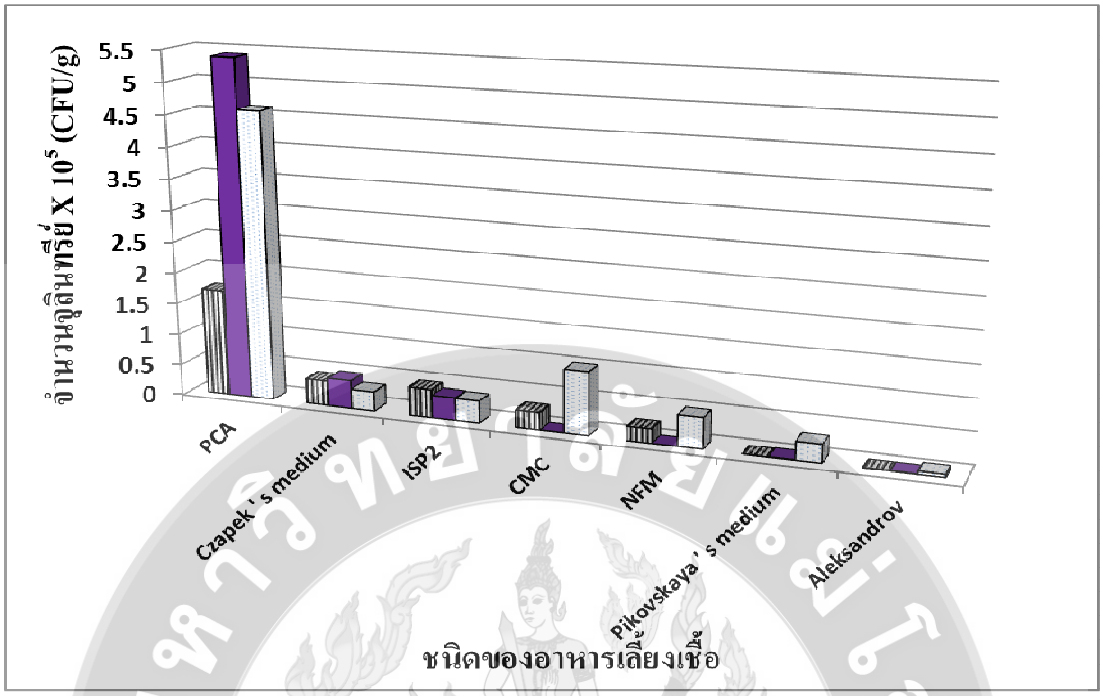
จากการนำดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มาเพาะเลี้ยงเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดต่าง ๆ 7 ชนิด คือ อาหาร Plate count agar (PCA) ใช้ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด อาหาร Czapek ' s medium ใช้สำหรับแยกเชื้อรา อาหาร Internation streptomyces project 2 (ISP2) ใช้สำหรับแยกแอคติโนมัยสีท อาหาร Carboxymethylcellulose agar (CMC) ใช้แยกจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลส อาหาร Nitrogen free medium (NFM) ใช้แยกจุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจน อาหาร Pikovskaya 's medium ใช้แยกจุลินทรีย์ที่ละลายฟอสเฟต และอาหาร Aleksandrov medium ใช้แยกจุลินทรีย์ที่ละลายโพแทสเซียมในดิน แล้วทำการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด จากผลการทดลองในภาพที่ 2ก แสดงผลของจำนวนจุลินทรีย์ที่แยกได้จากดินแปลงเกษตรเคมีที่ระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี บนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดต่าง ๆ พบว่า บนอาหาร PCA มีจำนวนจุลินทรีย์เท่ากับ $1.7X10^5$, $5.4X10^5$ และ 4.6×10^5 และ CFU/g ตามลำดับ ส่วนบนอาหาร Czapek 's medium ที่แยกจากดินแปลงนาข้าวเกษตรเคมี พบจุลินทรีย $4.0X10^4$, $4.5X10^4$ และ 3.1×10^4 CFU/g ตามลำดับ ส่วนการแยกจุลินทรีย์จากดินเกษตรเคมี ระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี บนอาหาร ISP2 พบว่า มีจำนวนจุลินทรีย์เท่ากับ $4.5X10^4$, $3.6X10^4$ และ 3.5×10^4 CFU/g ตามลำดับ เมื่อตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์บนอาหาร CMC agar จากดินแปลงเกษตรเคมี พบว่า มีจำนวนจุลินทรีย์เท่ากับ $2.8X10^4$, $3.7X10^2$ และ 1.0×10^5 CFU/g ตามลำดับ จากการแยกจุลินทรีย์บนอาหาร NFM พบว่า มีจำนวนจุลินทรีย์ของดินจากแปลงเกษตรเคมี ระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี เท่ากับ $2.2X10^4$, $5.6X10^2$ และ 4.9×10^4 CFU/g ตามลำดับ การแยกจุลินทรีย์บนอาหาร Pikovskaya medium พบจำนวนจุลินทรีย์จากดินของแปลงเกษตรเคมีจำนวน 0, $7.3X10^3$ และ 2.9×10^4 CFU/g ตามลำดับ นอกจากนี้ ได้แยกจุลินทรีย์บนอาหาร Aleksandrov medium จากดินแปลงเกษตรเคมี ระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี พบว่า มี $4.6X10^3$, $3.0X10^3$ และ 4.7×10^3 CFU/g ตามลำดับ ส่วนในภาพที่ 2ข แสดงจำนวนจุลินทรีย์ที่แยกได้จากดินแปลงนาข้าวเกษตรอินทรีย์ซึ่งบนอาหาร PCA มีจำนวนจุลินทรีย์ $4.9X10^5$, $1.3X10^6$ และ 9.0×10^5 CFU/g ตามลำดับ และ บนอาหาร Czapek 's medium ที่แยกได้จากดินเกษตรอินทรีย์มีจำนวนจุลินทรีย์ $1.5X10^4$, $3.4X10^4$ และ 4.5×10^4 CFU/g ตามลำดับ ส่วนบนอาหาร ISP2 จากแปลงเกษตรอินทรีย์มีจำนวนจุลินทรีย์ $1.3X10^4$, $7.8X10^4$ และ 4.9×10^4 CFU/g ตามลำดับ และแยกจุลินทรีย์

จากดินแปลงเกษตรอินทรีย์บนอาหาร CMC agar จำนวน $5.1X10^4$, $2.0X10^5$, 7.6×10^2 CFU/g ตามลำดับ และจากการแยกจุลินทรีย์จากดินแปลงเกษตรอินทรีย์บนอาหาร NFM พบจำนวนจุลินทรีย์เท่ากับ $5.7X10^4$, $6.3X10^4$ และ 7.6×10^4 CFU/g ตามลำดับ และตัวอย่างดินจากแปลงเกษตรอินทรีย์แยกได้จุลินทรีย์บนอาหาร Pikovskaya 's medium จำนวนเท่ากับ $1.6X10^4$, $5.6X10^4$ และ 9.6×10^4 CFU/g ตามลำดับ ส่วนบนอาหาร Aleksandrov medium แยกเชื้อจากดินแปลงเกษตรอินทรีย์ พบว่า มีจำนวนจุลินทรีย์เท่ากับ $5.5X10^4$, $6.8X10^3$ และ 8.3×10^4 CFU/g ตามลำดับ

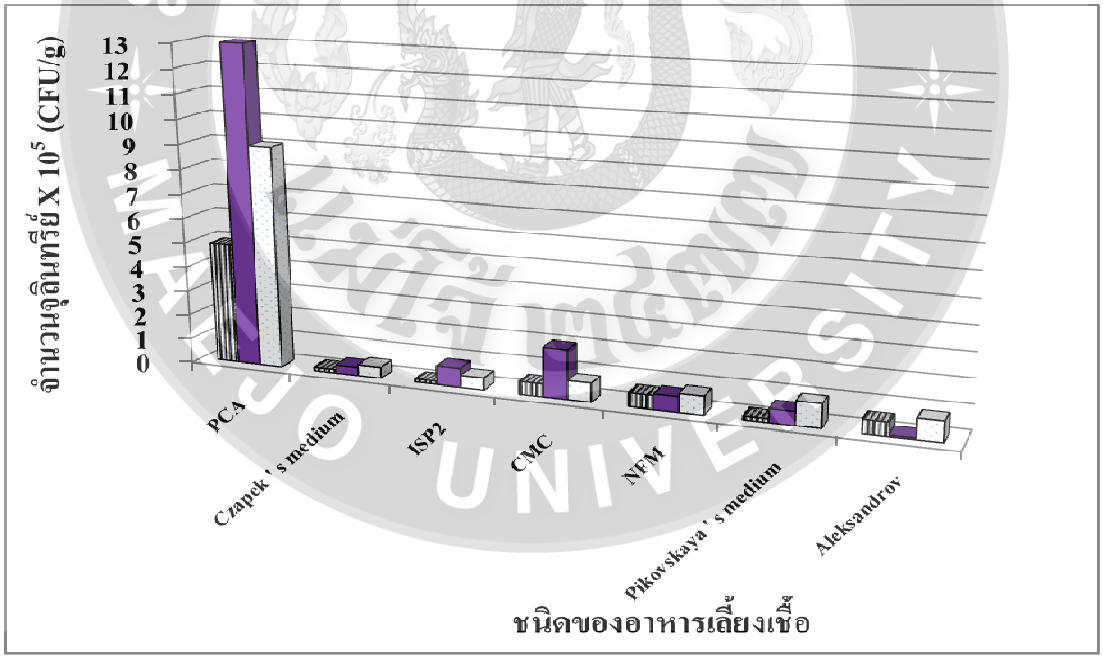
ผลจำนวนไอโซเลทของจุลินทรีย์ที่แยกได้จากตัวอย่างดิน

จากการเพาะเลี้ยงเชื้อของตัวอย่างดินแปลงนาข้าวเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมี ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่าง ๆ และนับจำนวนไอโซเลทของจุลินทรีย์ที่มีลักษณะโคโลนีแตกต่างกันบนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด คือ บนอาหาร PCA, Czapek 's medium, ISP2, CMC agar, NFM, Pikovskaya 's medium และAleksandrov medium ตัวเลขที่แสดงในวงเล็บคือ [(จำนวนไอโซเลทของแบคทีเรีย, แอคติโนมัยซีส, เชื้อรา)] ตามลำดับ ที่แยกได้จากตัวอย่างดิน ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่างกัน บนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด ซึ่งเมื่อนำดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีระยะเวลา 1- 2 ปี มาเพาะเลี้ยงลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด พบว่า มีจำนวนไอโซเลทของแบคทีเรีย แอคติโนมัยซีท เชื้อรา บนอาหาร PCA, Czapek 's medium, ISP2, CMC agar, NFM, Pikovskaya 's medium และAleksandrov medium ตามลำดับ คือ [(13, 0, 0); (0, 0, 1); (3, 1, 0); (4, 0, 0); (0, 0, 0); (0, 0, 0); (0, 0, 0)] ตามลำดับ (ภาพที่ 3ก) และส่วนจากดินเกษตรอินทรีย์ระยะเวลา 1-2 ปี พบว่า มีจำนวนไอโซเลทของ แบคทีเรีย แอคติโนมัยซีท เชื้อรา ดังนี้คือ [(13, 0, 0); (0, 0,); (3, 1, 0); (4, 0, 0); (0, 0, 0); (0, 0, 0); (0, 0, 0)] ไอโซเลท ตามลำดับ (ภาพที่ 3ข) ส่วนดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมี ระยะเวลาทำการเกษตร 5-6 ปี พบว่า มีจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อข้างต้น จำนวน [(13, 0, 0); (0, 0, 0); (1, 1, 0); (0, 0, 0); (0, 0, 0); (3, 0, 4); (0, 0, 0)] ไอโซเลท ตามลำดับ (ภาพที่ 4ก) และจากแปลงเกษตรอินทรีย์ระยะเวลาทำการเกษตร 5-6 ปี มีจำนวนไอโซเลท เท่ากับ [(6, 0, 0); (0, 0, 2); (5, 1, 0); (6, 0, 0); (4, 0, 0); (6, 0, 0); (0, 0, 0)] ไอโซเลท ตามลำดับ (ภาพที่ 4ข) นอกจากนี้ ยังได้ศึกษาจำนวนไอโซเลทของจุลินทรีย์ที่แยกได้จากดิน ระยะเวลาทำ การเกษตรเคมี ระยะเวลามากกว่า 10 ปี พบว่า มีจำนวนไอโซเลท เท่ากับ [(12, 0, 0); (2, 0, 0); (2, 2, 1); (8, 0, 0); (4, 0, 0); (7, 0, 0); (1, 0, 0)] ไอโซเลท ตามลำดับ (ภาพที่ 5ก) และ จากดินเกษตรอินทรีย์ ระยะเวลามากกว่า 10 ปี มีจำนวน [(12, 0, 0); (5, 0, 3); (5, 8, 0); (1, 0, 0); (6, 0, 0); (11, 0, 0); (3, 0, 0)] ไอโซเลท ตามลำดับ (ภาพที่ 5ข) ซึ่งรวมจำนวนจุลินทรีย์ที่แยกเป็นแบคทีเรีย แอคติโนมัยซีส และเชื้อราที่แยกได้จำนวน 165, 14 และ 13 ไอโซ-

เลท ตามลำดับ รวมจุลินทรีย์ที่แยกได้ในการทดลองนี้ทั้งหมดจำนวน 192 ไอโซเลท ทำการเก็บรักษาจุลินทรีย์ทั้งหมดไว้เพื่อใช้ศึกษาต่อไป



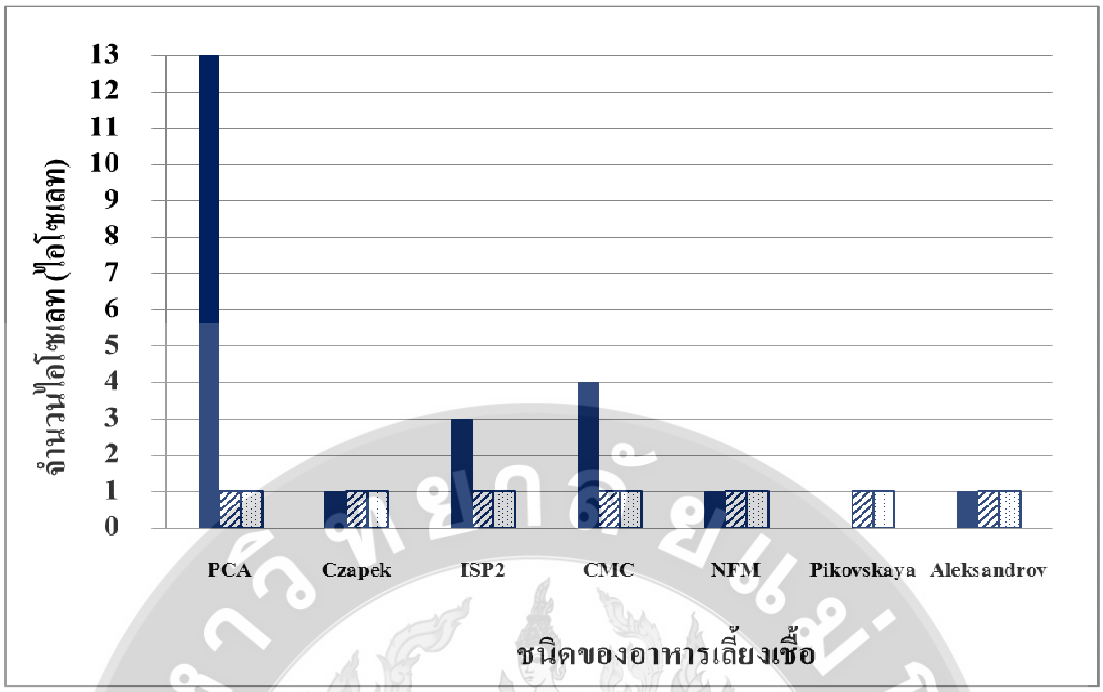
ก)



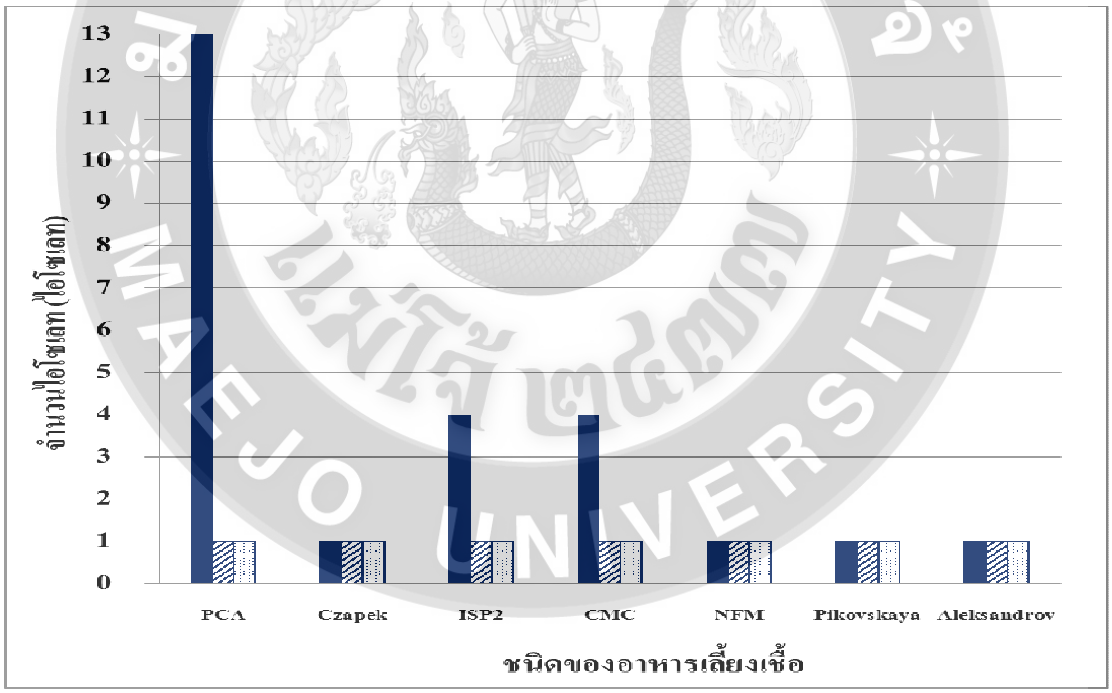
ข)

ภาพที่ 2 จำนวนจุลินทรีย์ที่แยกได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด ของดินจากแปลงนาข้าว (ก) เกษตรเคมี (ข) เกษตรอินทรีย์

(▥) ระยะเวลา 1-2 ปี (■) ระยะเวลา 5-6 ปี (⊡) ระยะเวลามากกว่า 10 ปี



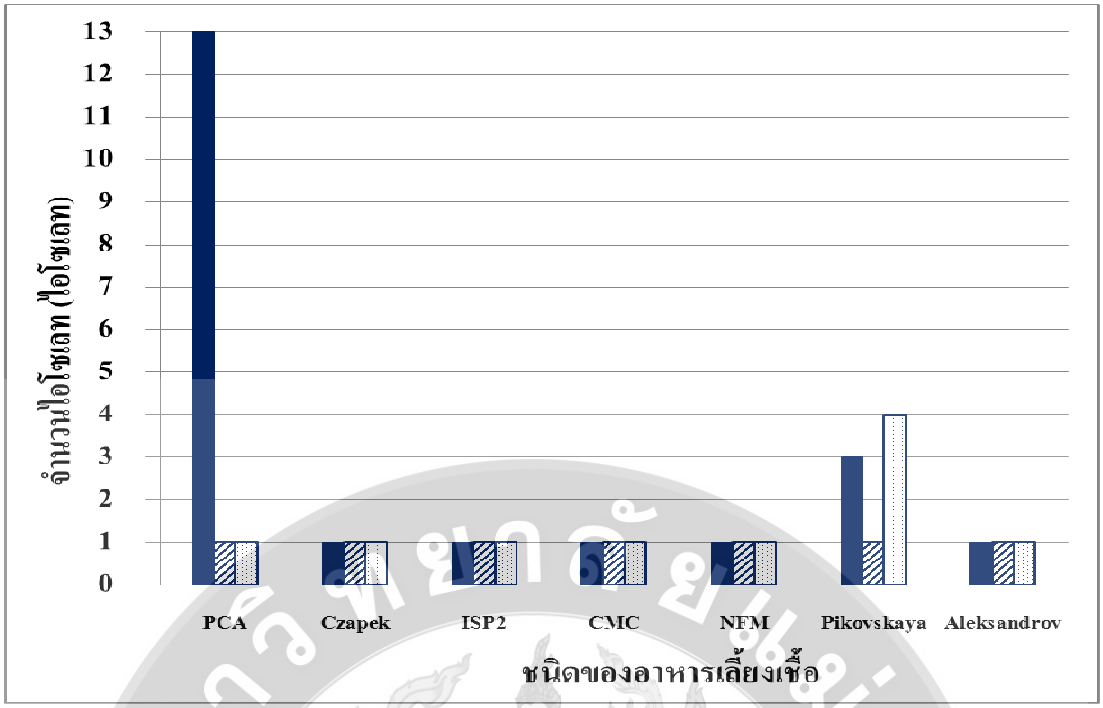
ก)



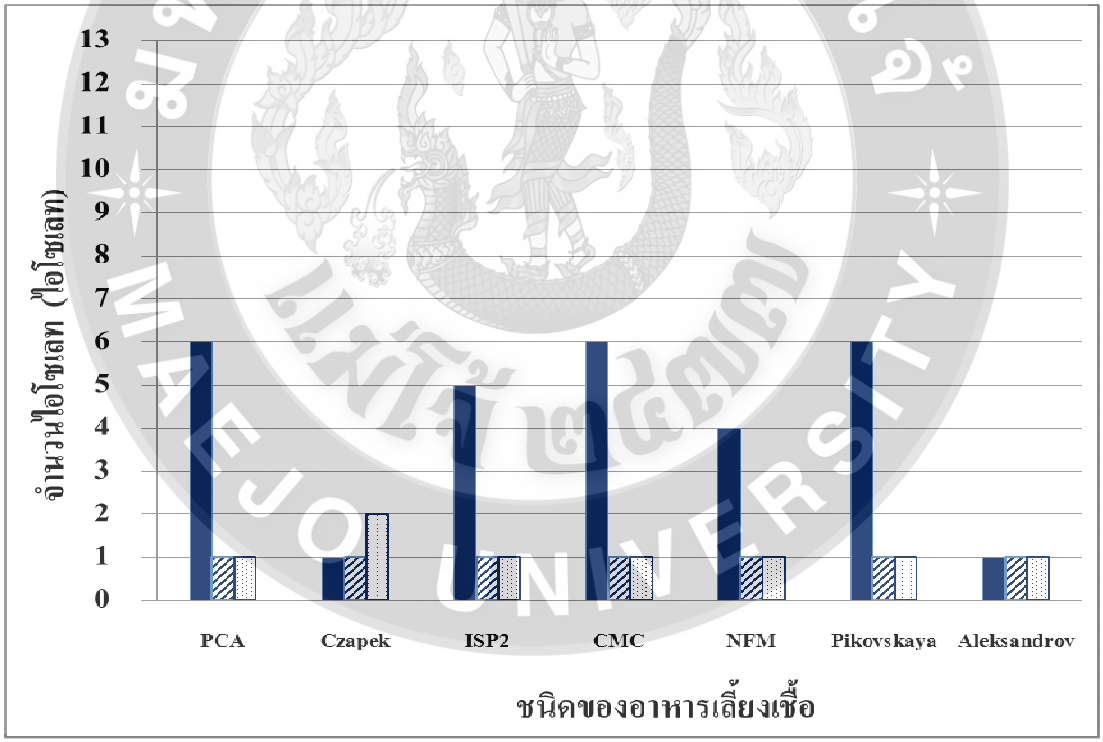
ข)

ภาพที่ 3 จำนวนไอโซเลทของจุลินทรีย์ที่แยกได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด ของดินจากแปลงนาข้าว (ก) เกษตรเคมี (ข) เกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลา 1-2 ปี

(■) แบคทีเรีย (▨) แอคติโนมัยซีส (⊡) เชื้อรา



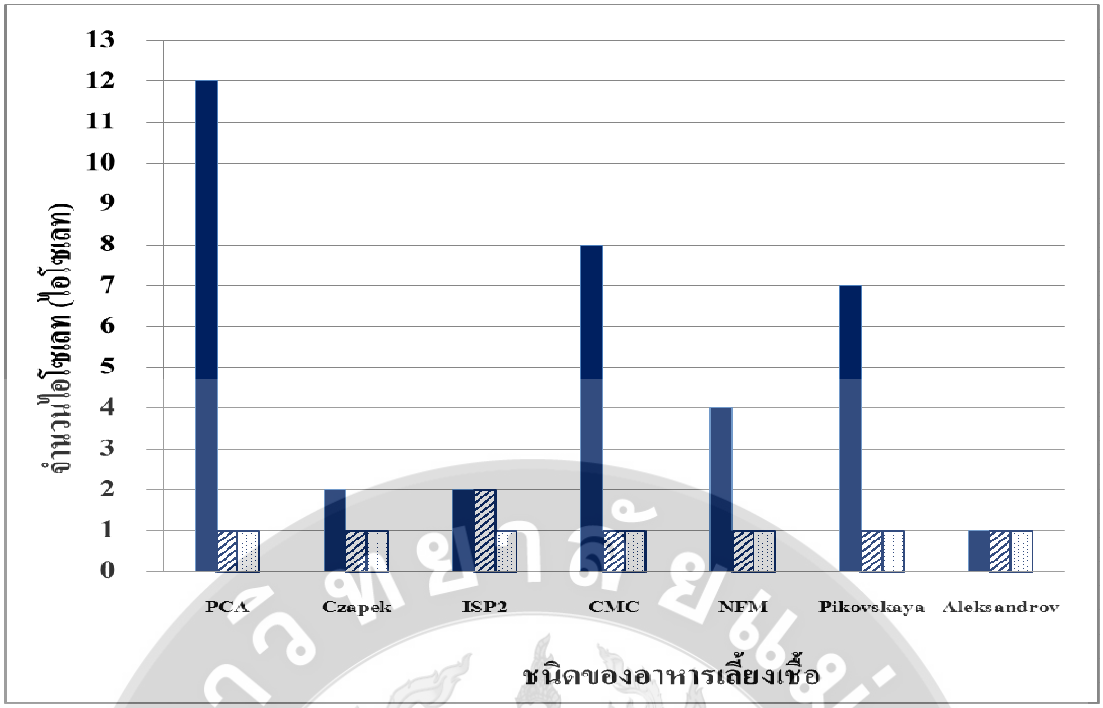
ก)



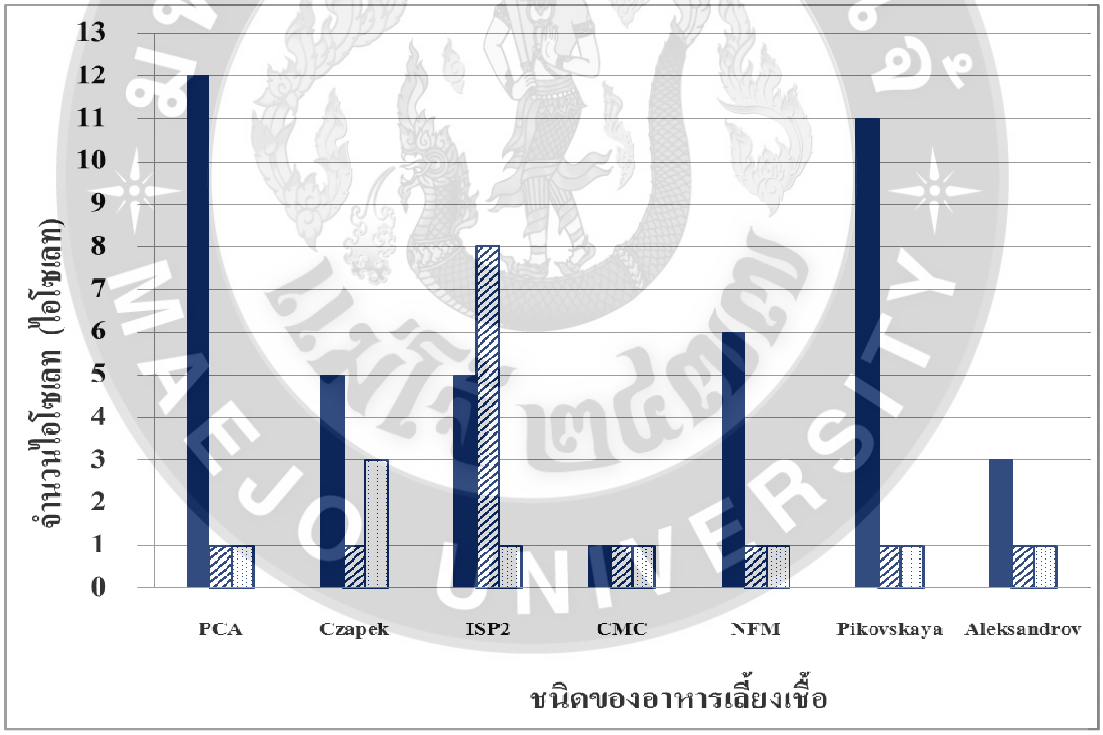
ข)

ภาพที่ 4 จำนวนไอโซเลทของจุลินทรีย์ที่แยกได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด ของดินจากแปลงนาข้าว (ก) เกษตรเคมี (ข) เกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลา 5-6 ปี

(■) แบคทีเรีย (▨) แอคติโนมัยซีส (⊡) เชื้อรา



ก)



ข)

ภาพที่ 5 จำนวนไอโซเลทของจุลินทรีย์ที่แยกได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด ของดินจากแปลงนาข้าว (ก) เกษตรเคมี (ข) เกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลามากกว่า 10 ปี

(■) แบคทีเรีย (▨) แอคติโนมัยซีส (⊡) เชื้อรา

ผลการศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้นของแบคทีเรียที่แยกได้

จากการศึกษาคุณลักษณะของแบคทีเรียเบื้องต้น โดยการศึกษาคุณลักษณะทางสัณฐานวิทยา ด้วยการย้อมสีแบบแกรม (Gram' s staining) แล้วส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดเลนส์ประกอบ โดยดูการติดสีแกรม และดูรูปร่างและการจัดเรียงตัวของเซลล์ โดยการนำแบคทีเรียที่แยกได้ทั้งหมดในการทดลองนี้ จำนวน 165 ไอโซเลท จากดินแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ระยะเวลา 1-2 ปี เมื่อศึกษาการย้อมสีแบบแกรม พบว่า เป็นแบคทีเรียแกรมบวกรูปร่างท่อน แกรมบวกรูปร่างกลม แกรมลบรูปร่างท่อน และแกรมลบรูปร่างกลม จำนวน 13, 1, 15 และ 13 ไอโซเลท ตามลำดับ ส่วนดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ระยะเวลา 5-6 ปี แยก พบว่า แกรมบวกรูปร่างท่อน แกรมบวกรูปร่างกลม แกรมลบรูปร่างท่อน และแกรมลบรูปร่างกลม จำนวน 3, 18, 18 และ 5 ไอโซเลท ตามลำดับ จากตัวอย่างดินแปลงทำนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ระยะเวลา มากกว่า 10 ปี เป็นแกรมบวกรูปร่างท่อน แกรมบวกรูปร่างกลม แกรมลบรูปร่างท่อน และแกรมลบรูปร่างกลม 19, 19, 26 และ 15 ไอโซเลท ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 8

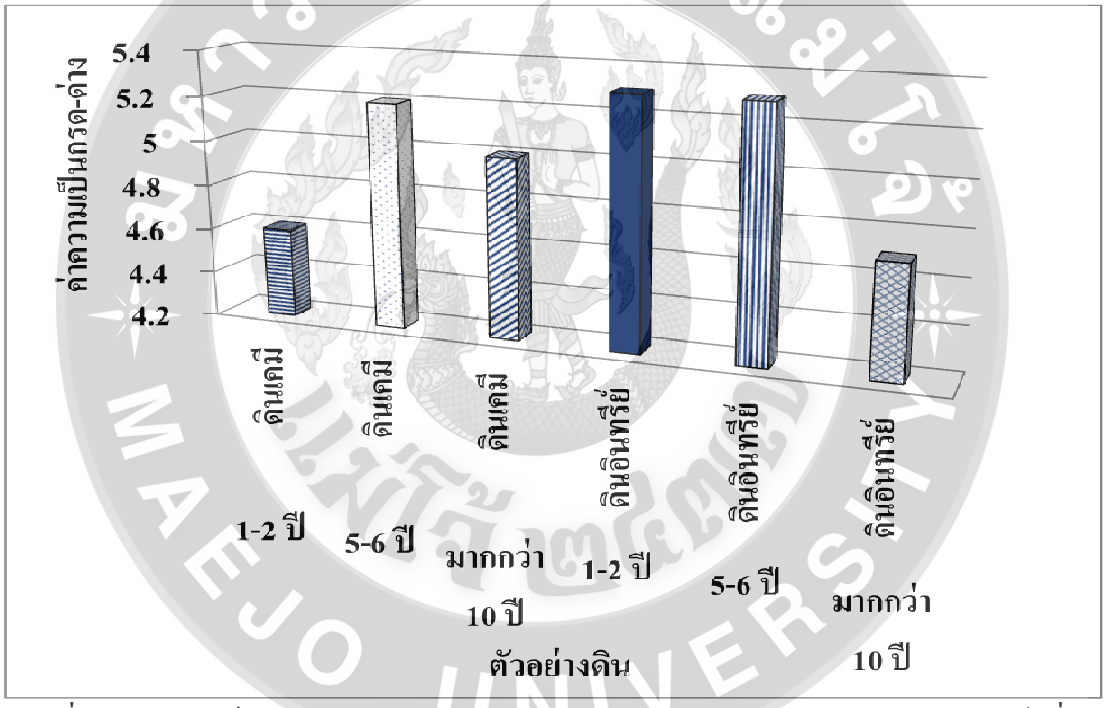
ตารางที่ 8 จำนวนไอโซเลทของแบคทีเรียทั้งหมดที่แยกได้ และผลการย้อมสีแบบแกรมและรูปร่างของเซลล์แบคทีเรีย

ตัวอย่างดิน	จำนวนแบคทีเรีย				
	รูปร่างและการติดสีแกรมของแบคทีเรีย				
	แกรมบวก รูปร่างท่อน	แกรมบวก รูปร่างกลม	แกรมลบ รูปร่างท่อน	แกรมลบ รูปร่าง กลม	รวม
ดินแปลงเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ระยะเวลา 1-2 ปี	13	1	15	13	42
ดินแปลงเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ระยะเวลา 5-6 ปี	3	18	18	5	44
ดินเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ระยะเวลามากกว่า 10 ปี	19	19	26	15	79
รวม	**35**	**38**	**59**	**33**	**165**

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดิน

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสและปริมาณโพแทสเซียม

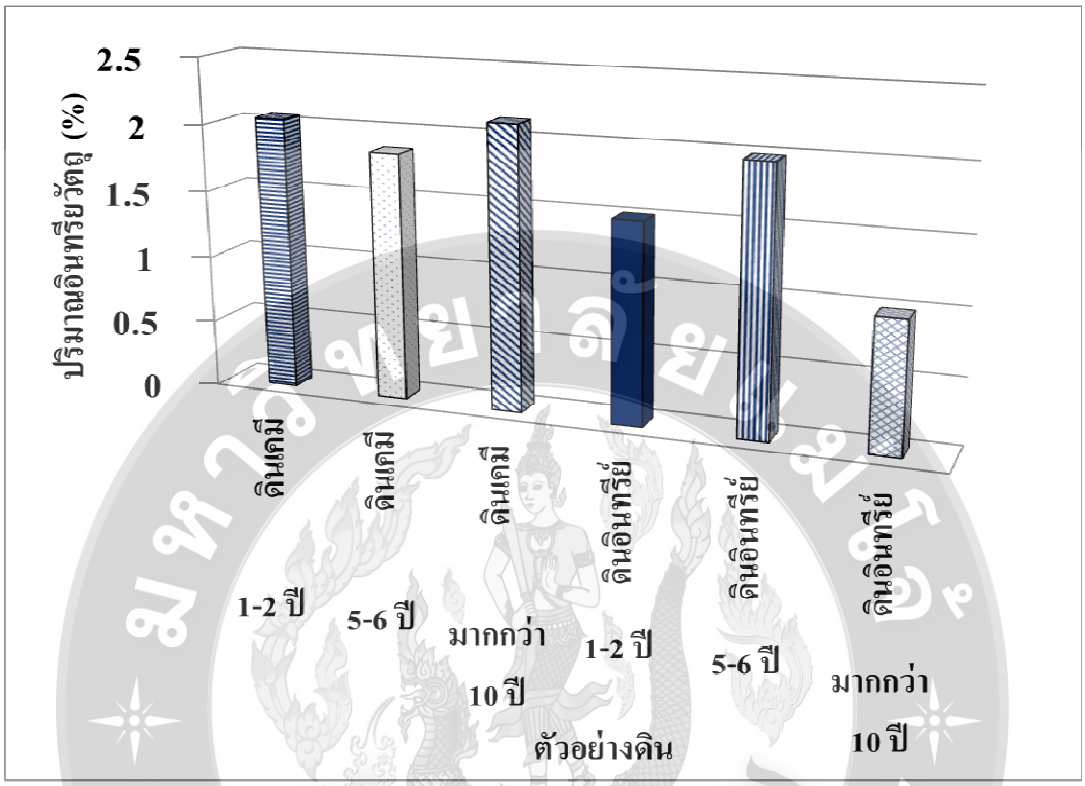
จากการนำตัวอย่างดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ทำการเกษตรระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยวิเคราะห์ที่ส่วนวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 6 กรมพัฒนาที่ดิน จังหวัดเชียงใหม่ ผลการทดลองในภาพที่ 6 พบว่า ดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ที่ปลูกข้าวมาระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.6, 5.2 และ 5.0 ตามลำดับ ส่วนดินจากแปลงนาข้าวอินทรีย์ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.3, 5.3 และ 4.7 ตามลำดับ



ภาพที่ 6 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่าง ๆ

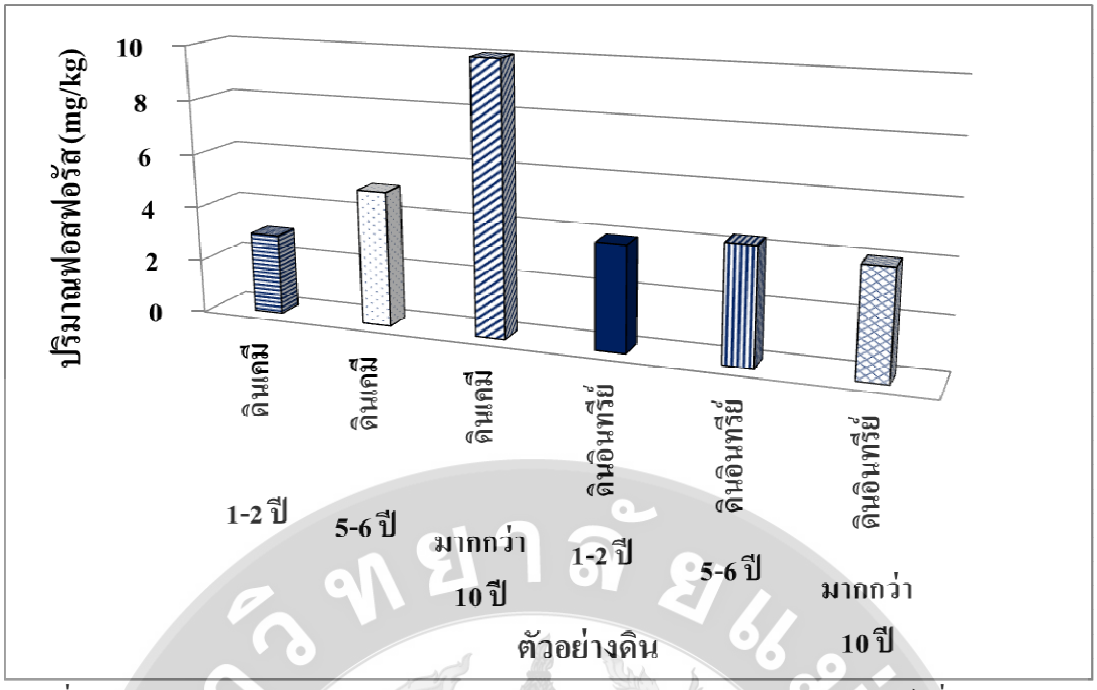
จากการนำตัวอย่างดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ทำการเกษตรระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มาวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน โดยวิเคราะห์ที่ส่วนวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 6 กรมพัฒนาที่ดิน จังหวัดเชียงใหม่ ผลการทดลองในภาพที่ 7 พบว่า ดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตร ที่ปลูกข้าวมา

ระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มีค่าปริมาณอินทรียวัตถุ เท่ากับ 2.05, 1.85 และ 2.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนดินจากแปลงนาข้าวอินทรีย์ มีค่าปริมาณอินทรียวัตถุ เท่ากับ 1.98, 1.50 และ 0.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 7 ปริมาณอินทรียวัตถุของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่าง ๆ

จากการนำตัวอย่างดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ทำการเกษตรระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มาวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน โดยวิเคราะห์ที่ส่วนวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 6 กรมพัฒนาที่ดิน จังหวัดเชียงใหม่ ผลการทดลองในภาพที่ 8 พบว่า ดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ปลูกข้าวมาระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มีปริมาณฟอสฟอรัส เท่ากับ 3.0, 5.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนดินจากแปลงนาข้าวอินทรีย์ มีปริมาณฟอสฟอรัส เท่ากับ 3.9, 4.3 และ 4.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

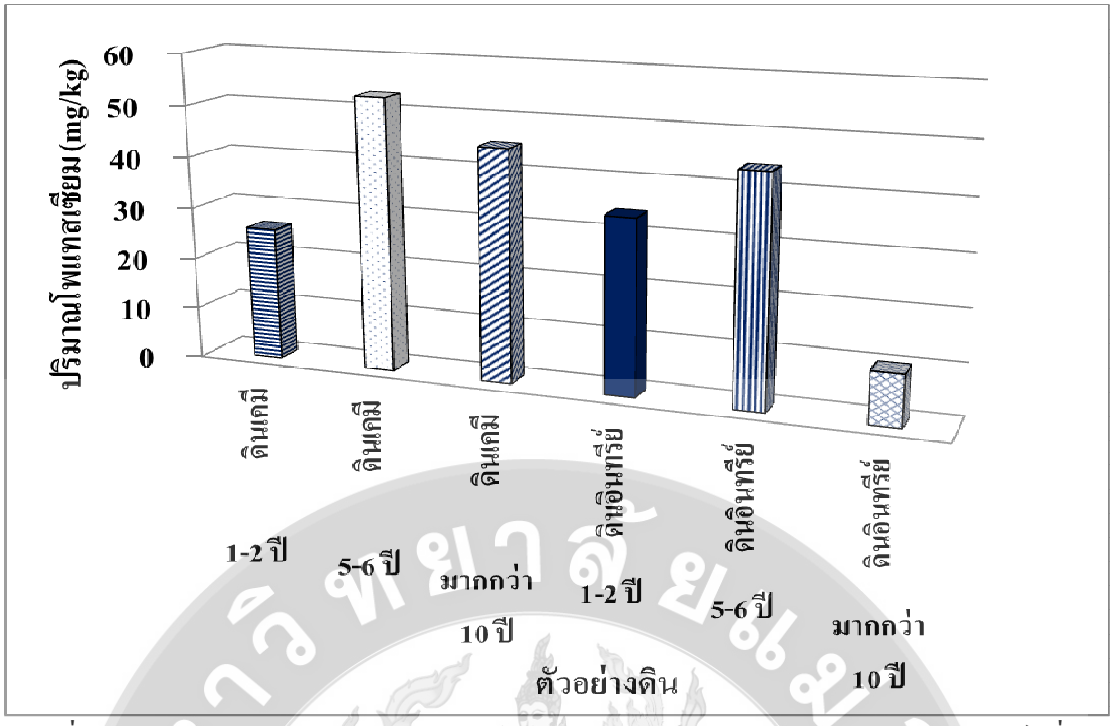


ภาพที่ 8 ปริมาณฟอสฟอรัสของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่าง ๆ

จากการนำตัวอย่างดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ทำการเกษตรระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และ 10 ปี ขึ้นไป มาวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในดิน ซึ่งวิเคราะห์ที่ส่วนวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 6 กรมพัฒนาที่ดิน จังหวัดเชียงใหม่ ผลการทดลองในภาพที่ 9 พบว่า ดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ปลูกข้าวมาระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มีปริมาณโพแทสเซียม เท่ากับ 26.0, 53.0 และ 45.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนดินจากแปลงนาข้าวอินทรีย์ มีปริมาณโพแทสเซียม เท่ากับ 34.0, 44.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

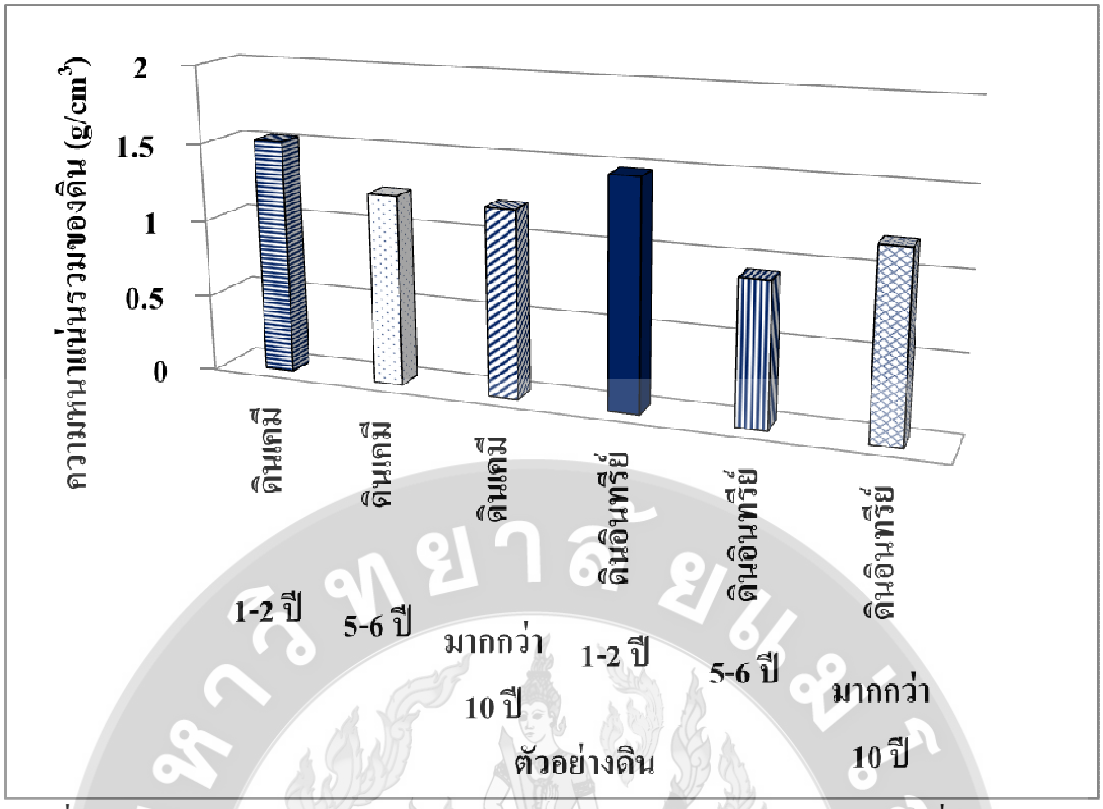
ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภายของดิน

จากการนำตัวอย่างดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ทำการเกษตรอินทรีย์ระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มาวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของดิน (bulk density) โดยวิเคราะห์ที่ส่วนวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 6 กรมพัฒนาที่ดิน จังหวัดเชียงใหม่ ผลการทดลองในภาพที่ 10 พบว่า ดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีที่ทำนาข้าวมาที่ระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มีค่าความหนาแน่นของดิน เท่ากับ 1.52, 1.23 และ 1.21 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนดินจากแปลงนาข้าวอินทรีย์ มีค่าความหนาแน่นของดิน เท่ากับ 1.47, 0.92 และ 1.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ

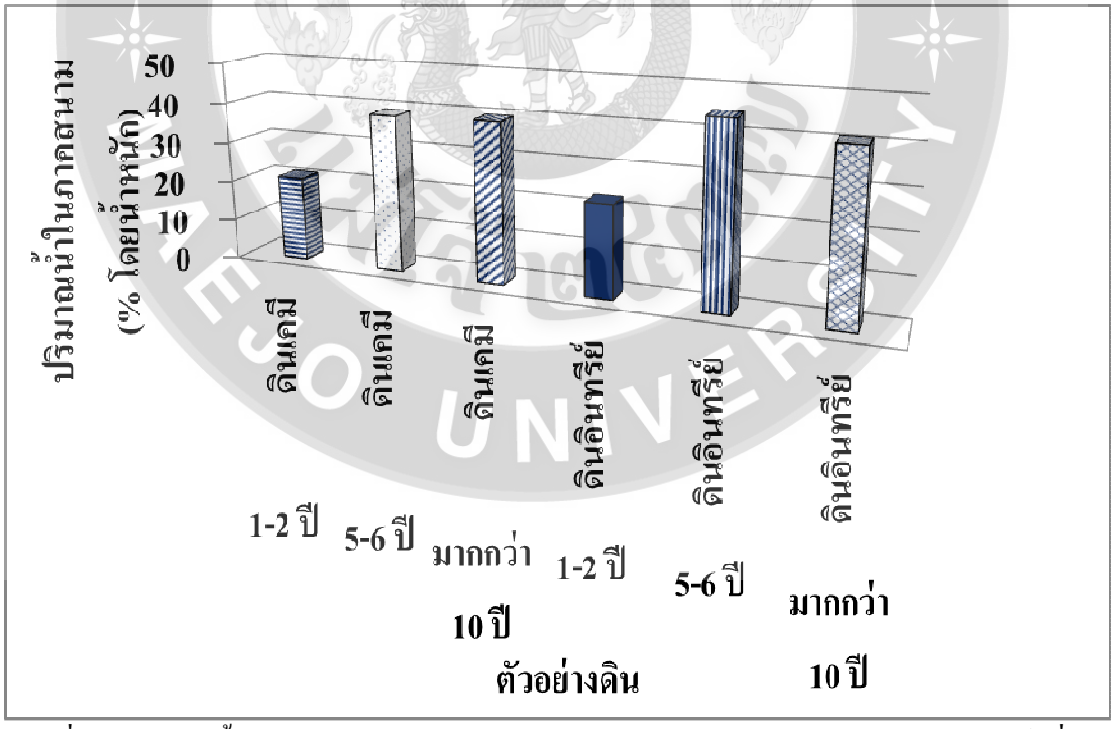


ภาพที่ 9 ปริมาณโพแทสเซียมของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่าง ๆ

จากการนำตัวอย่างดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ทำการเกษตรอินทรีย์ระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ 10 ปี ขึ้นไป มาวิเคราะห์ปริมาณน้ำในภาคสนาม (field water content) ซึ่งวิเคราะห์ที่สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 6 กรมพัฒนาที่ดิน ผลการทดลองในภาพที่ 11 พบว่า ดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ปลูกข้าวมาระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ 10 ปี ขึ้นไป มีปริมาณน้ำในภาคสนาม เท่ากับ 20.93, 38.85 และ 39.49 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ส่วนดินจากแปลงนาข้าวอินทรีย์ มีปริมาณน้ำในภาคสนาม เท่ากับ 22.70, 44.37 และ 40.83 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

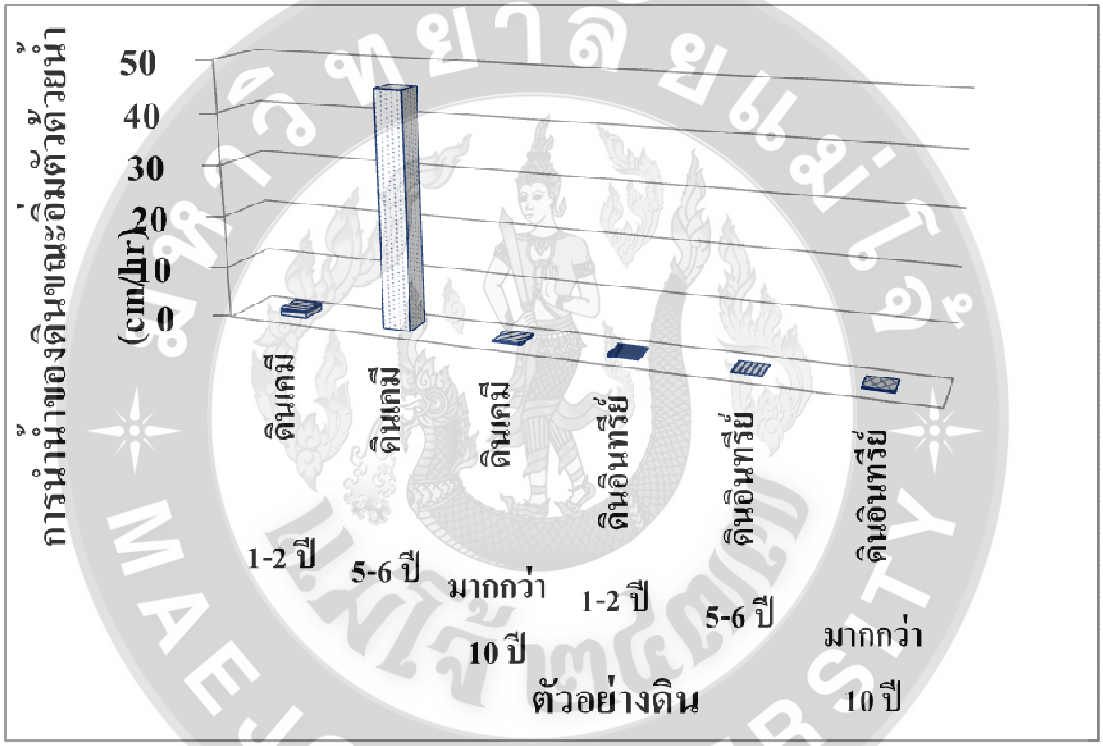


ภาพที่ 10 ค่าความหนาแน่นของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 11 ปริมาณน้ำในภาคสนามของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลาทำการเกษตรต่าง ๆ

จากการนำตัวอย่างดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ทำการเกษตรอินทรีย์ระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มาวิเคราะห์ค่าการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated hydraulic conductivity) วิเคราะห์ที่ส่วนวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 6 กรมพัฒนาที่ดิน ผลการทดลองในภาพที่ 7 พบว่า ดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีที่ปลูกข้าวมาระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มีค่าการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ เท่ากับ 1.40, 45.57 และ 0.29 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนดินจากแปลงนาข้าวอินทรีย์ มีค่าการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ เท่ากับ 0.46, วิเคราะห์ไม่ได้ผล และ 0.19 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ



ภาพที่ 12 ค่าการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลาต่าง ๆ

วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ในตัวอย่างดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดต่าง ๆ คือ อาหาร PCA, Czapek 's medium, ISP2, CMC agar, NFM, Pikovskaya 's medium และAleksandrov medium พบว่า บนอาหาร PCA พบจำนวนจุลินทรีย์มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดอื่น ๆ คือ พบจำนวนระหว่าง 10^5-10^6 CFU/g ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก อาหารดังกล่าวเป็น complete medium ซึ่งมีส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีส่วนประกอบที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อ เช่น Yeast extract, Tryptone และกลูโคส มากกว่าบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดอื่น ๆ แต่จากผลการทดลอง พบว่า จำนวนจุลินทรีย์ของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรอินทรีย์ที่ระยะการทำการเกษตร 5-6 ปี มีจำนวนจุลินทรีย์มากที่สุดประมาณ 10^6 CFU/g ส่วนบนอาหารเลี้ยงชนิดอื่น ๆ พบการเจริญของจุลินทร์น้อยกว่า คือระหว่าง 10^2-10^4 CFU/g อาจเนื่องจากเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่ช่วยแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์เฉพาะกลุ่มเท่านั้น และบนอาหาร Pikovskaya 's medium จากดินแปลงเกษตรเคมี 1-2 ปี ที่ไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อดังกล่าว ซึ่งอาหารนี้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับแยกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟต ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า ในดินจากแปลงเกษตรเคมีนี้พบจุลินทรีย์ที่ช่วยละลายฟอสเฟตในดินน้อยมาก หรือไม่พบเลย ถึงแม้ว่านำตัวอย่างดินที่ไม่ได้เจือจางไปเพาะเลี้ยงลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อก็ตาม แต่จากดินแปลงเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรระยะเวลา 1-2 ปี พบว่า มีจำนวนจุลินทรีย์ที่ช่วยละลายฟอสเฟตในดิน 10^4 CFU/g อาจเป็นผลมาจากระยะเวลาช่วงแรกของการปรับเปลี่ยนพื้นที่จากเกษตรเคมีเป็นเกษตรอินทรีย์นั้นเกษตรกรต้องปรับปรุงบำรุงดินโดยใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก รวมทั้งน้ำหมักชีวภาพ ซึ่งจะช่วยเพิ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ลงไปในดินซึ่งในการทำเกษตรเคมีนั้นมีแต่การใช้ปุ๋ยเคมีที่มีธาตุอาหารให้แก่พืชเท่านั้นแต่ไม่มีการปรับปรุงบำรุงดินโดยการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชลงไปในดินเลย ซึ่งในระยะเวลา 1-2 ปี ในช่วงปรับเปลี่ยนพื้นที่จากเกษตรเคมีเป็นเกษตรอินทรีย์อาจทำให้มีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในการเพิ่มธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของพืชเพิ่มมากขึ้นโดยวิธีการทางชีวภาพได้ แต่อย่างไรก็ตาม การไม่พบจุลินทรีย์ที่ละลายฟอสเฟตเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อเลย ไม่ได้หมายความว่าจะไม่มีจุลินทรีย์กลุ่มนี้อยู่ในดิน ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น สารอาหารและสภาวะแวดล้อมที่อาจไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ บนอาหารเลี้ยงเชื้อก็เป็นได้ นอกจากนี้ อาจมีจุลินทรีย์บางชนิดที่ไม่สามารถเพาะเลี้ยงให้เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อได้ (unculturable microorganisms)

จากการแยกจุลินทรีย์จากดินแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ที่ทำการเกษตรมาระยะเวลา 5-6 ปี บนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดต่าง ๆ พบว่า จำนวนจุลินทรีย์ที่แยกได้จากดินแปลงนาข้าวเกษตรอินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อทุกชนิดมีจำนวนจุลินทรีย์มากกว่าจำนวนจุลินทรีย์ที่แยกได้จากดินแปลงนาข้าวเกษตรเคมีเล็กน้อย ยกเว้นบนอาหาร CMC, NFM และ Pikovskaya's พบจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่าดินจากแปลงนาข้าวอินทรีย์ ซึ่งการทำเกษตรอินทรีย์ระยะเวลา 5 ปีขึ้นไป อาจเป็นระยะเวลานานพอที่ทำให้พื้นที่ทางการเกษตรปรับเปลี่ยนได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้ดินมีความสมบูรณ์มากกว่า เนื่องจากในการทำเกษตรอินทรีย์จะใช้อินทรียวัตถุในธรรมชาติ รวมทั้งไม่มีการเผาตอซังข้าวจึงทำให้มีความสมบูรณ์ของจำนวนจุลินทรีย์ที่พบได้มากกว่าดินในแปลงเกษตรเคมี ซึ่งการเผาตอซังข้าวมีผลทำลายสิ่งมีชีวิตรวมทั้งจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในดิน และยังมีผลทำให้สูญเสียคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินอีกด้วย นอกจากนี้ ในการทำเกษตรอินทรีย์มีการปรับปรุงบำรุงดินโดยการเพิ่มอินทรียวัตถุลงไปในดิน รวมทั้ง การใช้จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในทางการเกษตรในรูปแบบของน้ำหมักชีวภาพ หรือปุ๋ยอินทรีย์ในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ในดิน และไม่มีการทำลายจุลินทรีย์ที่มีเป็นประโยชน์โดยการเผาตอซังอีกด้วย

ส่วนตัวอย่างดินของแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ระยะเวลาทำการเกษตรมากกว่า 10 ปี พบว่า มีจำนวนจุลินทรีย์ที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิดใกล้เคียงกัน ยกเว้นในอาหาร CMC agar ที่พบจำนวนจุลินทรีย์ในดินเกษตรอินทรีย์น้อยกว่าดินที่แยกได้จากแปลงเกษตรเคมี ซึ่งอาจมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เกษตรกรอาจใส่อินทรียวัตถุประเภทลิกโนเซลลูโลสลงไปในพื้นที่ปลูกน้อย รวมทั้ง มีการจัดการพื้นที่แตกต่างกัน ซึ่งการทำการเกษตรอินทรีย์ ระยะเวลานานมากกว่า 10 ปี น่าจะเป็นเกษตรอินทรีย์ที่อาศัยวิถีธรรมชาติ หากเกษตรกรใส่อินทรียวัตถุ หรือจุลินทรีย์จากปุ๋ยชีวภาพ หรือน้ำหมักชีวภาพลงไปน้อยอาจส่งผลทำให้พบจำนวนจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ย่อยสลายเซลลูโลสได้น้อยได้ ดังนั้น อาจแนะนำให้เกษตรกรเพิ่มอินทรียวัตถุประเภทเซลลูโลสลงไปในพื้นที่ปลูกข้าวให้เพิ่มมากขึ้น รวมทั้ง เพิ่มจุลินทรีย์ในกลุ่มที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสลงไปในพื้นที่ปลูกข้าวเพื่อช่วยในการปรับปรุงบำรุงดินให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น แต่ในผลจากงานวิจัยนี้ จะเห็นว่า จำนวนจุลินทรีย์ที่พบในตัวอย่างดินมีจำนวนจุลินทรีย์ต่อดิน 1 กรัม ไม่สูงมาก ซึ่งโดยทั่วไป ในดิน 1 กรัม อาจพบจำนวนจุลินทรีย์ได้สูงถึง 10^8 CFU/g (นงลักษณ์ และปรีชา, 2544) ในการทดลองนี้พบจำนวนจุลินทรีย์น้อย ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจาก ผู้ทดลองผึ่งตัวอย่างดินสำหรับใช้ในการทดลองไว้ นานเกินไป อาจมีผลทำให้จุลินทรีย์บางส่วนตาย นอกจากนี้ สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อบางชนิดเป็นสูตรดัดแปลงที่ใช้สารบางชนิดทดแทนสารในสูตรมาตรฐาน จึงอาจมีสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการ

เจริญของจุลินทรีย์ จากรายงานของ ลักขณา (2555) ได้แยกจุลินทรีย์จากดินในแปลงนาข้าว โดยเพาะเลี้ยงเชื้อบนอาหาร PCA, CMC agar, NFM พบจำนวนแบคทีเรียอยู่ระหว่าง 10^4-10^7 CFU/g

เมื่อศึกษาจำนวนไอโซเลทของจุลินทรีย์ที่แยกได้จากตัวอย่างดินแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ โดยดูนาจำนวนไอโซเลทของจุลินทรีย์ที่มีลักษณะโคโลนีแตกต่างกันบนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด คือ บนอาหาร PCA, Czapek 's medium, ISP2, CMC agar, NFM, Pikovskaya 's medium และAleksandrov medium พบจำนวนไอโซเลทของจุลินทรีย์แต่ละชนิดคือ แบคทีเรีย เชื้อรา แอคติโนมัยสีท จุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลส จุลินทรีย์ที่ตรึงก๊าซไนโตรเจน จุลินทรีย์ที่ละลายฟอสเฟต จุลินทรีย์ที่ละลายโพแทสเซียม ซึ่งแยกได้จากดินแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ที่ทำนาข้าวระยะเวลา 1-2 ปี มีความหลากหลายของจุลินทรีย์ที่พบไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนจำนวนไอโซเลทของจุลินทรีย์ที่แยกได้จากดินจากแปลงนาข้าวเกษตรอินทรีย์ ทั้งระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และมากกว่า 10 ปี พบว่า มีจำนวนไอโซเลทของแบคทีเรียมากกว่าจุลินทรีย์อื่น ๆ ซึ่ง นงลักษณ์ และปรีชา (2544) กล่าวว่า แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่พบมากในดินทั้งชนิดและจำนวน และการทำเกษตรอินทรีย์อาจมีผลทำให้มีความหลากหลายของจุลินทรีย์มากกว่าเกษตรเคมี เนื่องจากมีการใช้ปุ๋ยชีวภาพ น้ำหมักชีวภาพ รวมทั้งการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุที่อาจมีผลส่งเสริมให้มีความหลากหลายของจุลินทรีย์รวมทั้งการทำเกษตรอินทรีย์ไม่มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช และไม่มีการเผาตอซังข้าวมีการปรับปรุงบำรุงดินโดยวิธีธรรมชาติ จึงอาจมีผลทำให้เกิดความสมดุลของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศดีกว่าการทำเกษตรเคมี

เมื่อศึกษาจำนวนไอโซเลทของจุลินทรีย์ที่แยกได้จากดินในแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและอินทรีย์ระยะเวลา มากกว่า 10 ปี พบว่า ในดินเกษตรอินทรีย์มีจำนวนไอโซเลทของจุลินทรีย์มากกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้ อาจขึ้นอยู่กับการจัดการของเกษตรกรซึ่งการทำเกษตรอินทรีย์ติดต่อกันระยะเวลานาน อาจเป็นเกษตรที่พึ่งพาธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตาม จำนวนไอโซเลทจุลินทรีย์จากดินในแปลงเกษตรที่มีการทำเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี ไม่สามารถนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกัน เนื่องจากแต่ละพื้นที่เกษตรกมีการจัดการที่แตกต่างกัน แต่อาจทำให้เห็นแนวโน้มว่าการทำเกษตรอินทรีย์อาจมีผลทำให้มีความหลากหลายของจุลินทรีย์มากขึ้นกว่าการทำเกษตรเคมีแบบเดิม อย่างไรก็ตาม การศึกษาความหลากหลายของจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้ออาจไม่สามารถระบุความหลากหลายของจุลินทรีย์ได้ชัดเจน เนื่องจากมีข้อจำกัด ได้แก่ มีจุลินทรีย์อีกหลายชนิดที่ไม่สามารถเพาะเลี้ยงให้เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ดังนั้น ในการศึกษาความหลากหลายของจุลินทรีย์น่าจะ

ใช้วิธีการทางชีวโมเลกุล (molecular biology) มาช่วยในการศึกษาเพื่อดูความหลากหลายของจุลินทรีย์ได้แน่นอนมากยิ่งขึ้น แต่ในการทดลองนี้ผู้ทดลองใช้อาหารเลี้ยงเชื้อหลากหลายชนิดและใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีคุณสมบัติจำเพาะที่ช่วยในการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในทางการเกษตรเพื่อช่วยในการแยกเชื้อและอาจจะนำเชื้อที่แยกได้ไปคัดเลือกเชื้อที่ดีและมีประโยชน์ในทางการเกษตรในแต่ละด้าน เช่น จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลส จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจน จุลินทรีย์ที่ละลายฟอสเฟต จุลินทรีย์ที่ละลายโพแทสเซียมในดิน รวมทั้ง จุลินทรีย์อื่น ๆ ที่มีประโยชน์ในทางการเกษตร เพื่อเป็นแนวทางที่จะนำจุลินทรีย์ที่แยกได้ไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินที่ใช้ในทางการเกษตรให้มีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้นได้ในอนาคต เพื่อเพิ่มศักยภาพให้กับภาคการเกษตรของไทย ให้สามารถแข่งขันกับนานาประเทศได้อีกด้วย

ในงานวิจัยนี้ ได้นำแบคทีเรียทั้งหมดที่แยกได้มาศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้นโดยการย้อมสีแบบแกรม พบว่า เป็นแบคทีเรียแกรมบวกรูปร่างท่อน แกรมบวกรูปร่างกลม เป็นแบคทีเรียแกรมลบรูปร่างท่อน และแกรมลบรูปร่างกลม จำนวน 35, 38, 59 และ 33 ไอโซเลท ตามลำดับ ซึ่งลักขณา (2555) รายงาน การแยกจุลินทรีย์จากดินในแปลงนาข้าว พบว่า เป็นแบคทีเรียแกรมบวกรูปร่างท่อน และรูปร่างกลม จำนวน 28 และ 7 ไอโซเลท ตามลำดับ และเป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปร่างท่อนและรูปร่างกลม จำนวน 8 และ 3 ไอโซเลท ตามลำดับ และจำแนกแบคทีเรยโดยการหาลำดับเบสของดีเอ็นเอ ในส่วนของยีน 16rRNA พบ แบคทีเรียที่จำแนกได้ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus* sp. ได้แก่ *Bacillus subtilis, B. cereus, B. pumilus, B. megaterium, B. aryabhattai, B. thruringiensis, B. luciferensis* และ *Paenibacillus alvei* และ แบคทีเรียอื่น ๆ ได้แก่ *Kocuria flava, Xanthomonas* sp., *Gordonia rubripertincta, Pseudomonas aeruginosa, Aeromonas hydrophila, Rhodococcus rhodochrous, Acidovorax delafieldii, Vogesella indigofera, Deinococcus geothermalis, Micrococcus* sp., *Rhodococcus pyridinivorans, Pseudomonas stuzeri* และ *Burkholderia caribensis*

Marinari *et al.* (2006) เปรียบเทียบคุณสมบัติของดินที่ทำการเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ในอิตาลีตอนกลาง โดยใช้คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางจุลชีววิทยาเป็นสิ่งบ่งชี้ถึงคุณภาพตามความลึก 5-20 และ 20-35 เซนติเมตร หลังจากทำการเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมีมาระยะเวลา 7 ปี พบว่า การจัดการภายใต้เกษตรอินทรีย์มีสารอาหารในดินและจุลินทรีย์มากซึ่งมีผลทำให้เพิ่มปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ และมีผลในการเพิ่มมวลเซลล์ของจุลินทรีย์และกิจกรรมของเอนไซม์ acid phosphatase, protease และ dehydrogenase แต่ไม่พบการเพิ่มขึ้นของอินทรีย์คาร์บอน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทำเกษตรอินทรีย์ในระยะเวลา 7 ปี มีผลอย่างยิ่งต่อคุณภาพทางจุลชีววิทยาของดิน ซึ่งเป็นสิ่งที่แตกต่าง

ของดินเกษตรอินทรีย์และดินเกษตรเคมีที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ซึ่ง Huang *et al.* (2005) รายงานว่า แร่ธาตุ อินทรียวัตถุ และจุลินทรีย์มีความสัมพันธ์กันที่ทำให้เกิดฮิวมิก และมีความเสถียรของเอนไซม์ รวมทั้งการเปลี่ยนรูปแบบของแร่ธาตุต่าง ๆ ของการหมุนเวียนของธาตุในวัฏจักรคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและซัลเฟอร์ได้

Melero *et al.* (2006) วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ชีวมวลของจุลินทรีย์ และวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ protease, urease และ alkaline phosphatase ของดินร่วนปนทรายแป้ง เปรียบเทียบดินจากการเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ หลังจากทำการเกษตร 4-6 ปี พบว่า ดินจากแปลงเกษตรอินทรีย์มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ชีวมวลของจุลินทรีย์ และวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ เพิ่มขึ้นมากกว่าดินจากแปลงเกษตรเคมีอย่างมีนัยสำคัญและยังได้ผลผลิตจากแปลงเกษตรอินทรีย์สูงกว่าเกษตรเคมีอย่างเห็นได้ชัด และผลการวิเคราะห์ลักษณะทางชีวเคมีของดินก็มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และปริมาณสารอาหาร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจัดการแบบเกษตรอินทรีย์มีผลในทางที่ดีต่อปริมาณสารอินทรีย์ในดินซึ่งจะช่วยในการปรับปรุงคุณภาพดินและปริมาณผลผลิตให้ได้สูงขึ้นด้วย

ต่อมา Lopes *et al.* (2011) ประเมินการเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยาโดยเปรียบเทียบของนาข้าวเกษตรอินทรีย์กับเกษตรแบบทั่วไปของที่ดินแปลงนาข้าวที่อยู่ติดกัน โดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ (ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมด ค่าความเป็นกรด-ด่าง อัตราส่วน C:N และปริมาณ คุณสมบัติทางชีวเคมี เช่น กิจกรรมของเอนไซม์ในดินและการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ในดิน เช่น แบคทีเรียและแอคติโนมัยซีส เชื้อรา และประเมินความหลากหลายของแบคทีเรีย พบว่า กิจกรรมของจุลินทรีย์ของแปลงนาข้าวทั้งในระบบการจัดการทางการเกษตรทั้ง 2 ระบบ มีความคล้ายคลึงกัน ยกเว้นในช่วงเดือนมิถุนายน การทำงานของเอนไซม์ในดิน ปริมาณน้ำและจำนวนเชื้อรามีการเปลี่ยนแปลง และพบว่า มีความหลากหลายของจุลินทรีย์ในแปลงนาข้าวเกษตรอินทรีย์มากกว่าในแปลงเกษตรทั่วไป ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณโมลิเนท (molinate) มีการเปลี่ยนแปลงมาก ซึ่ง Mahdi *et al.* (2010) รายงานว่าการใช้ปุ๋ยชีวภาพมีความจำเป็นต่อการทำเกษตรอินทรีย์ เนื่องจากเป็นการเพิ่มสารอาหารที่จำเป็นที่มีบทบาทในการรักษาคุณภาพของดินในแปลงเกษตรอินทรีย์ให้มีชีวิตในระยะยาวและยั่งยืน ซึ่งปัจจุบันมีการทำปุ๋ยชีวภาพออกมาในรูปที่เป็นของเหลว หรือน้ำหมักชีวภาพ ซึ่งทำให้เกษตรกรสะดวกในการนำไปใช้ได้ง่าย และสามารถผลิตปุ๋ยน้ำชีวภาพในเชิงการค้าได้อีกด้วย นอกจากนี้ Herencia *et al.* (2011) เปรียบเทียบคุณภาพทางโภชนาการของพืชที่ปลูกในดินที่เป็นเกษตรอินทรีย์กับดินแปลงเกษตรทั่วไปในสเปน โดยศึกษาธาตุอาหารหลัก เปอร์เซ็นต์วัตถุ

แห้ง ปริมาณไนเตรท ในพืชกินได้ พบว่า ความเข้มข้นของไนเตรทในพืชต่ำกว่าพืชที่ปลูกแบบระบบเกษตรอินทรีย์ และพบว่ามีปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่าแต่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าในพืชที่ปลูกแบบระบบเกษตรอินทรีย์ คุณค่าทางโภชนาการของพืชอินทรีย์ไม่ได้มีผลมาจากชนิดของปุ๋ยเพียงอย่างเดียว แต่ยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีก เช่น คุณลักษณะของปุ๋ยและการจัดการในแต่ละรอบของการปลูก ซึ่งมีอิทธิพลต่อปริมาณสารอาหารในพืชมากกว่า

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดิน

เมื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัส ปริมาณโพแทสเซียม พบว่า ดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ที่ทำนาข้าว ระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินแปลงเกษตรเคมีระหว่าง 4.6-5.2 ส่วนดินแปลงเกษตรอินทรีย์มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 4.7-5.3 จะเห็นว่า ดินตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งตามเกณฑ์การประเมินค่าความเป็นกรด-ด่างในดิน ที่มีค่าระหว่าง 4.5-5.4 จัดเป็นดินที่อยู่ในสภาพที่เป็นกรดจัด ซึ่งดินตัวอย่างที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ จัดเป็นดินที่อยู่ในสภาพเป็นกรดจัด การที่ดินในแปลงเกษตรมีสภาพเป็นกรดจัดอาจเป็นผลมาจากการใช้ปุ๋ยเคมีบางชนิดที่ส่งผลให้ดินอยู่ในสภาพเป็นกรด ส่วนดินในแปลงเกษตรอินทรีย์ทั้งที่ทำการเกษตรมาระยะเวลานาน 5 – 10 ปี ก็มีดินที่อยู่ในสภาพเป็นกรดจัดเช่นกัน ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับ การดูแลปรับปรุงบำรุงดินของเกษตรกร ซึ่งการดินที่อยู่ในสภาพที่เป็นกรดจะมีผลเสียต่อการเจริญของพืชคือ ระดับความเป็นเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร ดินที่เป็นกรดจะมีแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส กำมะถันและโมลิบดินัมค่อนข้างต่ำ ความเป็นพิษของอลูมิเนียม ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5.5 อลูมิเนียมจะถูกปลดปล่อยจากดินเหนียวซิลิเกตทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชเช่นเดียวกับแมงกาเนีสและเหล็ก นอกจากนี้ ดินที่มีความเป็นกรดจะมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน แต่แบคทีเรียส่วนใหญ่จะเจริญได้ดีเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง ส่วนยีสต์และเชื้อราเจริญได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด และแอคติโนมัยซีสเจริญได้ดีในสภาวะดินที่เป็นด่าง ซึ่งการเกิดสภาวะที่เป็นกรดมีผลเสียต่อการเจริญและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินทำให้หยุดชะงัก เช่น กระบวนการตรึงไนโตรเจน ฟอสฟอรัส หรือกำมะถันลดลง ซึ่งเมื่อดินเป็นกรด อลูมิเนียม แมงกานีส และเหล็กจะมีปริมาณมากจนเป็นพิษ แคลเซียม แมกนีเซียม จะมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชเนื่องจากถูกชะละลายออกไปจากดินได้ง่าย โมลิบดินัมจะมีปริมาณน้อยเนื่องจากไม่สามารถละลายออกมาเป็น

ประโยชน์ต่อพืช ส่วนไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถันมีปริมาณน้อยเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเป็นไปอย่างช้า ๆ

วิธีการปรับปรุงดินที่เป็นกรดสามารถทำได้โดย การใส่ปูน ปกติการแก้ไขความเป็นกรดต้องใช้ด่าง เช่น โซเดียม ไฮดรอกไซด์ หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่การแก้ไขดินกรดนั้นจำเป็นต้องใช้ปูน (lime) แทนเนื่องจากปูนมีฤทธิ์เป็นด่าง หาง่ายและราคาถูก ซึ่งการใส่อินทรียวัตถุ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหารและการเก็บความชื้นให้กับดินโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในรูปของปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด หรือวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรม การใส่ปุ๋ยหมักควรใช้ในอัตรา 2-3 ตันต่อไร่ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ดินกรดจะมีปัญหาการขาดฟอสฟอรัสเนื่องจากถูกตรึงด้วยเหล็กและอะลูมินัม ดินที่ไม่มีการใส่ปูนเพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของดินควรใช้ปุ๋ยที่ละลายช้า เช่น หินฟอสเฟต ส่วนดินที่มีการใส่ปูนเพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของดินแล้วควรใส่ปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายเร็ว การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนดินกรด โดยทั่วไปมักขาดธาตุไนโตรเจน จึงควรใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในรูปของปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยพืชสดร่วมกับปุ๋ยเคมีที่ให้ไนโตรเจน ซึ่งไม่ควรเป็นปุ๋ยที่มีผลตกค้างเป็นกรด เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต แต่ควรเลือกใช้ปุ๋ยยูเรียซึ่งให้ผลตกค้างเป็นกรดน้อยกว่าหรืออาจใช้ปุ๋ยที่มีผลตกค้างเป็นด่าง เช่น แคลเซียมไนเตรทและโพแทสเซียมไนเตรท เป็นต้น

นอกจากนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินอาจส่งผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ เนื่องจากในสภาวะที่เป็นกรดอาจทำให้มียับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิด ซึ่งอาจมีเฉพาะจุลินทรีย์พวกที่ชอบสภาวะที่เป็นกรด (acidophile) เจริญได้เท่านั้นจึงส่งผลให้พบจำนวนจุลินทรีย์น้อยเช่นเดียวกัน

ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ไม่ได้มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่จะมีผลทางอ้อมคือเป็นตัวควบคุมการละลายของธาตุอาหารพืชออกมาสู่สารละลายดินให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดซึมขึ้นไปใช้ได้รวมทั้งควบคุมการละลายสารอื่น ๆ ที่อาจเป็นพิษต่อพืชด้วย เช่น เหล็ก อะลูมินัม แมงกานีส จะละลายออกมาได้มากในดินกรด ทำให้เกิดเป็นอันตรายต่อพืช และยังจะส่งเสริมการตรึงฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปของเหล็ก และอะลูมินัมฟอสเฟต ซึ่งยากแก่พืชที่จะใช้ประโยชน์ ทั้งนี้ เนื่องจากเหล็กและอลูมินัมฟอสเฟตที่อยู่ในสภาพที่ละลายน้ำ (soluble) ได้นั้นมีมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำกว่า 5.0 เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตลงไปในดินที่เป็นกรด ส่วนใหญ่ของปุ๋ยที่ใส่ลงไปจะทำปฏิกิริยากับเหล็กและอลูมินัมเสียหมดทำให้เหลือส่วนที่พืชจะนำไปใช้ประโยชน์น้อยลง (สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, 2547)

Kemmitt *et al.* (2006) พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการหมุนเวียนและการผลิตของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ไนโตรเจนในดินทางการเกษตร และ

การเปลี่ยนแปลงในค่าความเป็นกรด-ด่างในดิน ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินและอัตราการเกิดของวัฏจักรคาร์บอนและไนโตรเจนในดินอีกด้วย

จากการนำตัวอย่างดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ทำการเกษตรอินทรีย์ระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มาวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมี ระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มีค่าใกล้เคียงกันคือมีค่าอยู่ระหว่าง 1.85 - 2.12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินจากแปลงนาข้าวอินทรีย์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.98-1.98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณอินทรียวัตถุในดินทุกแหล่งมีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับปานกลาง ดังนั้น เกษตรกรควรจะปรับปรุงดินโดยการเพิ่มอินทรียวัตถุลงไปในดินให้มากขึ้น ได้แก่ การเพิ่มปริมาณปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก หรือวัสดุเหลือทิ้งที่มีลิกโนเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบ นอกจากนี้ การเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ลงไปในดิน อาจช่วยปรับปรุงคุณภาพของดินให้ดียิ่งขึ้นได้อีกแนวทางหนึ่ง

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ต้องใส่ระยะเตรียมดิน คือไถกลบลงในดินก่อนปลูกข้าว 2-3 สัปดาห์ เพื่อให้เวลาปุ๋ยอินทรีย์ย่อยสลายลงในดินก่อนการหว่านข้าวหรือปักดำ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ ทั้งปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก สำหรับปุ๋ยพืชสด แนะนำให้ปลูกพืชตระกูลถั่ว ได้แก่ ถั่วพุ่ม ถั่วเขียว หรือ โสน ได้แก่ โสนอัฟริกัน โสนอินเดีย ปลูกและไถกลบก่อนเตรียมดินปลูกข้าว

Xie *et al.* (2014) พบว่า การใส่ปุ๋ยคอกเป็นระยะเวลานานถึง 25 ปี ช่วยส่งเสริมให้มีปริมาณน้ำตาลสะสมในดินและมีผลต่ออนุภาคของอินทรียวัตถุในดินมีมากขึ้น ซึ่งการมีน้ำตาลสะสมในดินมากขึ้นส่งผลดีต่อการเจริญของทั้งพืชและจุลินทรีย์ในดินที่จะสลายสารประกอบต่าง ๆในดิน ซึ่งมีผลต่อผลผลิตพืชที่สูงขึ้นด้วย

จากการนำตัวอย่างดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ทำการเกษตรอินทรีย์ระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ 10 ปี ขึ้นไป มาวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมี ปลูกข้าวระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มีค่าอยู่ระหว่าง 3-10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเกณฑ์การประเมินปริมาณฟอสฟอรัสในดินมีค่าอยู่ระหว่าง 3-10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถือว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้อยู่ต่ำ ส่วนดินจากแปลงเกษตรอินทรีย์ ปลูกข้าวระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มีค่าอยู่ระหว่าง 3.9-4.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งก็ถือว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในเกณฑ์ต่ำเช่นเดียวกัน แต่ดินจากแปลงเกษตรเคมี ที่ทำนาข้าวมาระยะเวลา 1-2 ปี มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าดินจากจากแหล่งอื่น ๆ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากเกษตรกรอาจมีการเติมปุ๋ยที่มีฟอสเฟตมากลงไปในดิน แต่ดินในแปลงอื่น ๆ มีค่าปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในเกณฑ์ต่ำ

ซึ่งคำแนะนำคือเกษตรกรควรปรับปรุงดินโดยการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่สามารถช่วยละลายฟอสเฟตได้ ลงไปในดินในรูปของปุ๋ยชีวภาพ ซึ่งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการทำให้ฟอสเฟตเป็นประโยชน์ต่อพืชมีความสำคัญ เพราะฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารพืชที่สำคัญธาตุหนึ่ง มีฟอสเฟตอยู่ในดินเป็นจำนวนมาก แต่ฟอสเฟตจะถูกตรึงอยู่ในดิน โดยกระบวนการทางเคมี อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ จุลินทรีย์บางชนิดในดินจะช่วยทำให้ฟอสเฟตที่ถูกยึดตรึงอยู่ในดิน ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ จุลินทรีย์เหล่านี้ ได้แก่ พวกที่ช่วยดูดซับฟอสเฟตให้กับพืชนำไปใช้ได้ จุลินทรีย์พวกนี้ได้แก่ ไมโคไรซา (Mycorrhiza) ซึ่งเป็นพวกเชื้อราชนิดหนึ่ง ที่อาศัยอยู่ที่รากพืชและในดินบริเวณรากพืชจะช่วยดูดซับฟอสเฟตให้พืชนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ และยังช่วยป้องกันไม่ให้ฟอสเฟตที่ละลายออกมา ถูกยึดตรึงโดยปฏิกิริยาทางเคมีของดิน เช่น เอนโดไมโคไรซา (Endomycorrhiza) หรือ วี-เอ ไมโคไรซา (VA mycorrhiza) จะอยู่ร่วมกับพืชพวกพืชไร่ พืชสวน พืชผักเป็นส่วนใหญ่ และ เอคโตไมโคไรซา (Ectoycorrhiza) จะอาศัยอยู่นอกรากพืชหรือบริเวณรอบรากพืช และมักอยู่ร่วมกับ ไม้ยืนต้น ไม้ปลูกป่า เช่น สน เป็นต้น ส่วนจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งเป็นพวกที่ช่วยละลายหินฟอสเฟตหรือฟอสเฟตในดินเนื่องจากหินฟอสเฟตโดยทั่วไป จะมีปริมาณฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อย ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช รวมทั้งฟอสเฟตที่ถูกยึดตรึงอยู่ในดิน ที่พืชไม่สามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ พบว่ามีจุลินทรีย์ดินหลายชนิด ที่เป็นทั้งพวกแบคทีเรีย และเชื้อรา สามารถทำให้หินฟอสเฟตและฟอสเฟตที่ถูกยึดตรึงอยู่ในดิน ให้ละลายออกมา ทำให้ฟอสเฟตอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้เพิ่มมากขึ้น เช่น *Bacillus, Pseudomonas, Aspergillus, Penicillium* เป็นต้น นอกจากนี้ ฟอสฟอรัส ยังเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญของแหนแดงอีกด้วย

Sharma *et al.* (2007) รายงานว่า แบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ที่แยกได้จากดิน คือ *Pseudomonas fluorescens* และ *Bacillus megaterium* สามารถช่วยละลายฟอสเฟต มีความสามารถในการผลิตสารส่งเสริมการงอกและการเจริญของเมล็ดถั่วชิกพี (chickpea) ได้

Bunemann *et al.* (2008) ศึกษาศักยภาพของจุลินทรีย์ที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของฟอสฟอรัสที่อินทรีย์ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่ในดินที่มีสภาพเป็นกรดและดินที่มีสภาพเป็นด่าง ที่มีการเติมแหล่งคาร์บอนชนิดต่าง ๆ ได้แก่ กลูโคส แป้ง และเซลลูโลส ในที่มีและไม่มีอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินที่มีสภาพเป็นกรดและดินที่มีสภาพเป็นด่าง พบว่า การเติมแหล่งคาร์บอนชนิดต่าง ๆ มีผลช่วยเพิ่มชีวมวลของของจุลินทรีย์ ยกเว้นดินในสภาพเป็นด่าง และพบว่า สิ่งอิทธิพลต่อกลุ่มประชากรของจุลินทรีย์ คือชนิดของดินมากกว่าอิทธิพลจากแหล่งคาร์บอน pyrophosphate สัมพันธ์ทางบวกกับเชื้อราและ Diester P สัมพันธ์ทางบวกกับค่าความ

เป็นกรด-ด่าง และอินทรีย์ฟอสฟอรัสถูกสังเคราะห์ให้เป็นสารประกอบง่ายๆ มากกว่าที่จะอยู่ในรูปสารประกอบที่ซับซ้อนโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในธรรมชาติ

แนวทางการจัดการเกี่ยวกับธาตุฟอสฟอรัสในดิน ให้เพียงพอกับความต้องการของพืช ได้แก่ รักษาระดับความเป็นกรด-ด่างของดินให้อยู่ในช่วง pH 6.0-7.0 รักษาระดับอินทรียวัตถุในดินให้สูงอยู่เสมอ การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตให้กับพืช ควรลดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างปุ๋ยกับดินเพื่อลดปฏิกิริยาการตรึงฟอสเฟต โดยการใส่แบบโรยเป็นแถวใกล้กับบริเวณรากพืช การใส่ปุ๋ยที่ละลายยาก เช่น หินฟอสเฟตควรหว่านและพรวนให้ผสมคลุกเคล้ากับดินและปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของดินให้อยู่ระหว่าง 5.0-6.0 เพื่อให้อนุภาคของปุ๋ยละลายออกมาพร้อม ๆ กันกับแร่ฟอสเฟตดั้งเดิมในดิน พืชเมื่อขาดฟอสฟอรัส จะมีต้นแคระแกรน ใบมีสีเขียวคล้ำ ใบล่าง ๆ จะมีสีม่วงตามบริเวณขอบใบรากของพืชชะงักการเจริญเติบโต พืชไม่ออกดอกและผล พืชที่ได้รับฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอจะมีระบบรากที่แข็งแรงแพร่กระจายอยู่ในดินอย่างกว้างขวาง สามารถดึงดูดน้ำและธาตุอาหารได้ดี การออกดอกผลจะเร็วขึ้น

จากการนำตัวอย่างดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ทำการเกษตรอินทรีย์ระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มาวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในดิน ผลการทดลอง พบว่า ดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีที่ทำนาข้าวมาระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี ขึ้นไป มีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ระหว่าง 26.0-53.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนดินจากแปลงนาข้าวอินทรีย์ มีปริมาณโพแทสเซียม อยู่ระหว่าง 10.0-44.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งระดับมาตรฐานในการประเมินปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินคือ น้อยกว่า 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถือว่ามีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก ยกเว้น ดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมี 5-6 ปี, มากกว่า 10 ปี และดินเกษตรอินทรีย์ 1-2 ปี และ 5-6 ปี ซึ่งปริมาณโพแทสเซียมที่มีประโยชน์ต่อพืชในดินที่อยู่ในช่วง 30-60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามเกณฑ์นับว่ามีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งทั้งดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ทำการเกษตรมีโพแทสเซียมไม่สูง ดังนั้น เกษตรกรควรเพิ่มปริมาณธาตุดังกล่าวให้สูงขึ้นเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการเจริญต่อต้นพืช โดยหากเป็นดินแปลงเกษตรเคมีควรใช้ปุ๋ยเคมีที่มีโพแทสเซียมสูง ส่วนดินแปลงเกษตรอินทรีย์ควรปรับปรุงดินโดยการเพิ่มจุลินทรีย์ที่สามารถละลายโพแทสเซียมลงไปในดิน ดินที่เป็นกรดส่วนใหญ่จะขาดโพแทสเซียมเนื่องจากถูกละลายจึงควรใส่โพแทสเซียมในรูปของโพแทสเซียมคลอไรด์ หรือในรูปของปุ๋ยผสม การใส่ธาตุอาหารเสริม (จุลธาตุ) เนื่องจากดินกรดจะมีปัญหาการขาดธาตุอาหารเสริมทุกตัวยกเว้นเหล็ก จึงมีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยธาตุอาหารเสริมให้ทางดิน หรือผสมน้ำฉีดพ่นให้ทางใบพร้อมยากำจัดศัตรูพืช การใช้พันธุ์พืชที่ทนต่อสภาพดินกรด

การเลือกพืชที่ทนต่อสภาพดินกรดมาปลูกในพื้นที่ดินกรดจะช่วยลดต้นทุนในการปรับปรุงดินได้มาก การเลือกใช้ระบบการปลูกพืชให้เหมาะสม เนื่องจากธาตุอาหารในดินกรดจะถูกละลายลงสู่ดินชั้นล่างจึงควรปลูกพืชที่มีระบบรากลึกสลับกับรากตื้นเพื่อนำธาตุอาหารที่ถูกละลายลงสู่ดินล่างมาใช้ประโยชน์

Wu *et al.* (2005) ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพที่ประกอบไปด้วยแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจน แบคทีเรียที่ช่วยปลดปล่อยฟอสเฟตและโพแทสเซียมจากดิน รวมทั้ง Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) เพื่อช่วยในการเจริญของข้าวโพดที่ปลูกในเรือนทดลอง พบว่า เมื่อผสมจุลินทรีย์ทั้ง 4 กลุ่มคือ AMF คือ *Glomus misseae* หรือ *Glomus intraradices* ในที่มีและไม่มีแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน (N_2 fixer) (*Azotobacter chroococcum*) แบคทีเรียที่ช่วยปลดปล่อยฟอสเฟตจากดิน คือ *Bacillus megaterium* และแบคทีเรียที่ช่วยปลดปล่อยโพแทสเซียมจากดิน คือ *Bacillus mucilaginous* พบว่า การใช้ AMF ร่วมกับแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด มีผลทำให้ต้นข้าวโพดเจริญเติบโตในด้านของน้ำหนัก ความสูงของการงอกมากที่สุด และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อใส่ปุ๋ยชีวภาพดังกล่าวลงไปในดินเพียงปริมาณเล็กน้อย ก็พบว่า ต้นข้าวโพดมีการเจริญเติบโตได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี ซึ่งการใช้ปุ๋ยชีวภาพนั้นไม่เพียงแต่ทำให้ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการในพืชสูงขึ้นเท่านั้น แต่ยังมีผลในการปรับปรุงคุณภาพดินโดยการเพิ่มปริมาณธาตุต่าง ๆ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม รวมทั้ง เพิ่มปริมาณสารอินทรีย์และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินอีกด้วย ในทางกลับกัน ในการทดลองนี้ พบว่า พวก AMF มีผลในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ช่วยปลดปล่อยฟอสเฟตจากดินคือ *Bacillus megaterium* ซึ่งมีผลทำให้ดินขาดธาตุฟอสเฟต แต่การเกิดสภาพเช่นนี้มีผลทำให้ส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียพวกที่ตรึงไนโตรเจน และพบ AMF จำนวนมาก

แนวทางการจัดการเกี่ยวกับธาตุโพแทสเซียมในดิน ได้แก่ คำนึงถึงความสามารถในการปลดปล่อยโพแทสเซียมให้แก่พืชของดิน โดยทั่วไปดินที่มีเนื้อละเอียด หรือดินเหนียวมักจะมีปริมาณโพแทสเซียมเพียงพอสำหรับพืชที่ปลูกจึงไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มให้แก่พืช หรือถ้าใส่ก็ควรใส่ในปริมาณน้อยเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการดูดซึมเกินพอ ซึ่งหมายถึงการที่พืชใช้ปุ๋ยในปริมาณที่เกินความต้องการสำหรับการเจริญเติบโตโดยไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ ทำให้เกิดการสูญเสียปุ๋ยโดยเปล่าประโยชน์ ส่วนในกรณีของดินเนื้อหยาบที่มีปริมาณโพแทสเซียมไม่เพียงพอควรใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในปริมาณที่เหมาะสมกับชนิดของดินและพืชที่ปลูก วิธีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมให้แก่ดิน ควรแบ่งใส่ปุ๋ยครั้งละน้อย ๆ แต่บ่อยครั้ง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสีย ควรมีการจัดการดินอย่างถูกต้องเพื่อป้องกันไม่ให้ดินเสื่อมความ

อุดมสมบูรณ์ลงอย่างรวดเร็ว และเพื่อช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมในดิน เช่น การไถกลบตอซัง หรือเศษเหลือของพืชลงไปในดินหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตและการป้องกันไม่ให้หน้าดินเกิดการกร่อน หรือสูญเสียไปกับย้ำไหลบ่า ซึ่งจะช่วยรักษาระดับโพแทสเซียมในดินไว้ไม่ให้ลดลงเร็วกว่าที่ควรได้อีกทางหนึ่ง โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชธาตุหนึ่ง จะแตกต่างไปตามชนิดของดิน วัตถุต้นกำเนิดดิน ระยะเวลาของการกัดกร่อนและชะล้างดิน มักจะมีเพียงพอในดินที่มีปริมาณดินเหนียวสูงแต่ขาดแคลนมากในดินทีเป็นดินทราย ดังนั้น เนื้อดินจึงเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งควบคุมปริมาณการใช้ประโยชน์ของโพแทสเซียม การขาดธาตุโพแทสเซียมของพืช เมื่อธาตุอาหารในดินไม่เพียงพอจะมีลักษณะอาการที่ใบคือขอบใบจะม้วนงอ ใบจะแห้งเป็นมัน มีจุดสีน้ำตาลอยู่ทั่วไป พบเห็นชัดเจนในใบตอนที่อยู่ส่วนล่าง ๆ ของต้นพืช ลักษณะอาหารในต้นพืช คือ ต้นโตช้า ผลสุกไม่สม่ำเสมอ ถ้าเป็นมะเขือเทศจะเละ

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่

การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของดิน (bulk density) จากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ทำการเกษตรอินทรีย์ระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และมากกว่า 10 ปี มา พบว่า ดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีที่ทำนาข้าวมาระยะเวลา 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มีค่าความหนาแน่นของดินอยู่ ระหว่าง 1.21- 1.52 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนดินจากแปลงนาข้าวอินทรีย์ มีค่าความหนาแน่นของดิน ระหว่าง 0.92-1.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากผลการทดลอง พบว่า ตัวอย่างดินทุกชนิดมีความหนาแน่นดินไม่สูงมากนักและไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งหากความหนาแน่นของดินมากเกินไป เนื่องจาก มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินอยู่น้อย อาจมีผลเสียคือทำให้รากพืชเจริญลงไปในดินได้ยากซึ่งการปัญหาดินที่มีความหนาแน่นมากเกินไปอาจทำได้โดยโดยการใส่อินทรียวัตถุเพิ่มลงไปในดิน

ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในภาคสนาม ของตัวอย่างดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ทำการเกษตรอินทรีย์ระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี ขึ้นไป พบว่า ดินตัวอย่าง มีปริมาณน้ำในภาคสนามไม่แตกต่างกันมากนัก คืออยู่ในช่วง 20.93-44.83 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ส่วนผลการวิเคราะห์ค่าการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ จากตัวอย่างดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ที่ทำการเกษตรอินทรีย์ระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ 10 ปี ขึ้นไป พบว่า ดินตัวอย่างมีค่าการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ อยู่ระหว่าง 0.19-1.40 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ยกเว้น ตัวอย่างดินจากแปลงเกษตรเคมี ที่ระยะเวลา 5-6 ปี ที่พบว่า มีค่าการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำสูงถึง 45.57 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งสูงกว่า

ตัวอย่างอื่น ๆ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเก็บตัวอย่างอาจมีเศษก้อนหิน และเศษวัสดุของแข็งปะปนมาจำนวนมากอาจทำให้การเคราะห์มีค่าคลาดเคลื่อนได้ เกณฑ์การประเมินหากดินมีค่าการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ ระหว่าง 0.25-0.5 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ถือว่าดินมีการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำต่ำ และหากดินมีค่าการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ มากกว่า 25 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ถือว่าดินมีการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำสูง มีรายงานของ Bhattarai (2010) เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ (อุณหภูมิ เนื้อสัมผัสของดิน) และลักษณะทางเคมี (ความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม และอินทรียวัตถุ) ของดินในแปลงเกษตรอินทรีย์และแปลงเกษตรแบบเคมีในอินเดีย พบว่า ดินจากแปลงเกษตรอินทรีย์และแปลงเกษตรเคมี มีอุณหภูมิเท่ากับ 13.5 และ 12 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเนื้อดินจากดินทั้ง 2 แบบเป็นดินร่วนปนทรายแป้ง (silty loam) และค่า N, P, K รวมทั้งอินทรียวัตถุของดินในแปลงเกษตรอินทรีย์มีค่าสูงกว่าดินแปลงเกษตรเคมี ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง ของดินแปลงเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมีเท่ากับ 6.8 และ 6.4 ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0.16 และ 0.147 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ มีค่าเท่ากับ 0.0135 และ 0.0130 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนปริมาณโพแทสเซียมมีค่าเท่ากับ 0.22 และ 0.013 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน พบว่า มีค่าเท่ากับ 3.412 และ 1.765 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเกษตรอินทรีย์เป็นแนวที่ดีแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาระบบการทำการเกษตร ซึ่งดินจากแปลงเกษตรอินทรีย์มีความอุดมสมบูรณ์มากกว่าดินจากแปลงเกษตรเคมี

นอกจากนี้ Zhang *et al.* (2013) รายงานว่า การเพิ่มสารอาหารลงในดินและการปลูกพืชแบบประณีต ส่งผลต่อการปลูกพืชเศรษฐกิจในประเทศจีน ซึ่งได้ประเมินอิทธิพลของระบบนิเวศของการปลูกพืชแบบเดิมกับการปลูกพืชแบบประณีต พบว่า มีผลทำให้ดินมีสารคาร์บอนอินทรีย์ และปริมาณไนโตรเจนและดินมีการปลดปล่อยธาตุฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น และดินมีค่าการนำไฟฟ้าดีขึ้น แต่คุณสมบัติทางกายภาพของดิน เช่น ความหนาแน่นของเนื้อดิน ปริมาณดินเหนียว ความสามารถในการอุ้มน้ำ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งพบว่า การใส่ปุ๋ยมูลสัตว์และปุ๋ยอินทรีย์มีส่วนสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในดิน

แต่อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบคุณสมบัติทางชีวภาพ ทางเคมี และทางกายภาพของดินจากแปลงเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ในงานทดลองนี้ อาจไม่สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินได้ในแต่ละแหล่งได้ เนื่องจากในแต่ละพื้นที่ที่ทำการเกษตรอาจมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน ได้แก่ การจัดการดินของเกษตรกรแต่ละรายและแต่ละแหล่งมีความแตกต่างกัน และการตรวจคุณภาพดินควรต้องมีการตรวจในพื้นที่เดิมต่อเนื่องตามระยะเวลาต่าง ๆ จึงจะสามารถเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของดินหลังการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งจะทำให้ประเมินคุณภาพดินได้แน่นอนมากยิ่งขึ้น และควรเก็บตัวอย่างดินจากหลาย ๆ แหล่งเพิ่มเติมเพื่อให้ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินเป็นตัวแทนที่ช่วยบ่งบอกถึงคุณภาพดินได้ดียิ่งขึ้น

สรุปผลการวิจัย

จากการนำดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี มาศึกษาคุณสมบัติทางจุลชีววิทยา โดยการนำมาเพาะเลี้ยงเชื้อลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดต่าง ๆ 7 ชนิด คือ ได้แก่ Plate count agar (PCA), Czapek 's medium, Internation streptomyces project 2 (ISP2), Carboxymethylcellulose agar (CMC), Nitrogen free medium (NFM), Pikovskaya 's medium และ Aleksandrov medium ด้วยวิธี pour plate พบว่า มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เจริญบนอาหาร PCA ระหว่าง 10^5-10^6 CFU/g ส่วนบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดอื่น ๆ พบจำนวนจุลินทรีย์อยู่ระหว่าง 10^2 -10^5 CFU/g เมื่อศึกษาจำนวนไอโซเลทของจุลินทรีย์ที่มีลักษณะโคโลนีแตกต่างกันบนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด พบว่า เป็น แบคทีเรีย แอคติโนมัยซีส และเชื้อรา จำนวน 165, 14 และ 13 ไอโซเลท ตามลำดับ รวมจุลินทรีย์ที่แยกได้ในการทดลองนี้ทั้งหมดจำนวน 192 ไอโซเลท และจุลินทรีย์ที่พบมากที่สุดเป็นแบคทีเรียเป็นส่วนใหญ่ เมื่อนำแบคทีเรียทั้งหมดมาศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้นโดยการย้อมสีแบบแกรม แล้วส่องดูใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดเลนส์ประกอบ พบว่า มีทั้งแบคทีเรียแกรมบวกรูปร่างท่อนและรูปร่างกลม แกรมลบรูปร่างท่อนและรูปร่างกลม จำนวน 35, 38, 59 และ 33 ไอโซเลท ตามลำดับ

เมื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัส ปริมาณโพแทสเซียม ของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี พบว่า ดินตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 4.6-5.3 ซึ่งจัดเป็นดินที่อยู่ในสภาพเป็นกรดจัด ซึ่งเกษตรกรควรปรับปรุงดินที่เป็นกรดโดยการใส่ปูนและการใส่อินทรียวัตถุ เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหารและการเก็บความชื้นให้กับดินโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในรูปของปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด หรือวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรม ใส่ปุ๋ยหมัก ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ปุ๋ยไนโตรเจน เมื่อวิเคราะห์มีปริมาณอินทรียวัตถุของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.98-2.12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณอินทรียวัตถุในดินทุกแหล่งมีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับปานกลาง ดังนั้น เกษตรกรควรจะปรับปรุงดินโดยการเพิ่มอินทรียวัตถุลงไปในดินให้มากขึ้น จากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส ของดินจากแปลงนาข้าวเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ ระยะเวลาทำการเกษตร 1-2 ปี, 5-6 ปี และ มากกว่า 10 ปี

พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 3.0-10.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งถือว่าดินตัวอย่างมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในเกณฑ์ต่ำ คำแนะนำคือเกษตรกรควรปรับปรุงดินโดยการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่สามารถช่วยละลายฟอสเฟตได้ลงไปในดินในรูปของปุ๋ยชีวภาพ และทำการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 10.0-53.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งระดับมาตรฐานในการประเมินปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินคือ น้อยกว่า 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถือว่ามีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก ซึ่งเกษตรกรควรปรับปรุงดินโดยการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่สามารถช่วยละลายโพแทสเซียมลงไปในดินด้วยเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ ได้ศึกษาคุณสมบัติทางภาพของดิน พบว่า ดินตัวอย่างมีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.92-1.52 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีปริมาณน้ำในภาคสนามอยู่ระหว่าง 20.93-40.83 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีค่าการนำน้ำของดินอยู่ระหว่าง 0.19-45.57 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเกณฑ์คือการประเมินหากดินมีค่าการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ ระหว่าง 0.25-0.5 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ถือว่าดินมีการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำต่ำ และหากดินมีค่าการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ มากกว่า 25 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ถือว่าดินมีการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำสูง

เอกสารอ้างอิง

จตุพร บุณณดากุล วิลาวรรณ เชื้อบุญ และ ดุสิต อธินุวัฒน์. 2555. ประสิทธิภาพของเชื้อปฏิปักษ์ผสมสายพันธุ์ใหม่ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวอินทรีย์และควบคุมโรค. **ว. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** 1(3): 189-196.

ดุสิต อธินุวัฒน์. 2556. จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ด้านการเกษตร. **ว. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** 2: 20-27.

นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และปรีชา สุวรรณพินิจ และ 2544. **จุลชีววิทยาทั่วไป.** สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 356 น.

นิภาพร ดวงแก้ว วิลาวรรณ เชื้อบุญ ลาวัลย์ กลัดสุวรรณ มะลิดา ชูรินทร์ และ ดุสิต ธินุวัฒน์. 2556. ***YuiI* เป็นยีนใหม่ของ *Bacillus subtilis* TU-Orga 1 ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไนโตรเจนอย่างเหมาะสมเพื่อยับยั้งโรคใบขีดโปร่งแสงในระบบการผลิตข้าวอินทรีย์.** การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ, 1-3 กุมภาพันธ์ 2550: 166-126.

ปาริชาติ สถิตธรรมพนา วิลาวรรณ เชื้อบุญ และ ดุสิต อธินุวัฒน์. 2555. ประสิทธิภาพแบคทีเรียปฏิปักษ์สายพันธุ์ใหม่ TU-Orga 1 ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและควบคุมโรคขอบใบแห้งของข้าว. **Thai J. Sci. Technol.** 1(3): 180-188.

พันธ์จิตต์ สีเหนี่ยง. 2555. **เกษตรอินทรีย์.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา agri.kps.ku.ac.th/agri.kps.ku.ac.th/new/newsagri/2556-06-14-agri-organic.pdf. (30 เมษายน 2557)

ภาติยะ พัฒนาศักดิ์. 2543. **ทรัพยากรดิน.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://ebook.ram.edu/e-book/gGE253(50)/253-5pdf (27 มีนาคม 2557)

มลทิวา โสมะ. 2552. **ทัศนคติของผู้บริโภคในอำเภอเมืองเชียงใหม่ที่มีต่อข้าวอินทรีย์.** การค้นคว้าแบบอิสระ. สาขาวิชาการตลาด บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: เชียงใหม่.

ลักขณา อะกะเรือน. 2555. **การแยกและจำแนกชนิดของแบคทีเรียที่แยกได้จากดินทางการเกษตร.** การเรียนรู้อิสระ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่.

สุวรรณี แทนธานี. 2555. จุลินทรีย์ เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อการปรับปรุงบำรุงดิน. **ว. วิทยาศาสตร์บริการ.** 20: 19-29.

สืบศักดิ์ สนธิรุตน.2539ก. ปัจจัยในการผลิตเชื้อรา *Paecilomyces lilacinus* ที่ใช้ในการควบคุมไส้เดือนฝอยในอาหารเหลว. **วิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์** 30: 13-26.

สืบศักดิ์ สนธิรุตน.2539ข. ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการเข้าทำลายไข่ไส้เดือนฝอยรากปมและกิจกรรมเอนไซม์ของเชื้อรา *Paecilomyces lilacinus.* **วิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์** 30: 175-184.

สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2547. **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่ม 1. กรมพัฒนาที่ดิน.** กรุงเทพฯ. 181 หน้า.

อรทัย ยศอินต๊ะ.2549**. ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อข้าวอินทรีย์ของโรงพยาบาลในจังหวัดเชียงราย.** การค้นคว้าแบบอิสระ. บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

Atlas, R.M. 1993. **Handbook of Microbiological media.** Edited by L.C. Parks. Boca Raton, FL: CRC press. 199 p.

Bhattarai, B.C. 2010. **A comparative study of agricultural soil under organic and Inorganic farming practice :** A case of Pang, Kirtipur. Master of Science. Department of Environmental Science. Tribhuvan University Kirtipur, Kathmandu. 23. p.

Blake, G.R. 1965. **Particle density. Methods od soil analysis.**, Part I. American society of agronomy monograph. No. 9. Madison, Wisconsin. US.A. pp. 371-373.

Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. **Soil Sci.** 59: 39-45.

Bunemann, E.K., R.J. Smernik, P. Marschner and A.M. McNeill. 2008. Microbial synthesis of organic and condensed forms od phosphorus in acid and calcareous soils. **Soil Biol. Biochem.** 40: 932-946.

Gardner, W.H. 1986. **Water Content.** In A. Klute (ed.). Methods of soil analysis, Part 1: Physical and mineralogical methods. ASA Agronomy Monograph 9. Madison: Wisconsin. 493-544.

Herencia, F., A. Pedro, G. Galavs, J. Antonio, R. Dorado and C. Maqueda. 2011.

Comparison of nutritional quality of the crops grown in an organic and conventional fertilized soil. **Sci. Horticulturae**. 129: 882-888.

Hu, X., J. Chen and J. Guo. 2006. Two phosphate and potassium solubizing bacteria isolated from. Tianmu mountain. **World J. Microbiol. Biotechnol.** 22: 983-990.

Huang, P.M., M. K. Wang and C.Y. 2005. Soil mineral- organic matter-microbe interactions: Impacts on biogeochemical processes and biodiversity in soils. **Pedobiologia.** 49. 609-635.

Jackson, M.L. 1958. Soil chemical analysis. Prentice-Hall,Inc. Englewood Ciffs, N.J. pp. 219-221.

Kemmitt, S.J., D. Wright, K.W.T. Goulding and D.L. Jones. 2006. pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. **Soil Biol. Biochem.** 38: (5). 898–911.

Klute, A. and C. Dirksen. 1986. **Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods.** In A. Klute et al. (eds.). Method of soil analysis. Part I. American society of agronomy monograph. No. 9. Madison, Wisconsin. US.A. p. 687-734.

Kucey, R.M.N. 1983. Phosphate solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soil. **Can. J. Soil Sci.** 63: 671-678.

Land Classification Division and FAO project staff. 1973. **Soil interpretation handbook for Thailand.** Dept. of land development. Min. of Agr. and Coop. Bangkok, 135 p.

Lopes, A.R. , C. Faria, P. Fernndez, C.T. Cepeda, C.M. Manaia and O.C. Nunes. 2011. Comparative study of the microbial diversity of bulk paddy soil of two rice fields subjected to organic and conventional farming. **Soil Biol. Biochem**. 43: 115-125.

Mahdi, S.S., G.I. Hassan, S.A. Samoon, H.A. Rather, S.A. Dar and B. Zehra. 2010. Biofertilizers in organic agricultural. **J. Phytology**. 2(10): 42-54.

Marinari S., R. Mancinelli, E. Campiglia and S. Grego. 2006. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. **Ecological Indicators.** 6(4): 701–711.

Melero, S., J.C.R. Porras, J.F. Herencia and E. Madejon. 2006. Chemical and biochemical properties in a silty loam soil under conventioanal and organic management. **Soil**

Tillage Research. 90: 162-170.

Olsen, S.R., C.W. Cole., F.S. Watanabe and L.A. Dean. 1954. **Estimation of available phosphorus in soils by extraction with $NaHCO_3$.** USDA. Agric**.** 939 p.

Peech, M. 1965. Soil pH by glass electrod pH meter. Methods of soil analysis. **Amer. Soc. Sgro.** 9(2). 60: 914-925.

Prathuangwong, S., S. Kasem, J. Thowthampitak and D. Athinwat. 2005. Mutiple plant response to bacterial mediated protection against various disease. **J. ISSAAS.** 11: 79-87.

Sharma, K., G. Dak, A. Agrawal, M. Bhatnagar and R. Sharma. 2007. Effect of phosphate solubilizing bacteria on the germination of *Cicer arietinum* seeds and seeding growth. **J. Herbal Med.Toxicol.** 1(1): 61-63

Walkley, A. and I.A.Black. 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. **Soil Sci. Amer. Pro.** 63: 257.

Wu, S.C., Z.H. Cao, Z.G. Li, K.C. Cheung and M.H. Wong. 2005. Effect of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth : a greenhouse trial. **Geoderma**. 125: 155-166.

Xie, H. , J. Li , P. Zhu, C. Peng and J. Wang. H. He, and X. Zhang. 2014. Long-term manure amendments enhance neutral sugar accumulation in bulk soil and particulate organic matter in a Mollisol. **Soil Biol. Biochem.** 78: 45–53.

Zhang, X., L. Chen, Q. Li, X. Qi and S.Yang. 2013. Increase in soil nutrients in intensively managed cash-crop agricultural ecosystems in the Guanting Reservoir catchment, Beijing, China. **Geoderma**. 193-194.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Nitrogen free medium (NFM)

$CaCl_2$	0.1	กรัม
K_2HPO_4	1.0	กรัม
$MgSO_4.7H_2O$	0.2	กรัม
$FeSO_4.7H_2O$	0.05	กรัม
Glucose	10.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม
Distilled water	1,000	มิลลิลิตร

ละลายส่วนผสมให้เข้ากัน นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

2. Carboxymethylcellulose agar (CMC)

$(NH_4)_2SO_4$	1.0	กรัม
Carboxymethylcellulose	5.0	กรัม
Yeast extract	1.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม
Distilled water	1,000	มิลลิลิตร

ละลาย CMC ในน้ำอุ่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร คนจนละลาย แล้วละลายส่วนที่เหลือเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 น

3. Pikovskaya' s medium (Kucey, 1963)

Glucose	10.0	กรัม
$Ca_3(PO_4)_2$	5.0	กรัม
$(NH_4)_2SO_4$	0.5	กรัม

KCl	0.2	กรัม
$MgSO_4.7H_2O$	0.1	กรัม
$MnSO_4$	tract	
$FeSO_4$	tract	
Yeast extract	0.5	กรัม
Agar	15.0	กรัม
Distilled water	1,000	มิลลิลิตร

นำไปต้มละลายจนหมด นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

4. Czapek' s meduim (ดัดแปลง Aslas, 1993)(สูตรดัดแปลง)

Sucrose	30.0	กรัม
$NaNO_3$	2.0	กรัม
$CaCl_2$	1.0	กรัม
KCl	1.4	กรัม
$MgSO_4.7H_2O$	0.5	กรัม
$FeSO_4.7H_2O$	0.01	กรัม
Agar	15.0	กรัม
Distilled water	1,000	มิลลิลิตร

ละลายในน้ำกลั่น ปรับ pH ให้ อยู่ในช่วง7.3 ± 0.2 นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศา-เซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที ในการเตรียมวุ้นใส่ agar 15 กรัมหลังปรับ pH

5. Plate count agar (PCA)

Tryptone	5.0	กรัม
Yeast extract	2.5	กรัม
Glucose	1.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม
Distilled water	1,000	มิลลิลิตร

ละลายส่วนผสมให้เข้ากัน นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

6. Internation streptomyces projects 2 (ISP2)

Malt	10.0	กรัม
Yeast extract	4.0	กรัม
Glucose	4.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม
Distilled water	1,000	มิลลิลิตร

ละลายส่วนผสมให้เข้ากัน นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

7. Aleksandrov medium (He *et al*., 2006)

Glucose	5.0	กรัม
$MgSo_4.7H_2O$	0.05	กรัม
$FeCl_3$	0.1	กรัม
Calcium carbonate	2.0	กรัม
Potassium mineral	2.0	กรัม
Calcium phosphate	2.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม
Distilled water	1,000	มิลลิลิตร

ละลายส่วนผสมให้เข้ากัน นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที

ภาคผนวก ข

การย้อมสีแบบแกรม (Grams staining)

ขั้นตอนการย้อมสีแกรม (Gram's staining)

1. ทำความสะอาดสไลด์และเช็ดให้แห้ง
2. หยดน้ำลงบนแผ่นสไลด์
3. ใช้ loop ป้ายเชื้อที่ต้องการย้อมลงบนแผ่นสไลด์ smear ให้กระจายเป็นแผ่นบาง ๆ
4. จากนั้นรอให้เชื้อแห้ง
5. หยดสี crystal violet ลงบนสไลด์ให้ท่วมรอยเชื้อนาน 1 นาที
6. เท crystal violet ทิ้งไป ล้างออกด้วยน้ำประปาเบา ๆ
7. หยดสารละลาย Gram's iodine ลงบนสไลด์ให้ท่วมรอยเชื้อนาน 1 นาที
8. . เท Gram's iodine ทิ้งไป ล้างออกด้วยน้ำประปาเบา ๆ
9. ล้างสีม่วงของ crystal violet ออกด้วย acetone alcohol ล้างประมาณ 5 - 10 วินาที
10. ล้างออกด้วยน้ำประปาเบาๆ
11. ย้อมทับหรือย้อมซ้ำด้วย safranin นาน 1 นาที
12. เท safranin ทิ้งไป ล้างออกด้วยน้ำประปาเบา ๆ
13. ผึ่งสไลด์ให้แห้งแล้วนำไปดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์