บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ (Organic Fertilizer) คือ ปุ๋ยที่ได้จากอินทรียสารซึ่งผลิตขึ้นโดยกรรมวิธีต่างๆ และธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยอินทรีย์จะเป็นประโยชน์ต่อพืช เมื่อผ่านขบวนการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ทางชีวภาพเสียก่อน ซึ่งการย่อยและการแปรสภาพทางชีวภาพของเศษพืชหรือวัสดุอินทรีย์เกิดขึ้นเนื่องจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กๆ ที่เรียกว่า "จุลินทรีย์" ซึ่งอาศัยอยู่ในกองปุ๋ย สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเหล่านี้มีอยู่มากมายหลายชนิดปะปนกันอยู่ จุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญที่สุดในการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์เหล่านี้จนได้เป็นอินทรีย์วัตถุที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ กระบวนการย่อยสลายเกิดจากเอ็นไซม์ที่ปลดปล่อยออกมาจากจุลินทรีย์หลายชนิดรวมกัน เช่น cellulase และ ligninase เป็นต้น จุลินทรีย์เหล่านี้ประกอบด้วย bacteria, actinomycete และเชื้อรา ซึ่งมีบทบาทและหน้าที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละกลุ่มของจุลินทรีย์ โดยมีสภาพแวดล้อมและชนิดของวัสดุเป็นตัวกำหนด ซึ่งจุลินทรีย์ที่ติดมากับวัสดุที่ใช้หมักก็จะเริ่มเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นมาโดยการเข้าย่อยสลายวัสดุที่นำมาหมักเพื่อใช้เป็นอาหาร ในช่วงแรกๆนี้ภายในกองวัสดุจะมีอาหารชนิดที่จุลินทรีย์สามารถใช้ได้ง่ายๆอยู่เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์เหล่านั้นจึงเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนขึ้นมาอย่างรวดเร็วเป็นเหตุให้เกิดความร้อนขึ้นมาในกองปุ๋ย ดังนั้นนับตั้งแต่ เริ่มตั้งกองปุ๋ยขึ้นมา กองปุ๋ยจะเริ่มมีความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ถ้าทำการกองปุ๋ยได้ถูกวิธีภายในระยะเวลาเพียง 3-5 วัน กองปุ๋ยอาจร้อนถึง 55-70 องศาเซลเซียส ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้มีความสำคัญมาก เพราะจะทำให้เศษพืชย่อยสลายได้รวดเร็วและช่วยกำจัดจุลินทรีย์หลายชนิดที่ไม่ต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกที่ทำให้เกิดโรคกับคนหรือกับพืช ช่วยทำลายเมล็ดวัชพืชที่ติดมากับเศษพืช รวมทั้งไข่ของแมลงที่มีอยู่ภายในกองปุ๋ยได้ กองปุ๋ยจะร้อนระอุอยู่ช่วงระยะเวลาหนึ่ง อาจกินเวลาประมาณ 15- 20 วัน แล้วความร้อนจะค่อยๆ ลดลงไปเรื่อยๆ ขณะเดียวกันเนื้อของเศษพืชที่ใช้หมักก็เปื่อยยุ่ยลงและมีสีคล้ำขึ้น จนในที่สุดกองปุ๋ยก็จะเย็นลง เศษพืชกลายเป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นขุย ร่วนซุย มีสีดำหรือน้ำตาลเข้ม ยุบตัวลงเหลือประมาณ 1/3 - 1/4 ส่วน ของกองเดิมก็จัดเป็นปุ๋ยหมักที่สลายตัวได้ที่ดีแล้ว สามารถเอาไปใช้โดยไม่เกิดอันตรายใดๆ ต่อพืช ระยะเวลาตั้งแต่ตั้งกองจนมาถึงช่วงนี้ใช้เวลาประมาณสองเดือนครึ่งถึงสามเดือนครึ่ง อาจจะเร็วหรือช้ากว่านี้ไปบ้าง ก็แล้วแต่ชนิดของวัสดุที่ใช้ วิธีการตั้งกองปุ๋ย การปฏิบัติ ดูแลรักษา การให้ความชื้น ตลอดจนการกลับกองปุ๋ย (ดำริและสุทิน,2541) อย่างไรก็ตามปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้นั้นจะมีคุณภาพแตกต่างกันไป ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุที่ผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ (ตารางที่ 1)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1 ปริมาณธาตุอาหารพืชของปุ๋ยอินทรีย์จากวัสดุอินทรีย์และพืชต่างๆ

ชนิดของปุ๋ย	ไนโตรเจน (%N)	ฟอสฟอรัส (%P)	โพแทสเซียม (%K)
แหนแดง	3.30	0.57	1.23
กากส่าเหล้า	2.06	0.17	1.03
Filter cake จากโรงงานน้ำตาล	1.01	2.41	0.44
Sludge จากโรงงานสุรา	5.94	0.56	0.50
กากละหุ่งจากโรงงานน้ำมัน	5.26	1.12	0.58
มูลวัว	1.10	0.40	1.60
มูลควาย	0.97	0.60	1.66
มูลสุกร	1.30	2.40	1.00
มูลไก่	2.42	6.29	2.11
มูลเป็ด	1.02	1.84	0.52
มูลค้างคาว	1.54	14.28	0.60
ปุ๋ยหมักฟางข้าว	1.34	0.53	0.97
กากอ้อย	0.62	0.99	0.46
กากเมล็ดนุ่น	4.69	2.28	1.45
กากเมล็ดฝ้าย	6.92	2.96	1.12
ฟางข้าว	0.59	0.08	1.72
แกลบ (15% SiO_2)	0.46	0.26	0.70
ละอองข้าว	2.71	0.68	0.56
ขี้เถ้าแกลบ (85-90% SiO_2)	0.00	0.15	0.81
ใบเสียว	1.64	0.14	0.43
ใบกระถินณรงค์	1.58	0.10	0.40
ใบกระถินเทพา	1.09	0.03	0.06
ใบยูคาลิปตัส	0.68	0.07	0.03
ผักตบชวา	1.55	0.46	0.49

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชนิดของปุ๋ย	ไนโตรเจน (%N)	ฟอสฟอรัส (%P)	โพแทสเซียม (%K)
ใบฉำฉา	2.10	0.09	0.40
โสนแอฟริกัน	1.68	0.15	2.40
โสนอินเดีย	2.25	0.35	3.03
โสนแดง	2.25	0.34	2.34
ไมยราพไร้หนาม	1.04	0.04	1.03
ปอเทือง	1.98	0.30	2.41
ถั่วมะแฮะ	1.42	0.26	0.90
ถั่วพร้า	3.03	0.37	3.12
ถั่วพุ่ม	2.05	0.22	3.20
ถั่วเหลือง	2.71	0.56	2.47
ถั่วเขียว	1.85	0.23	3.00
กระถินยักษ์	3.70	0.24	1.88
ถั่วฮามาต้า	1.06	0.02	0.97
ถั่วลาย	1.60	0.04	1.32
คุดซู่	1.94	0.02	0.97
คาลาโปโกเนียม	1.11	0.03	0.82
ซังข้าวโพด	1.78	0.25	1.53
ต้นข้าวโพด	0.71	0.11	1.38
ต้นมันสำปะหลัง	1.23	0.24	1.23

ที่มา : ดำริ และ สุทิน (2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปุ๋ยอินทรีย์มีอยู่หลายกลุ่ม สามารถจำแนกชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ได้ดังนี้

1. ปุ๋ยหมัก คือ การหมักสลายตัวของซากพืชแปรสภาพเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กและมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงสภาพจากเดิมอย่างสิ้นเชิงโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน ตามหลักวิชาการแล้วปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์จะมีสมบัติคล้ายกับอินทรียวัตถุซึ่งจะเป็นสิ่งที่มีคุณค่าในการบำรุงดินมากที่สุด ตามธรรมชาติการผุพังสลายตัวของเศษซากพืชก็คือการแปรสภาพเป็นปุ๋ยหมักนั่นเอง ปัจจุบันนี้ได้มีการผลิตปุ๋ยหมักในเชิงอุตสาหกรรมมาใช้ในการปลูกพืชส่วนปุ๋ยหมักที่เกษตรกรผลิตขึ้นใช้เองนั้นมีปริมาณน้อย ปัจจุบันราคาปุ๋ยหมักค่อนข้างสูงจึงเหมาะที่จะใช้กับพืชไร่เศรษฐกิจที่มีผลตอบแทนสูง ไม้ผล พืชผัก ไม้ดอกและไม้ประดับ ตามหลักการแล้วปุ๋ยหมักที่แปรสภาพสมบูรณ์แล้วควรจะใส่คลุกกับดิน ส่วนปุ๋ยหมักที่ยังไม่แปรสภาพอย่างสมบูรณ์ควรจะใช้เป็นวัสดุคลุมดิน แล้วปล่อยให้ผุพังสลายตัวไปเอง วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตปุ๋ยหมักในเชิงอุตสาหกรรม เช่น กากอ้อย ขี้ตะกรันจากหม้อต้มและแกลบ ปุ๋ยหมักที่ดีควรมี C/N ต่ำกว่า 20:1 มีไนโตรเจนฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 1, 1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนธาตุอาหารอื่น ๆ นั้นจะมีอย่างพอเพียงความชื้นในกองปุ๋ยหมักประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

2. ปุ๋ยพืชสด คือ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการปลูกพืชตระกูลถั่วที่มีความสามารถปรับตัวขึ้นได้ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ พืชที่ใช้เป็นปุ๋ยพืชสดที่ดีควรจะเติบโตรวดเร็ว มีศัตรูพืชรบกวนน้อยที่สุด เก็บเมล็ดพันธุ์ได้ง่าย ในสภาพดินไร่ พบว่า ถั่วพร้า ถั่วพุ่ม ถั่วแปบ ปอเทือง เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นปุ๋ยพืชสด เวลาที่เหมาะสมที่สุดในการปลูกปุ๋ยพืชสดได้แก่ ต้นฤดูฝน โดยปล่อยให้ขึ้นคลุมดินจนมีอายุได้ 45-60 วัน จึงไถกลบ ทิ้งไว้ประมาณ 15 วัน จึงปลูกพืชหลักตาม เพื่อปล่อยให้มีการสลายตัว และปลดปล่อยไนโตรเจนให้ออกมาเป็นประโยชน์ พืชที่ปลูกตามควรเป็นข้าวโพด ข้าวฟ่าง มันสำปะหลัง หรือฝ้าย ไม่ควรปลูกพืชตระกูลถั่วเป็นพืชหลักเพราะจะเป็นการสะสมศัตรูพืชและอาจจะเผือใบได้ การใช้ปุ๋ยพืชสดจะเห็นผลในระยะยาว ข้อดี ของปุ๋ยพืชสด คือผลิตได้เองในปริมาณมากในพื้นที่ โดยไม่ต้องขนย้ายมาจากแหล่งอื่น แต่มีข้อด้อยก็คือ ต้องมีการเตรียมดินมากครั้งขึ้น และเสียเวลาในต้นฤดูปลูกประมาณ 2 เดือน

3. ปุ๋ยคอก เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการขับถ่ายในรูปมูลและปัสสาวะ ตลอดจนสิ่งปฏิกูลที่ได้จากพื้นคอกสัตว์ ปัจจุบันได้มีการเลี้ยงสัตว์ในเชิงเศรษฐกิจในรูปฟาร์มขนาดใหญ่ เช่น ฟาร์มไก่ หมู วัว ซึ่งสามารถรวบรวมมูลได้เป็นจำนวนมากเพียงพอที่จะนำไปขายในเชิงธุรกิจได้ มูลสัตว์เหล่านี้เป็นที่นิยมของเกษตรกรเมื่อนำไปใช้ในแปลงไม้ผล พืชผัก ไม้ดอกไม้ประดับ หรือใช้เป็นตัวเร่งในการผลิตปุ๋ยหมักเพราะมีจุลินทรีย์ที่ช่วยย่อยสลายเซลลูโลสปะปนอยู่ นอกจากนี้ยังมีมูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สัตว์อีกชนิดหนึ่งที่มีธาตุอาหารสูงเป็นพิเศษซึ่งได้แก่ มูลค้างคาว ซึ่งปัจจุบันได้มีการบรรจุถุงออกมาจำหน่ายในราคาค่อนข้างสูงเพื่อใช้กับพืชไม้ดอกไม้ประดับหรือไม้ผลที่มีกลิ่นและรสชาติเฉพาะ เช่น ทุเรียน และลองกอง เป็นต้น

กล่าวโดยรวมคือ ปุ๋ยอินทรีย์มีธาตุอาหารค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมี การใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อให้ธาตุอาหารเพียงพอและสมดุลสำหรับพืชหรือทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี จะต้องใส่ในอัตราที่สูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จะช่วยปรับปรุงดินให้ดีขึ้น โดยเฉพาะคุณสมบัติทางกายภาพของดิน เช่น ความโปร่ง ความร่วนซุย ความสามารถในการอุ้มน้ำ และการปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์สามารถอยู่ในดินได้นานและค่อยๆปลดปล่อยธาตุอาหารพืชอย่างช้าๆ จึงมีโอกาสสูญเสียน้อยกว่าปุ๋ยเคมีส่งเสริมให้จุลนทรีย์ในดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกที่มีประโยชน์ต่อการบำรุงดินให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้เมื่อใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมีจะส่งเสริมปุ๋ยเคมีให้เป็นประโยชน์แก่พืชอย่างมีประสิทธิภาพ และมีธาตุอาหารเสริมอยู่เกือบครบถ้วนตามความต้องการของพืช อย่างไรก็ตามทั้งปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีมีทั้งข้อดีและข้อเสียอยู่ร่วมกัน (ตารางที่ 2) ถ้านำมาใช้ไม่ถูกต้องตามหลักการ จะทำให้เกิดผลเสียต่อระบบการผลิตพืชได้

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างปุ๋ยอินทรีย์กับปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยอินทรีย์	ปุ๋ยเคมี
- เป็นปุ๋ยที่ได้จากการเกษตร	- เป็นปุ๋ยที่ได้จากกรรมวิธีผลิตทางเคมี
- มีธาตุอาหารพืชครบถ้วนในปริมาณน้อย	- มีธาตุอาหารพืชมากน้อยตามชนิดของปุ๋ยเคมี
- จุดประสงค์ที่จะใช้เพื่ออนุรักษ์หรือปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินเป็นหลัก	- มีจุดประสงค์ที่จะเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน
- เป็นแหล่งอาหารของสิ่งมีชีวิตในดิน	- ให้ธาตุอาหารพืชโดยตรง
- บางชนิดจะทยอยปลดปล่อยธาตุอาหารพืชออกมา	- ให้ธาตุอาหารพืชได้รวดเร็วตามที่พืชต้องการ
- ต้องใช้ในปริมาณมาก	- ใช้ในปริมาณที่แนะนำ
- ไม่มีข้อจำกัดในการใช้ที่เคร่งครัด	- ใช้ให้ตรงกับพืช ดินและวิธีการใช้ มิฉะนั้นจะมีผลเสียต่อพืช
- ยุ่งยากในการรวบรวม และบางชนิดมีกลิ่นรบกวนและมีราคาสูง เช่น มูลค้างคาว	- จัดหาปุ๋ยสูตรทั่ว ๆ ไปได้ง่าย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่มา : ดำริ และ สุทิน (2541)

ปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐาน

ปัจจุบันมีผู้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์วางจำหน่ายในท้องตลาดมากมาย มีทั้งแบบเม็ด ผงและน้ำ ซึ่งพบว่าส่วนหนึ่งเป็นปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งมีคุณภาพต่ำ ทั้งปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณธาตุอาหารหลัก เหตุผลที่ทำให้มีการผลิตและจำหน่ายปุ๋ยอินทรีย์ในท้องตลาดมาก เพราะการขายปุ๋ยอินทรีย์จะมีกำไรต่อหน่วยสูงกว่าการขายปุ๋ยเคมีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่น้ำมันมีราคาแพง เกษตรกรที่ซื้อปุ๋ยอินทรีย์เหล่านี้หรือปุ๋ยที่โฆษณาว่าเป็นปุ๋ยธรรมชาติต่างๆ จะไม่ทราบถึงความคุ้มค่าของราคากับหน่วยธาตุอาหารพืชในปุ๋ยอินทรีย์ หรือแม้กระทั่งประโยชน์ที่จะได้จากปุ๋ยอินทรีย์ที่ซื้อมาใช้ ปุ๋ยอินทรีย์เหล่านี้จะมีราคาใกล้เคียงหรือต่ำกว่าปุ๋ยเคมีเล็กน้อย แต่จะมีคุณสมบัติในเรื่องปริมาณธาตุอาหารต่ำกว่าหรือน้อยกว่าปุ๋ยเคมีมาก แม้ว่าจำนวนชนิดของธาตุอาหารจะมีมากกว่าในปุ๋ยเคมี ดังนี้ เพื่อเป็นการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตรจึงออกประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง “ ประกาศมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548” ประกาศฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ 2 เรื่องคือ เพื่อควบคุมมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์และเพื่อรักษาผลประโยชน์ของเกษตรกร มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าว มีการกำหนดรายละเอียดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ 11 รายการ ดังนี้

1. ขนาดของปุ๋ย : เกณฑ์กำหนดไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร ขนาดปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดไว้นี้เพื่อให้ขนาดของปุ๋ยเหมาะสมในการนำไปใช้

2. ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ : เกณฑ์กำหนดไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีความชื้นสูงมากเกินไป จะเสียค่าใช้จ่ายมากในการขนส่งโดยเฉพาะในภาวะน้ำมันแพง ที่สำคัญปุ๋ยอินทรีย์ความชื้นสูงเกษตรกรได้ประโยชน์น้อยไม่สะดวกในการใช้

3. ปริมาณหินและกรวด : เกณฑ์กำหนดให้มีปริมาณหิน และกรวดขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เหตุผลในเกณฑ์ข้อนี้ชัดเจนเพราะว่าปริมาณหินและกรวดไม่มีประโยชน์ และเป็นการเพิ่มน้ำหนักปุ๋ยอินทรีย์ไม่เป็นธรรมแก่เกษตรกร

4. พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น ๆ : เกณฑ์กำหนดให้ต้องไม่มีอยู่ในปุ๋ยอินทรีย์

5. ปริมาณอินทรียวัตถุ : เกณฑ์กำหนดให้มีไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปุ๋ยอินทรีย์ที่ดีควรมีปริมาณอินทรียวัตถุไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อินทรียวัตถุที่ต่ำหรือสูงเป็นผลโดยตรงจากวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากพืช เช่น ฟางข้าว จะพบว่ามีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากมูลสัตว์ เช่น มูลไก่ จะมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

6. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) : เกณฑ์กำหนดให้ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ระหว่าง 5.5 – 8.5 ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีค่า pH ต่ำกว่า 5.5 จุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์จะหยุดกิจกรรม แต่จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคจะทำงานได้ดีขึ้น แต่ถ้าปุ๋ยอินทรีย์มี pH มากกว่า 8.5 ไนโตรเจนในปุ๋ยจะกลายเป็นแก๊สแล้วสูญหายไปในอากาศ ทำให้สูญเสียธาตุอาหารซึ่งแต่เดิมมีน้อยอยู่แล้ว

7. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) : เกณฑ์กำหนดไว้ไม่เกิน 20 : 1 ปุ๋ยอินทรีย์ที่ดีควรมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20 : 1 ปุ๋ยอินทรีย์มี(C/N ratio) มากกว่า 20 : 1 จะเกิดการย่อยสลายใหม่เมื่อใส่ในดิน ถ้าใช้ในพื้นที่ที่มีการระบายน้ำไม่ดีอาจเป็นอันตรายต่อพืช

8. ค่าการนำไฟฟ้า (EC) : เกณฑ์กำหนดไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร (dS/m) ค่าการนำไฟฟ้าหรือเป็นค่าที่วัดความเค็มของปุ๋ย โดยปกติพบว่าค่าความเค็มที่ 6 เดซิซีเมน/เมตร จะมีปริมาณเกลือมากกว่า 0.175% ค่าการนำไฟฟ้าสามารถบ่งบอกได้ว่าปุ๋ยอินทรีย์นั้นมีการเติมปุ๋ยเคมีลงไปหรือไม่ ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์ที่เติมปุ๋ยเคมีลงไปเพื่อเพิ่มธาตุอาหารถือว่าเป็นปุ๋ยเคมีตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.2518

9. ปริมาณธาตุอาหารหลัก : เกณฑ์กำหนดให้มี

(1) ไนโตรเจน (Total N) ไม่น้อยกว่า 1 % โดยน้ำหนัก

(2) ฟอสฟอรัส (Total P_2O_5) ไม่น้อยกว่า 0.5 % โดยน้ำหนัก

(3) โพแทสเซียม (Total K_2O) ไม่น้อยกว่า 0.5 % โดยน้ำหนัก

10. การย่อยสลายที่สมบูรณ์ : เกณฑ์กำหนดให้มีการย่อยสลายมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

11. ปริมาณโลหะหนัก : เกณฑ์กำหนดให้มี

สารหนู (Arsenic) ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

แคดเมียม (Cadmiun) ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

โครเมียม (Cromiun) ไม่เกิน 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ทองแดง (Copper) ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ตะกั่ว (Lead) ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ปรอท (Mercury) ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ธาตุไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นธาตุหนึ่งที่มีความจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการสังเคราะห์ชีวโมเลกุลโดยเฉพาะอย่างยิ่งพืช เป็นธาตุที่ช่วยให้พืชทุกชนิดสร้างโปรตีน เพื่อเป็นส่วนประกอบของ protoplasm ไนโตรเจนยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ซึ่งมีหน้าที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ในเซลล์เป็นส่วนประกอบของ nucleoprotein ซึ่งเป็นสารประกอบที่อยู่ในโครโมโซม ทำหน้าที่เป็นแม่พิมพ์ในระบบการถ่ายทอดทางพันธุกรรม (heredity) เป็นธาตุที่เป็นส่วนประกอบของ chlorophyll ที่ทำให้ใบพืชเป็นสีเขียวและมีความสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง แต่พืชจะสามารถใช้ธาตุไนโตรเจนได้ก็ต่อเมื่อผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงให้เป็นสารประกอบเสียก่อน เช่น การเปลี่ยนเป็นปุ๋ยแอมโมเนียที่ได้จากการรวมตัวกันของก๊าซไนโตรเจน (N_2) และไฮโดรเจน (H_2) ทั้งจากกระบวนการทางเคมี ฟิสิกส์ และกระบวนชีววิทยา โดยธาตุไนโตรเจนในพืชประมาณ 70% อยู่ใน chloroplast รากพืชดูดไนโตรเจนจากดินมาใช้ในรูปของเกลือไนเตรต (NO_3^-)และเกลือแอมโมเนียม (NH_4^+) เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของยอดอ่อน ใบ และกิ่งก้าน ถ้าพืชขาดธาตุไนโตรเจนจะมีอาการปราศจากสีเขียว โดยเฉพาะที่ใบพืชจะมีสีเหลืองปนส้ม ปลายใบและขอบใบจะค่อยๆแห้งและลุกลามเข้าไปเรื่อยๆ จนในที่สุดใบจะร่วงหล่นจากต้นก่อนกำหนด ลำต้นผอมสูง กิ่งก้านลีบเล็ก และมีจำนวนน้อย พืชจะเจริญเติบโตช้า ทำให้ได้ผลผลิตต่ำและคุณภาพไม่พึงปรารถนา

ธาตุไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในโลก เป็นส่วนประกอบของชั้นหินประมาณร้อยละ 98 ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 2 เป็นส่วนที่ใช้ประโยชน์ได้แบ่งออกเป็นอยู่ในรูปก๊าซร้อยละ 99.96 เป็นส่วนประกอบของฮิวมัสร้อยละ 0.20 ส่วนประกอบของสารอินทรีย์ในก้นทะเลร้อยละ 0.01 และอยู่ในสิ่งมีชีวิตประมาณร้อยละ 0.005 ในบรรดาก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก มีก๊าซไนโตรเจนอยู่ถึงประมาณร้อยละ 78 โมเลกุลไนโตรเจนที่ปะปนอยู่ในอากาศนี้ พืชจะสามารถใช้ได้ก็ต่อเมื่อผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงให้เป็นสารประกอบเสียก่อน เช่น การเปลี่ยนเป็นปุ๋ยแอมโมเนียที่ได้จากการรวมตัวกันของก๊าซไนโตรเจน (N_2) และไฮโดรเจน (H_2) ภายใต้อุณหภูมิ 400-500^{o}C และความดัน 100-200 บรรยากาศ จะเห็นได้ว่าไนโตรเจนซึ่งเป็นก๊าซเฉื่อยโมเลกุลจับกันด้วยพันธะตรีคูณ (triple bond) จึงยากแก่การทำให้อยู่ในรูปของอิออนหรือสารประกอบซึ่งจำเป็นต้องใช้พลังงานจำนวนมาก ทำให้ต้นทุนในการผลิตปุ๋ยไนโตรเจนสูง นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณมากอย่างต่อเนื่องยังอาจจะทำให้คุณภาพของดินเสื่อมโทรมลงอีกด้วย ซึ่งทางเลือกหนึ่งที่สามารถทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีได้คือ การใช้จุลิน ทรีย์ที่สามารถสังเคราะห์ธาตุไนโตรเจนจากวัตถุดิบที่มีอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยกระบวนการทางชีววิทยา ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดปฏิกริยาการรวมตัวกันระหว่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ไนโตรเจนกับไฮโดรเจน เพื่อให้เกิดสารประกอบแอมโมเนีย โดยอาศัยเอนไซม์ nitrogenase จากจุลินทรีย์และพลังงานในรูปของ ATP ที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นในสภาวะที่อุณหภูมิและความดันปรกติเรียกกระบวนการนี้ว่าการตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพ (Biological Nitrogen Fixation หรือ BNF) จุลินทรีย์เหล่านี้มีหลายชนิดด้วยกันคือแบคทีเรีย (bacteria) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (cyanobacteria) และแอคติโนมัยซีท (actinomycete) จุลินทรีย์เหล่านี้ทำให้เกิดการไหลเวียนของไนโตรเจนในวัฏจักรทำให้มีความสมดุลย์ในระบบนิเวศ จุลินทรีย์ในกลุ่มดังกล่าวมีทั้งพวกที่สามารถอยู่ในดินได้โดยอิสระ และต้องอยู่ร่วมกับพืช พวกที่อยู่ในดินโดยอิสระนั้นได้แก่ Bacteria และ Cyanobacteria ส่วนพวกที่อยู่ร่วมกับพืชมีทั้ง Bacteria ได้แก่ ไรโซเบียม Cyanobacteria เช่น Azolla-Anabaena และ Actinomycete เช่น *Frankia* เป็นต้น ซึ่งจุลินทรีย์สามารถตรึงไนโตรเจนได้ประมาณ 170 ล้านตันต่อปี ซึ่งมากกว่าการผลิตปุ๋ยจากโรงงานอุตสาหกรรมถึง 3 เท่า และการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในดินมีปริมาณพอๆ กับพวกที่ต้องอยู่ร่วมกับพืชอื่น (Burns and Hardy,1993 อ้างโดยสมพร,2541)

การตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพ

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดต้องการแร่ธาตุต่างๆ ในการเจริญเติบโตและดำรงชีวิต ไนโตรเจนเป็นธาตุหนึ่งที่มีความจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการสังเคราะห์ชีวโมเลกุลในการสร้างเซลใหม่ สัตว์และพืชชั้นสูงส่วนใหญ่ได้รับไนโตรเจนจากการกินและดูดซับสารประกอบสำเร็จรูป ไม่สามารถใช้โมเลกุลไนโตรเจนโดยตรงได้ แต่สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กโดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์พวก prokaryote บางชนิดมีเอ็นไซม์ที่ตรึงโมเลกุลไนโตรเจนมาใช้ได้

การจัดแบ่งจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนตามลักษณะการดำรงชีวิต แบ่งออกเป็น 3 พวกด้วยกันคือ

1. พวกที่อยู่อย่างอิสระ (Free living nitrogen-fixing microorganisms) ได้แก่ แบคทีเรียและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิด

2. พวกที่อยู่แบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน (Symbiosis) มีทั้ง แบคทีเรีย สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และแอคติโนมัยซีท โดยอาศัยอยู่ที่ ราก ใบ และส่วนของยอดอ่อน

3. พวกที่อยู่แบบเกื้อกูลกัน (mutualism) เป็นการดำรงชีวิตที่ให้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน เมื่ออยู่ด้วยกันแต่ก็สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ตามปรกติเมื่อแยกกันอยู่ ได้แก่ แบคทีเรียบางชนิด เช่น *Azospirillum* ที่อยู่กับพืชตระกูลหญ้า และ Lichens เป็นการอยู่ร่วมกันของราและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3 จุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้

1. Free-living (non-symbiotic) nitrogen fixation	
1.1 Bacteria	
Aerobic	*Azotobacter , Azotomonas , Bacillus , Beijerinckia*
Anaerobe	*Clostridium , Desulfovibrio*
Photosynthetic	*Chlorobium , Chromatium , Rhodopsrudomonas , Rhodospirillum*
2. Symbiotic nitrogen fixation	
Plant	Microorganism
2.1 Root Nodule	
Legume	*Rhizobium* (bacteria)
Nonlegume	
Casuarina	*Frankia* (Actinomycetes)
Alnus	*Frankia* (Actinomycetes)
Macrozamia	*Nostoc* or *Anabaena* (blue green algae)
Cycas	*Nostoc* (blue green algae)
2.2 Stemnodule	
Aeschynomena	*Azorhizobium* (bacteria)
Neptunia	*Azorhizobium* (bacteria)
Sesbania	*Azorhizobium* (bacteria)
2.3 Leaf nodule	
Psychotria	*Krebsiella* (bacteria)
Ardisia	Bacteria
3. Associative nitrogen fixation	
Azolla	*Anabaena* (blue green algae)
Sugar cane , Grasses	*Azospirillum* (bacteria)
Wheat	*Krebsiella* (bacteria)

ที่มา : สมบุญ (2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จะเห็นได้ว่าจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้มีเป็นจำนวนมากและตรึงไนโตรเจนได้ในปริมาณมหาศาล ซึ่งในแต่ละปีมีผู้ประเมินไว้ว่า จุลินทรีย์เหล่านี้ผลิตสารประกอบไนโตรเจนได้ถึง 170 ล้านตัน มากกว่าการผลิตปุ๋ยไนโตรเจนในระบบอุตสาหกรรมถึง 3 เท่า การตรึงไนโตรเจนที่ประเมินได้นั้นแบ่งเป็น เกิดจากการตรึงไนโตรเจนในทะเล 31 ล้านตัน ที่เหลืออีก 139 ล้านตันเกิดบนพื้นดินดังนี้คือ

1. พื้นที่ทำการเกษตร
   1.1 จากพืชตระกูลถั่วเศรษฐกิจ 35 ล้านตัน
   1.2 จากพืชอื่น ๆ 9 ล้านตัน
2. พื้นที่ทุ่งหญ้าที่ว่างเปล่า 45 ล้านตัน
3. พื้นที่ป่า 40 ล้านตัน
4. พื้นที่ไม่ใช้ประโยชน์อื่น ๆ 10 ล้านตัน

จากตัวเลขดังกล่าวชี้ให้เห็นว่ากระบวนการตรึงไนโตรเจนมีความสำคัญมาก ประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างรวมทั้งลักษณะทางสรีรวิทยาของจุลินทรีย์ และปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ด้วย เช่น ชนิดของพืช มีผลต่ออัตราการตรึงไนโตรเจนแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะสภาพแวดล้อมไม่เหมือนกัน (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ปริมาณการตรึงไนโตรเจนในบริเวณรากพืชชนิดต่าง ๆ

ชนิดพืช	อัตราการตรึง	เอกสารอ้างอิง
อ้อย	5 nmole C_2H_4/hr./g root	Dobereiner *et al*., 1972
อ้อย	150 kg N/ha/y	Boddy *et al*. 1995
หญ้า Paspalum notatum	1-32 nmole C_2H_4/hr/g. root dwt.	Dobreiner *et al*. 1972
ข้าว	2,000-6,000 nmole C_2H_4/hr/g root dwt.	
ข้าวโพด	2,780-4,880 nmole C_2H_4/hr/g frest wt.	Li *et al*., 1974
ทุ่งหญ้า	2 kg.N/ha/season	Vlassak *et al*., 1973
Panicum maximum, *Brachiaria* sp. *Leptochloa fusca*	30-40 kg.N/ha/y	Chalk, 1991

ที่มา : ฉัตรสุดา (2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การตรึงไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ในกลุ่ม Free-living nitrogen fixing bacteria

จุลินทรีย์พวกนี้สามารถตรึงไนโตรเจนได้ในสภาพที่ไม่ต้องอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่นหรือเจริญอยู่บริเวณรอบรากพืชเท่านั้น ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มตามความต้องการ oxygen ในการดำรงชีวิต

1. Aerobic nitrogen-fixing bacteria

Bacteria พวกนี้ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในบริเวณรากพืชตระกูลหญ้า สามารถตรึงไนโตรเจนได้ในสภาพแวดล้อมที่มี oxygen โดยที่ enzyme nitrogenase ซึ่งเป็นสารประกอบที่สำคัญในกระบวนการตรึงไนโตรเจน ไม่ถูก oxidize โดย oxygen จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีอยู่ 4 Genus คือ *Azotobacter, Azomonas, Beijerinckia* และ *Derxia*

Azotobacter

Azotobacter เป็น Bacteria ที่เซลมีลักษณะเป็นรูปกลมรี อยู่เป็นคู่หรือกลุ่มก้อน เป็นพวก gram negative ไม่สร้างสปอร์ แต่จะสร้างผนังเซลให้หนาขึ้นถ้าสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม บางชนิดมี flagella ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้ ใช้สารประกอบอินทรีย์ คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งอาหารและพลังงานมีอยู่ด้วยกัน 4 species คือ *A. beijerinkii, A. chroococcum, A. paspali* และ *A. vinelandii* จุลินทรีย์ชนิดนี้มีอยู่ทั่วไปตั้งแต่เขตหนาวจนถึงเขตร้อนชื้น ประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนมีประมาณ 15 ถึง 93 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ต่อปีขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต

ปัจจัยแวดล้อมที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและตรึงไนโตรเจนของ *Azotobacter*

1. pH

Azotobacter สามารถเจริญเติบโตและตรึงไนโตรเจนได้ดีที่ pH 5.5-7.2 แต่ก็สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้เมื่อ pH ต่ำถึง 4.9 หรือสูงถึง 9.0

2. Oxygen

Azotobacter เป็นจุลินทรีย์ที่ใช้ oxygen ในกระบวนการหายใจในขณะเดียวกันกิจกรรมการตรึงไนโตรเจนก็เกิดขึ้นด้วย ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้ nitrogenase enzyme ถูก oxidize โดย oxygen จุลินทรีย์จึงสร้างเมือก (slime) ที่เป็นสารประกอบ polysaccharide ขึ้นมาห่อหุ้มเซลเพื่อกรองให้ oxygen เข้าไปถึงเซลได้ในปริมาณที่พอดีกับการหายใจ และไม่เป็นอันตรายต่อกระบวนการตรึงไนโตรเจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ธาตุอาหาร

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและตรึงไนโตรเจนของ *Azotobacter* มีทั้งอินทรียวัตถุและอนินทรียวัตถุ ซึ่งอินทรียวัตถุเป็นแหล่งคาร์บอนของเชื้อจุลินทรีย์เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและอาหารในการเจริญเติบโตและสังเคราะห์เซลใหม่ ส่วนอนินทรียวัตถุนั้น จุลินทรีย์ชนิดนี้มีความต้องการเช่นเดียวกับจุลินทรีย์อื่น ๆ และที่ขาดไม่ได้คือ Fe และ Mo เพราะเป็นส่วนประกอบของ nitrogenase enzyme

4. สารประกอบไนโตรเจน

Azotobacter สามารถใช้ไนโตรเจนได้ทั้งในรูปของสารประกอบและก๊าซ N_2 จากการศึกษาพบว่า ในสภาพที่มีสารประกอบไนโตรเจนคือไนเตรตและแอมโมเนียมาก กิจกรรมการตรึงไนโตรเจนจะลดลงทั้งนี้สันนิษฐานว่าอาจจะเป็นเพราะพลังงานในตัวจุลินทรีย์ ถูกแบ่งไปใช้ในการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจน โดยเฉพาะแอมโมเนียให้เป็นกรดอะมิโน

ความสัมพันธ์ระหว่าง *Azotobacter* กับพืช

ในธรรมชาติเชื้อ *Azotobacter* เจริญเติบโตอยู่ในบริเวณรากพืชเป็นส่วนใหญ่โดยเฉพาะพืชตระกูลหญ้า เนื่องจากได้รับธาตุอาหารที่ปลดปล่อยออกมาจากรากพืช ในส่วนของ จุลินทรีย์จะปลดปล่อยสารประกอบที่เป็น polysaccharide และสารประกอบคล้าย hormone พืชออกมาช่วยทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น นอกจากนั้นเมื่อจุลินทรีย์ตายลงจะปลดปล่อยสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชอีกทางหนึ่งด้วย

Beijerinckia

Beijerinckia เป็น Bacteria ที่มีรูปร่างกลมรี หรือเป็นแท่งสั้น ๆ อยู่เป็นคู่หรือเดี่ยว ๆ เป็นพวก gram negative มี fragellum สามารถเคลื่อนที่ได้ สร้างเมือกที่เป็นสารประกอบ polysaccharide ลักษณะของ colony ที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อมีลักษณะข้นเหนียวและยืดหยุ่น ทุกสายพันธุ์เจริญเติบโตได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มี glucose, fructose และ sucrose เป็นแหล่งอาหารและพลังงาน

Beijerinckia พบในดินเขตร้อนมากกว่าเขตอบอุ่นและเขตหนาว มีอยู่ด้วยกัน 4 species คือ *Beijerinckia indica, B. mobilis, B. fluminesis* และ *B. derxii* สามารถตรึงไนโตรเจนได้ประมาณ 1-50 nmoleC_2H_4/hr/g(soil) หรือประมาณ 5.5 nmoleC_2H_4/hr/g(root fwt)

Beijerinckia สามารถเจริญเติบโตและตรึงไนโตรเจนได้ดีในสภาพที่เป็นกรดมากกว่าเชื้อ *Azotobacter* คือที่ pH ประมาณ 4.5 แต่ก็สามารถเจริญได้ในที่ ๆ มี pH 3-10 ประชากรของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดนี้จะพบได้มากบริเวณรากพืช โดยเฉพาะพืชตระกูลหญ้า เช่น อ้อย เป็นต้น และจุลินทรีย์จะมีจำนวนมากขณะที่พืชยังเจริญเติบโตอยู่แต่ถ้าพืชตายลงปริมาณของเชื้อก็จะลดลงด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2. Anaerobic nitrogen-fixing bacteria

Bacteria กลุ่มนี้อาศัยอยู่ในบริเวณลึกกว่าผิวดินในระยะที่ O_2 ไม่แพร่เข้าไปถึง หรือในสภาพน้ำท่วมขังและบริเวณนั้นมีสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สะสมอยู่อย่างเพียงพอ ประกอบด้วย Bacteria ใน Genus Clostridium, Desulfovibrio, Desulfotomaculum, Methanococcus และพวก Photosynthetic bacteria ได้แก่ Genus Rhodomicrobium, Rhodopseudomonas, Rhodospirillum, Chromatium และ Chlorobium

Clostridium

Clostridium เป็นจุลินทรีย์ที่เซลมีรูปร่างเป็นท่อนสั้น (short-rod) ติดสี gram positive สร้างผนังเซลให้หนาขึ้นเมื่อเซลมีอายุมากขึ้นหรืออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมมีลักษณะคล้ายสปอร์หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Cyst สามารถย่อย Starch ให้กรด Acetic และ Butyric เจริญเติบโตได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มี pH 5-7 และไม่มี Oxygen พบว่าในสภาพน้ำขังสามารถตรึงไนโตรเจนได้ประมาณ 0.006-0.067 mgN/g soil จุลินทรีย์กลุ่มนี้มี 3 species คือ *Clostridium pastuerianum, C. butyricum* และ *C. acetobutyricum*

Desulfovibrio และ Desulfotomaculum

จุลินทรีย์ทั้งสอง genus นี้ สามารถเจริญเติบโตได้โดยใช้สารประกอบกำมะถันเป็นแหล่งพลังงานเรียกว่าเป็นพวก sulfate-reducing bacteria เมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหารที่มี sulfate จะเปลี่ยน sulfate ให้เป็น sulfite ทำให้มีกลิ่นเฉพาะตัว

Genus Desulfovibrio ประกอบด้วย *D. sulfuricans, D. vulgaris* และ *D. gigas* ส่วนใน Genus Desulfotomaculum มี 2 species คือ *D. orientis* และ *D. ruminis* ทั้งสองชนิดต่างกันตรงที่ Desulfovibrio ไม่สร้างสปอร์แต่ใน Desulfotomaculum สร้างสปอร์

3. Facultative anaerobic nitrogen-fixing bacteria

จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้เป็น Bacteria ที่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพที่มี oxygen น้อย และการตรึงไนโตรเจนจะเกิดขึ้นต่อเมื่อในสภาพแวดล้อมมี oxygen อยู่น้อยกว่าบรรยากาศมาก ๆ หรือไม่มีเลย มีด้วยกัน 3 Family คือ Famuly Bacillaceae, Family Enterobacteriaceae และ Family Spirileaceae

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Family Bacillaceae

จุลินทรีย์ใน Family นี้ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ ได้แก่ Bacteria ใน Genus Bacillus ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 Species คือ *Bacillus polymyxa, B. macerans* และ *B. circulans* Bacteria ทั้งสามชนิดนี้มีรูปร่างเป็นแท่งสั้น เป็นพวก gram negative มี flagellum สำหรับใช้ในการเคลื่อนที่จะปรับตัวให้เซลมีผนังหนาขึ้นมีลักษณะคล้าย spore เมื่อสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมหรือเซลแก่แล้ว เรียกเซลลักษณะนี้ว่า endospore หรือ cyst ซึ่งจะงอกเป็นเซลใหม่เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม

Family Spirillaceae

จุลินทรีย์ใน Family นี้ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ ได้แก่ Bacteria ใน Genus Azospirillum ซึ่งมีบทบาทค่อนข้างมากในการตรึงไนโตรเจนให้กับพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกพืชตระกูลหญ้า โดยมีลักษณะการอยู่ร่วมกันแบบใกล้ชิด (Association) และยังปรากฏว่าบางชนิดสามารถเข้าไปอยู่ระหว่างเซลภายในรากได้ด้วย เซลมีรูปร่างเป็นแท่งตรงหรือโค้งเล็กน้อย มี flagella ที่ปลายเซลด้านใดด้านหนึ่ง เป็นพวก gram-negative หรือ gram-variable สามารถเจริญเติบโตได้ดีในอาหารที่มีกรดอินทรีย์ เช่น malate, succinate, lactate หรือ pyruvate มี 4 ชนิดคือ

Azospirillum lipoferum (Beijerinck, 1925 อ้างโดย สมพร,2541) เซลมีรูปร่างได้หลายแบบ ถ้าเลี้ยงในอาหารที่มีส่วนประกอบของ malate จะมีรูปร่างเป็นตัว S และรูปไข่ ปะปนอยู่กับลักษณะที่เป็นรูปแท่งธรรมดา แต่ถ้าเลี้ยงในอาหารที่มี glucose เซลจะมีรูปร่างเป็นแท่งอย่างเดียว เป็นพวกติดสี gram-negative ลักษณะ colony ใหญ่ สีขาว มีเมือก (slimy) ต้องการ biotin ในการเจริญเติบโต

A. brasilense (Tarrand, Krieg and Dobereiner, 1979 อ้างโดย สมพร,2541) เซลมีรูปร่างเป็นรูปตัว comma หรือ S (vibrioid) เซลจะมีรูปร่างไม่เปลี่ยนแปลงถึงแม้ว่าจะอยู่ในอาหารที่ค่อนข้างเป็นด่างก็ตามซึ่งแตกต่างจาก *A. lipoferum* ที่รูปร่างจะเปลี่ยนไป จุลินทรีย์พวกนี้เป็น Bacteria ในกลุ่ม gram-negative แต่เมื่อเจริญอยู่บนผิวอาหารวุ้นเซลจะสร้างผนังหนาเรียกว่า encapsulated form ทำให้ติดสี gram-positive ได้ ซึ่งจัดเป็นพวก gram-variable พบมากในรากพืชตระกูลหญ้าชนิดต่าง ๆ ซึ่งพบ bacteria ชนิดนี้มากกว่า *A. lipoferum*

A. amazonance เซลจะมีขนาดเล็กกว่า *A. lipoferum* และ *A. brasilense* เจริญเติบโตได้ดีในอาหารที่มีน้ำตาล glucose หรือ sucrose pH ประมาณ 5.8-6.8 เป็นจุลินทรีย์พวก gram-negative ลักษณะ colony เรียบขอบ colony ยกสูงขึ้น มีสีขาวขุ่น

A. halopraeferans เซลมีขนาดเล็กกว่า 3 ชนิดแรก ลักษณะโค้งหรือรูปตัว S ขนาดของเซลประมาณ 0.7-1.2 ไมครอนเคลื่อนที่ได้โดยใช้ flagella ที่มีอยู่ 1 อัน เจริญได้ดีในอาหารที่มี fructose pH ประมาณ 6.8-8.0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การตรึงไนโตรเจนของ *Azospirillum*

การตรึงไนโตรเจนของ *Azospirillum* มีประสิทธิภาพแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะแหล่งคาร์บอน เช่น ถ้าเลี้ยง *A. lipoferum* ในอาหารที่มีกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนจะตรึงไนโตรเจนได้ประมาณ 20-50 มิลลิกรัมต่อกรัมกลูโคส หรือถ้าเลี้ยงเชื้อ *A. brasilense* ในอาหารที่มี lactose จะตรึงไนโตรเจนได้ 15-90 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกรัมแลคโตส หรือตรึงได้ 262-1018 nmoleC_2H_4/mg เซล protein/วัน นอกจากนั้น การตรึงไนโตรเจนและการเจริญเติบโตของ *Azospirillum* จะมีประสิทธิภาพดีนั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิระหว่าง 20-40 องศาเซลเซียส มี pH 5-7 มีปริมาณ O_2 อยู่ที่ 0.005-0.007 ของความดันบรรยากาศ เป็นต้น

ในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยมีวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรและภาคอุตสาหกรรมที่เป็นวัสดุอินทรีย์ปริมาณที่มากมายมหาศาล ดังนั้นการนำเอาวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น การนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมักก็จะช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรลงได้ แต่ปุ๋ยหมักที่ได้มีธาตุอาหารพืชหลักเป็นองค์ประกอบโดยเฉลี่ยจำนวนน้อยโดยมี N ประมาณ 0.9-1.2% P_2O_5 ประมาณ 0.2-4% และ K_2Oประมาณ 0.7-3.8% ซึ่งการใช้ปุ๋ยหมักเพื่อให้ธาตุอาหารพืชเพียงพอและสมดุลสำหรับพืชและทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีจะต้องใช้ในอัตราที่สูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ อย่างไรก็ตามสามารถทำให้ปุ๋ยหมักมีธาตุอาหารเพิ่มขึ้นได้โดยใช้จุลินทรีย์และวัตถุดิบที่เป็นแหล่งธาตุอาหารพืชผสมลงไป ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้แก่จุลินทรีย์ที่มีเอนไซม์ nitrogenase ทำให้สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้โดยใช้เอนไซม์ที่มีอยู่และพลังงานที่ได้จากอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักเรียกกระบวนการนี้ว่า การตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพ (Biological Nitrogen Fixation หรือ BNF) จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนแบบอิสระสามารถเจริญเพิ่มปริมาณขึ้นและมีกิจกรรมได้ โดยอาศัยอินทรียวัตถุที่เป็นองค์ประกอบของปุ๋ยหมักซึ่งมีอยู่ประมาณ 25-50% เป็นแหล่งอาหารจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนอิสระเหล่านี้จะอาศัยอยู่บริเวณรอบรากพืชโดยเฉพาะพืชพวก C_3 และ C_4 เช่น ข้าว ข้าวโพด ข้าวสาลี และอ้อย เป็นต้น(Ivan *et al.*,2004) เมื่อจุลินทรีย์เหล่านี้สะสมอยู่ในปุ๋ยหมักแล้วนำไปใส่ลงไปให้กับพืชจุลินทรีย์ชนิดนี้จะไปอาศัยบริเวณรากพืช โดยใช้สารประกอบที่พืชปลดปล่อยออกมาเป็นแหล่งอาหารจุลินทรีย์เหล่านี้จะสามารถเจริญเติบโตต่อไปและตรึงไนโตรเจนให้พืชนำไปใช้ได้ด้วย อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโตและการตรึงไนโตรเจนของ จุลินทรีย์จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการโดยเฉพาะแหล่งคาร์บอน ทั้งนี้ปุ๋ยหมักเป็นแหล่งหนึ่งที่สามารถทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ ปุ๋ยหมักส่วนใหญ่ได้มาจากวัสดุเหลือใช้ทั้งในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมที่เป็นวัสดุอินทรีย์ แต่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยทั่วไปปุ๋ยหมักมีธาตุอาหารพืชหลักเป็นองค์ประกอบอยู่น้อย แนวทางหนึ่งที่จะสามารถเพิ่มไนโตรเจนในปุ๋ยหมักได้คือ การเพิ่มธาตุไนโตรเจนโดยใช้จุลินทรีย์ที่มีศักยภาพในการย่อยสลายวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของปุ๋ยอินทรีย์และประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนเพื่อเก็บสะสมไว้ในปุ๋ยอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่ตรึงไนโตรเจนแบบอิสระโดยที่มีการศึกษากันมากในกลุ่ม Bacteria ได้แก่ *Azotobacter , Azospirillum , Beijerinckia* และ *Klebsiella* ซึ่งมีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนได้แตกต่างกันออกไปเมื่ออยู่ในบริเวณรากของพืชต่าง ชนิดกัน Wani *et al*. (1989) (อ้างโดยสมพร, 2541) พบว่าจุลินทรีย์บริเวณรากของหญ้า Kalla ตรึงไนโตรเจนได้ถึง 40-70% นอกจากจุลินทรีย์สามารถตรึงไนโตรเจนให้กับพืชแล้ว จุลินทรีย์ยังปลดปล่อยสารเร่งการเจริญเติบโตให้กับพืชทำให้พืชมีผลผลิตเพิ่มขึ้นด้วย (Okon and Kapulnik,1986) ในการกระตุ้นให้จุลินทรีย์กลุ่มนี้ตรึงไนโตรเจนได้มากขึ้นนั้นต้องมีการจัดการสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โดยการเพิ่มสารอินทรีย์ที่ได้จากการสลายตัวของพืชลงไปในดินด้วย ซึ่งทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้ดีขึ้นและเป็นการรักษาสภาพดินให้มีความอุดมสมบูรณ์อยู่ นอกจากนี้ปัจจัยที่ช่วยเพิ่มปริมาณและประสิทธิภาพของการตรึงไนโตรเจนยังต้องอาศัยสารประกอบที่ปลดปล่อยออกมาจากรากพืชด้วย (Okon and Kapuonik, 1986) จะเห็นได้ว่าอินทรียวัตถุเป็นปัจจัยหนึ่งที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนเหล่านี้โดยที่ Ishac *et al*. (1986) สรุปว่าการเพิ่มอินทรียวัตถุลงไป 2-4% จะทำให้จุลินทรีย์มีปริมาณเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้กิจกรรมการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น (Nishio and Kusano, 1980) จากการศึกษาของ Keeling *et al*. (1998) พบว่าการเพิ่มสารประกอบ carbohydrate เช่น glucose ลงไปในปุ๋ยหมักจะทำให้ประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนสูงขึ้น นอกจากนี้ Garg *et al*. (2001) ได้ศึกษาการมีชีวิตอยู่และการปลดปล่อยธาตุอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ *Azotobacter chroococcum* สายพันธุ์ Mac-27 ในวัสดุกึ่งเหลวที่ประกอบด้วย มูลวัว มูลไก่ และของเสียจากคอกหมู พบว่า การใส่เชื้อลงไปในวัสดุกึ่งเหลวทำให้มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่อมีการคลุกเชื้อไว้เป็นเวลา 14 วัน และหลังจากนั้นปริมาณเชื้อจะลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณธาตุอาหารในวัสดุไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้เชื้อมีปริมาณลดลง นอกจากนี้ยังพบว่ามีการปลดปล่อยธาตุอาหารมากกว่าในตำรับที่ไม่ได้ใส่เชื้ออีกด้วย

Talukdar *et al*. (2002) ศึกษาการจัดการ integrated nutrient management โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพที่มีผลต่อการปลูกพืชระบบ rice-legume rice พบว่าการใช้ประโยชน์จากปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อ *Azospirillum* สามารถเพิ่มปริมาณทั้งหมดของเมล็ดข้าวได้ถึง 35.8% และ 14.5% เมื่อเทียบกับ control และการใส่ปุ๋ยเคมี NPK ตามลำดับ ส่วนการใส่ปุ๋ย N ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์พบว่ามีปริมาณผลผลิตใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามในส่วนของคุณสมบัติของดินไม่ว่าจะเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กิจกรรมของเอนไซม์ dehydrognase ปริมาณเชื้อ *Azospirillum* ความเสถียรของเม็ดดิน และปริมาณไส้เดือนดิน พบว่ามีปริมาณที่เพิ่มขึ้นในการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเชื้อ *Azospirillum* นอกจากนั้นการวัดปริมาณ acetylene (Acetylene Reduction Assay : ASA) จาก treatment ดังกล่าว ชี้ให้เห็นว่าปริมาณไนโตรเจนที่สามารถตรึงได้มีประมาณ 17 kgN ha^{-1} การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ประโยชน์จากเชื้อจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์สามารถปรับปรุงผลผลิตพืชและคุณสมบัติของดินได้ ประไพ (2540) ทำการศึกษาผลของการย่อยสลายของตอซังข้าวโพด ต่อมวลชีวภาพของดินชุดปากช่องที่ใส่เฉพาะตอซังข้าวโพดเพียงอย่างเดียวหรือใส่ร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนในสภาพห้องปฏิบัติการ ผลของการศึกษาปรากฏว่าองค์ประกอบของอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกย่อยสลายได้ง่ายในตอซังข้าวโพดจะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วภายใน 2 สัปดาห์ ส่วนที่เหลือเป็นองค์ประกอบของอินทรีย์คาร์บอนที่จะถูกย่อยสลายได้ยาก การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมด้วยทำให้ตอซังข้าวโพดถูกย่อยสลายได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ในขณะที่ตอซังข้าวโพดถูกย่อยสลายมวลชีวภาพของดิน (จุลินทรีย์ดิน) จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นและจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นจะเป็นกลุ่มบัคเตรีที่ต้องการออกซิเจนมากกว่ากลุ่มของแอคติโนมัยซีทและเชื้อราจากการเพิ่มจำนวนหรือปริมาณของจุลินทรีย์ดินทำให้ mineralizable N (NH^{+}_{4}-N และ NO^{-}_{3}-N) ในดินระยะ 8 สัปดาห์แรกมีปริมาณต่ำกว่าในดินที่ไม่ใส่ตอซังข้าวโพดเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เป็นเพราะจุลินทรีย์ดินได้ใช้ไนโตรเจนไปในการเจริญเติบโต

จากผลการวิจัยของบรรหาร และคณะ (2541) ได้คัดเลือกเชื้อแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจนอย่างมีประสิทธิภาพให้กับข้าว จำนวน 6 ตัวอย่าง ข้าวโพด 6 ตัวอย่าง และข้าวฟ่าง 5 ตัวอย่าง มาทำการทดสอบประสิทธิภาพร่วมกับการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน พบว่า การใช้จุลินทรีย์แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนช่วยให้การเจริญเติบโตและผลิตของข้าว ข้าวโพด และข้าวฟ่าง มากกว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียว จะเห็นว่าการใช้จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจนในการทำการเกษตรสามารถลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้ ส่งผลให้ลดต้นทุนการผลิต ลดการใช้พลังงานปิโตรเลียมและเป็นไปตามแนวทางที่สอดคล้องกับธรรมชาติ Boddy *et al.* (1995) รายงานการทดลองที่ประเทศบราซิลไว้ว่า อ้อยสามารถให้ผลผลิตได้ในปริมาณที่สูง แม้ว่าจะใช้ปุ๋ยไนโตรเจนต่ำ โดยในอ้อยส่วนใหญ่ได้รับไนโตรเจนจากจุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจน ซึ่งมีปริมาณที่มากกว่า 60 % (>150 kg/ha/year) Sompong *et al.* (2004) ศึกษาความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยหมักที่ได้จากวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตน้ำตาล โดยการทดลองประกอบด้วย1.การหมักด้วยกากน้ำตาลอย่างเดียว 2. การหมักผสมระหว่างกากน้ำตาลกับชานอ้อย โดยทำการหมักปุ๋ยเป็นเวลาประมาณ 90 วันพบว่าปุ๋ยหมักทั้ง 2 ตำรับมีค่า C/N ratio คงที่ , ปริมาณ NH_4^+/NO_3^- ต่ำ มีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงถึง 80% จากผลการทดลองพบว่าปุ๋ยหมักผสมสามารถรักษาธาตุอาหาร N ไว้ได้ดีระหว่างการหมัก เพราะ N ที่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

มากนั้นจะสูญเสียไปอยู่ในรูปของปุ๋ย และจากการศึกษาของ Chueysai *et al.* (1986) ได้ประเมินผลของการใช้วัสดุอินทรีย์ปรับปรุงดินเป็นเวลา 5 ปี เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ซึ่งสามารถแนะนำได้ว่าการใช้วัสดุอินทรีย์ติดต่อกัน 5 ปี ช่วยให้สมบัติของดินเกี่ยวกับ Soil Tilth ดีขึ้น นอกจากนี้ซึ่งยังมีแนวทางทำให้การยึดเหนี่ยวของน้ำและการซาบซึมของน้ำ (permearbility) ของดินดีขึ้น

ดังนั้นในการพัฒนาภาคเกษตรกรรมโดยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เข้ามาร่วมด้วย จะสามารถทำให้การเกษตรของประเทศเข้าสู่ระบบเกษตรยั่งยืนได้ เพราะนอกจากปุ๋ยอินทรีย์จะมีส่วนร่วมเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืชและดินแล้ว ปุ๋ยอินทรีย์ยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมี ทำให้เกษตรลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ โดยการใช้ปุ๋ยแบบผสมผสานระหว่างการใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาความอุดมสมบูรณ์ของดินที่สมบูรณ์แบบ การใช้ปุ๋ยชีวภาพนอกจากจะช่วยเพิ่มผลผลิตพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ยังเป็นปัจจัยที่สำคัญหนึ่งในการช่วยลดมลภาวะ สามารถปรับสภาพแวดล้อม รักษาทรัพยากรธรรมชาติให้อยู่ในสมดุลเพิ่มศักยภาพในการผลิต ลดความเสื่อมโทรมของดินที่ทำการเพาะปลูกต่อเนื่องกันอยู่ตลอดเวลาและเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรในการปลูกพืชผลต่างๆ อีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved