การใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตครั่งเม็ด
เป็นปุ๋ยอินทรีย์

ศิริรัตน์ ปากประโคน

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

(เกษตรศาสตร์)

สาขาวิชาปฐพีศาสตร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

พฤษภาคม 2557

การใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตครั่งเม็ด
เป็นปุ๋ยอินทรีย์

ศิริรัตน์ ปากประโคน

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
สาขาวิชาปฐพีศาสตร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

พฤษภาคม 2557

การใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตครั่งเม็ดเป็นปุ๋ยอินทรีย์

ศิริรัตน์ ปากประโคน

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
สาขาวิชาปฐพีศาสตร์

คณะกรรมการสอบ

..... ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร. จีราภรณ์ อินทสาร)

..... กรรมการ
(อ.ดร.ชูชาติ สันธทรัพย์)

..... กรรมการ
(อ.ดร.อรวรรณ ฉัตรสีรุ้ง)

คณะกรรมการที่ปรึกษา

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(อ.ดร.ชูชาติ สันธทรัพย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อ.ดร.อรวรรณ ฉัตรสีรุ้ง)

28 พฤษภาคม 2557

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก อ.ดร.ชูชาติ สันธทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาและประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆจนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์สมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร. อรวรรณ ฉัตรสีรุ้ง กรรมการที่ปรึกษาและสอบวิทยานิพนธ์ที่เอื้อเฟื้อช่วยเหลือและให้การสนับสนุนที่ดีตลอดมา และ ผศ. ดร. จีราภรณ์ อินทสาร ที่กรุณารับเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้และแนวคิดในสิ่งที่ดีงามตลอดระยะเวลาการศึกษา ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ บริษัท เอทีอี มาสตากิ (ประเทศไทย) จำกัด ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย ขอบคุณห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรสาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และพื้นที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณผู้ร่วมโครงการวิจัย ที่ช่วยเก็บรวบรวมข้อมูล ประมวลผล และอำนวยความสะดวก ทั้งทางด้านอุปกรณ์เครื่องมือตลอดจนระบบสาธารณูปโภคต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อสมใจ ปากประโคน คุณแม่มโนรา ปากประโคน และญาติๆ ทุกท่าน สำหรับความรักความเข้าใจ คอยอบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกคน สำหรับความช่วยเหลือและให้คำแนะนำดีๆ ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ หากมีสิ่งขาดตกบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยเป็นอย่างสูงในข้อบกพร่องและความผิดพลาดนั้น และผู้เขียนหวังว่าวิทยานิพนธ์นี้คงเป็นประโยชน์บ้างไม่มากก็น้อยสำหรับผู้ที่สนใจในเรื่องการใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตครั่งเม็ดเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์

ศิริรัตน์ ปากประโคน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตครั่งเม็ดเป็นปุ๋ยอินทรีย์	
ผู้เขียน	นางสาวศิริรัตน์ ปากประโคน	
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) ปฐพีศาสตร์	
คณะกรรมการที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. ชูชาติ สันธทรัพย์	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
	อาจารย์ ดร. อรวรรณ ฉัตรสีรุ้ง	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

การศึกษาศักยภาพของการใช้ตะกอนของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตครั่งเม็ดเพื่อนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ ได้ดำเนินการที่คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในระหว่าง พฤษภาคม 2555 ถึงพฤษภาคม 2556 โดยแบ่งการศึกษาวิจัยออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้ การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษากรรมวิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง 2 วิธี คือ การผลิตโดยวิธีการอบแห้ง ซึ่งได้ทำศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งตะกอนครั่งเปียกต่อคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง โดยทำการอบตะกอนครั่งเปียกด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75 องศาเซลเซียส จนแห้ง (ความชื้น 10-11%) แล้วจึงวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ของตะกอนครั่งแห้ง (ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง) เปรียบเทียบกับตะกอนครั่งเปียกก่อนอบ และวิธีที่ 2 เป็นการผลิตโดยวิธีการหมัก โดยทำการหมักตะกอนครั่งเปียกเป็นเวลา 8 สัปดาห์ แล้วจึงวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ได้จากการหมัก ทุก 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นทำการศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งโดยทำการเก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ได้จากการอบแห้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25-30 ºC) แล้วทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งทุก 1 เดือน เป็นระยะเวลา 6 เดือน การทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจน (N mineralization) และปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์ (microbial biomass) ในดิน โดยทำการบ่มดินกับปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตรา 1 2 และ 3 ตัน/ไร่ เปรียบเทียบกับดินที่ใส่ปุ๋ยหมัก AG-5 ในอัตรา 2 ตัน/ไร่ และดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เป็นกรรมวิธีควบคุม ตัวอย่างดินถูกปรับระดับความชื้นดินไว้ที่ 60% ของความจุความชื้นสูงสุด แล้วนำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของไนเตรท แอมโมเนียม และมวลชีวภาพคาร์บอนของจุลินทรีย์ดินทุกๆสัปดาห์เป็นระยะเวลา 1 เดือน และการทดลองที่ 3 เป็นการศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้า โดยทำการปลูกผักคะน้าในกระถางทดลอง ภายใต้สภาพโรงเรือน ของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่มีการจัดการปุ๋ยในอัตราที่แตกต่างกัน 7 กรรมวิธี ซึ่งประกอบไปด้วย กรรมวิธีควบคุม (ไม่มีการใส่ปุ๋ย), ปุ๋ยเคมี (16-16-16) อัตรา 50กิโลกรัม/ไร่, ปุ๋ยหมัก AG-5

อัตรา 3 ตัน/ไร่, ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง อัตรา 3 ตัน/ไร่, ปุ๋ยหมักผสมปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง 25% อัตรา 3 ตัน/ไร่, ปุ๋ยหมักผสมปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง 50% อัตรา 3 ตัน/ไร่, และปุ๋ยหมักผสมปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง 75% อัตรา 3 ตัน/ไร่

จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิเหมาะสมสำหรับการอบแห้งตะกอนครั่งควรอยู่ระหว่าง 45-55ºC การใช้ความร้อนสูงกว่า 55ºC และต่ำกว่า 45ºC จะส่งผลให้สูญเสียอินทรียวัตถุและไนโตรเจน โดยเฉพาะไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมที่สูญเสียถึงร้อยละ 47 และ 72 ตามลำดับ แต่อุณหภูมิของการอบแห้งมีผลต่อการลดลงของฟอสฟอรัสเพียงเล็กน้อย จากการหมักตะกอนครั่งเปียกเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า การหมักส่งผลให้ตะกอนครั่งมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการปลูกพืชมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากค่า pH ที่มีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการหมัก และจากการ เก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ได้จากการอบแห้งที่ 55ºC ที่มีปริมาณความชื้นประมาณ 10-11% ไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25-30ºC) เป็นระยะเวลา 6 เดือน ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดด่างของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งลดต่ำลง 1.4-1.9 หน่วย จากค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้น เมื่อทำการบ่มดินตามแต่ละกรรมวิธีทดลองเพื่อศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน(N mineralization) และปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์ (microbial biomass) ในดิน พบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งทำให้เกิดการแปรสภาพสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนและปริมาณมวลชีวภาพคาร์บอนของจุลินทรีย์ในดินเพิ่มสูงขึ้น และการเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มอัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง นอกจากนั้นยังพบว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตรา 1 ตัน/ไร่ ทำให้เกิดการแปรสภาพสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน และปริมาณมวลชีวภาพคาร์บอนของจุลินทรีย์ในดิน สูงกว่าเมื่อเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยหมัก AG-5 ในอัตรา 2 ตัน/ไร่

ในการนำปุ๋ยอินทรีย์ครั่งมาทดสอบกับผักคะน้าใบพบว่า การจัดการโดยการใส่ปุ๋ยหมัก AG-5 ผสมปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง 50% อัตรา 3 ตัน/ไร่ ทำให้ผักคะน้ามีการเจริญเติมโตให้ผลผลิตดีที่สุด เทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ยหมัก AG-5 อัตรา 3 ตัน/ไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 50 กก./ไร่ แต่อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง 100% ในอัตรา 3 ตัน/ไร่ อาจจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชที่ปลูกได้ จากข้อมูลการศึกษาข้างต้นชี้ให้เห็นว่า ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ได้จากการอบแห้ง มีศักยภาพในการนำมาใช้ประโยชน์ด้านการเกษตร แต่การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตราสูงกว่า 3 ตัน/ไร่ อาจทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโตได้ ดังนั้นควรใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งร่วมกับปุ๋ยหมักธรรมดา โดยผสมปุ๋ยอินทรีย์ครั่งลงไปในปุ๋ยหมักในอัตราประมาณ 25-50% จะทำพืชตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยได้ดีที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Thesis Title	Use of Waste Material from Seed Lac Production as Organic Fertilizer
Author	Miss Sirirat Pakprakon
Degree	Master of Science (Agriculture) Soil Science
Advisory Committee	Dr. Choochad Santasup Advisor Dr. Arawan Shutsrirung Co-advisor

ABSTRACT

A study on potential of utilizing waste material from seed lac processing as organic fertilizer was conducted at faculty of agriculture, Chiang Mai University during May 2012 - May 2013. This study has three experiments, the first experiment, two lac organic fertilizer production processes were evaluated. Method I is drying process, different drying temperatures that ranged between 35 and 75 °C were applied to fresh lac waste sediment to find an optimum temperature that affect minimum nutrients loss. Physico-chemical analysis of dried lac waste sediment (10-11% moisture content), referred to as lac organic fertilizers obtained from the drying process and the fresh lac waste were performed for comparison. Method II is composting process, fresh lac sediment was composted for 8 weeks. Lac organic fertilizers samples were taken every two weeks until 8 weeks for their properties analysis. In addition, effect of storage period on lac organic fertilizer properties were also evaluated. The lac organic fertilizers obtained from drying process were stored at room temperature and analysed their properties every month untit 6 month. The second experiment, the effects of lac organic fertilizer application on N-mineralization and microbial biomass in soil were determinaed by incubation soil with lac organic fertilizer at the rate of 1, 2, and 3 tons/rai in comparison with 2 ton/rai of AG5 compost and control treatment (without organic fertilizer). Moisture of soil samples were maintained at 60% of maximum water holding capacity. Then, the samples were incubated at 25 °C for a month. Soil samples were taken weekly for inorganic N, microbial biomas analysis. The third experiment, the effect of the lac organic fertilizers on growth

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

and yield of Chinese kale under green-house conditions was conducted at the Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. Different rate of lac organic fertilizers were applied to Chinese kale which planted in plastic pots. The treatments used were as followings: control (no fertilizer), 50 kg/rai chemical fertilizer (16-16-16), 3 ton/rai AG5-compost, 3 ton/rai lac organic fertilizer, 3 ton/rai AG5-compost + 25% lac organic fertilizer, 3 ton/rai AG5-compost + 50% lac organic fertilizer, and 3 ton/rai AG5-compost + 75% lac organic fertilizer.

The result showed that the optimum temperature of lac waste sediment drying was about 45-55ºC. The drying temperature higher than 55˚C and lower than 45˚C effect the loss of organic matter and nitrogen content particularly ammonium-nitrogen content about 47 and 72 percent, respectinely, but phosphorus contents was only slightly decreased by drying. Composting of wet lac waste sediment at 8 weeks found that lac compost was more suitable for growing plants, which is clearly shown from the increasing pH with period of composting. At six-months storage of the lac organic fertilizers (55ºC drying, 10-11 percentage moisture content) resulted in pH decreasing about 1.4-1.9 pH unit in comparison with the beginning. Soil incubating with different lac organic fertilizer rates gave the higher results on N-mineralization and microbial biomass carbon in soil compared to AG-5 compost. Besides, the application of lac organic fertilizers at the rate of 1 ton/rai increased the N-mineralization and microbial biomass carbon in soil equally 2 tons/rai of compost AG-5 usage.

The lac organic fertilizers application rates were applied to Chinese kale found that the mixed organic fertilizer (AG-5 compost plus 50% of lac organic fertilizers) at the rate of 3 tons/rai gave the best result on Chinese kale productivity compared to AG-5 compost at the rate of 3 tons/rai and chemical fertilizer (16-16-16) at the rate of 50 kg/rai. However, application of lac organic fertilizer at the rate of 3 tons/rai possibly caused the plant toxicity. The results indicated that the dried lac waste sediment had a high potential for agricultural utilization. Conversely, the application rate over 3 tons/rai of lac organic fertilizer caused plant stuck growing. Therefore, the mixtures of lac organic fertilizer and compost at rate 25-50% gave the best result on plant response to the applied fertilizer.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ค

บทคัดย่อภาษาไทย ง

ABSTRACT ฉ

สารบัญตาราง ฎ

สารบัญภาพ ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

บทที่ 2 การตรวจเอกสาร 3

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ 23

3.1 การศึกษากรรมวิธีการผลิตและระยะในการเก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ต่อสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง 25

3.1.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อสมบัติปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง 25

3.1.2 ผลของกรรมวิธีการหมักต่อสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง 26

3.2 การศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อกระบวนการแปรสภาพของธาตุไนโตรเจน (N mineralization) และปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์ (microbial biomass) ในดิน 27

3.2.1 การเก็บข้อมูล 28

3.3 การศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้า 29

3.3.1 การบันทึกข้อมูล 30

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 31

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 4 ผลการทดลอง 32

4.1 การศึกษาผลของกรรมวิธีการผลิตและระยะในการเก็บรักษา ต่อสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง 32

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ผลิตด้วยกรรมวิธีอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 33

4.1.1.1 ปริมาณความชื้นของตะกอนครั่งเปียกที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35- 75°C 33

4.1.1.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของตะกอนครั่งเปียกที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C 34

4.1.1.3 สมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ได้จากการอบแห้งด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 42

4.1.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ผลิตด้วยกรรมวิธีการหมัก 44

4.1.3 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง 45

4.2 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพของธาตุไนโตรเจน (N mineralization) และปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์ (microbial biomass) ในดิน 46

4.2.1 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อกระบวนการแปรสภาพของไนโตรเจน (N mineralization) ในดิน 47

4.2.1.1 แอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N) 47

4.2.1.2 ไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^--N) 49

4.2.2 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของชีวมวลจุลินทรีย์ (microbial biomass) ในดิน 51

4.2.2.1 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอน (Microbial Biomass Carbon: MBC) .ในดิน 51

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2.2 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์ในโตรเจน (Microbial Biomass Narbon: MBN) ในดิน 53

4.3 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้า 55

บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง 60

5.1 กรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง 60

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงสมบติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ผลิตด้วยกรรมวิธีอบแห้ง 60

5.1.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ผลิตด้วยกรรมวิธีการหมัก 61

5.1.3 การเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในระหว่างการเก็บรักษา 61

5.2 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพ สารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนในดินและปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์ในดิน 62

5.2.1 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพของแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N) ในดิน 62

5.2.2 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพของไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^--N) ในดิน 62

5.2.3 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอน (Microbial Biomass Carbon: MBC) ในดิน 63

5.2.4 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเปลี่ยนแปลงของชีวมวลจุลินทรีย์ในโตรเจน (Microbial Biomass Narbon: MBN) ในดิน 64

5.3 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ต่อผลผลิตของผักคะน้า 64

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง 66

เอกสารอ้างอิง 68

ภาคผนวก ก 76

ประวัติผู้เขียน 97

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 คุณสมบัติบางประการของวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งต่าง ๆ 6

ตารางที่ 2 วิธีวิเคราะห์สมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง 27

ตารางที่ 3 วิธีวิเคราะห์พืช 31

ตารางที่ 4 สมบัติเบื้องต้นของตะกอนครั่ง 33

ตารางที่ 5 สมบัติบางประการของตะกอนครั่งหลังการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 43

ตารางที่ 6 สมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ผลิตด้วยกรรมวิธีการหมัก 45

ตารางที่ 7 ผลของระยะการเก็บรักษาต่อสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง 46

ตารางที่ 8 สมบัติเบื้องต้นของดินที่ใช้สำหรับทดลอง 47

ตารางที่ 9 สมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยหมัก AG-5 และปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ใช้ในการทดลอง 47

ตารางที่ 10 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N) ในดิน 49

ตารางที่ 11 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^--N) ในดิน 51

ตารางที่ 12 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอน (Microbial Biomass Carbon: MBC) ในดิน 53

ตารางที่ 13 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์ไนโตรเจน (Microbial Biomass Narbon: MBN) ในดินต่อปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง 55

ตารางที่ 14 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า 56

ตารางที่ 15 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ต่อผลผลิตและความเข้มข้น 58

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ครั่งดิบ (stich lac) 23

ภาพที่ 2 บ่อดักตะกอน 24

ภาพที่ 3 เครื่องปั่นเวี่ยง (certifies) 24

ภาพที่ 4 ครั่งเม็ด (seed lac) 24

ภาพที่ 5 ตะกอนครั่งเปียก (fresh lac sediment, FLS) 25

ภาพที่ 6 ตะกอนครั่งที่ผ่านการอบแห้ง 26

ภาพที่ 7 ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง 27

ภาพที่ 8 ปริมาณความชื้นของตะกอนครั่งเปียกเมื่ออบแห้งด้วยอุณหภูมิ 35-75°C 34

ภาพที่ 9 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของตะกอนครั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C 35

ภาพที่ 10 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง EC ของตะกอนครั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C 36

ภาพที่ 11 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง Organic meter ของตะกอนครั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C 37

ภาพที่ 12 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง Total N ของตะกอนครั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C 38

ภาพที่ 13 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง NH_4^+-N ของตะกอนครั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C 39

ภาพที่ 14 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง NO_3^--N ของตะกอนครั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C 40

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 15 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง P_2O_5 ของตะกอนครั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C 41

ภาพที่ 16 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง K_2O ของตะกอนครั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C 42

ภาพที่ 17 การแปรสภาพของแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตราที่แตกต่างกัน 48

ภาพที่ 18 การแปรสภาพของไนเตรทไนโตรเจนในดินที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตราที่แตกต่างกัน 50

ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอน (Microbial Biomass Carbon: MBC) ในดินที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตราที่แตกต่างกัน 52

ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของชีวมวลจุลินทรีย์ไนโตรเจน (Microbial Biomass Nitrogen: MBN) ในดินที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตราที่แตกต่างกัน 54

ภาพที่ 21 ผลของการทดลองใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อผลผลิตของผักคะน้า 59

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 1

บทนำ

ประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมาก ในแต่ละปีจึงมีวัสดุเหลือทิ้งเป็นปริมาณค่อนข้างสูง และเป็นปัญหาในการกำจัดวัสดุของเสียเหล่านั้น หากมีการรวบรวมวัสดุอินทรีย์ดังกล่าวมาผ่านกระบวนการจัดการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ก็สามารถนำกลับมาใช้สำหรับปรับปรุงดินได้ เนื่องจากวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มักมีธาตุอาหารต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น กากตะกอนจากโรงกรองน้ำประปา ส่าเหล้าจากโรงงานผลิตสุราโรงงานน้ำอัดลม เป็นต้น (ธงชัย, 2550) ซึ่งส่วนใหญ่แล้วโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าว จะมีระบบการกำจัดของเสียที่ถูกต้องและมีการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้แล้วนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้หลายวิธี และวิธีหนึ่งที่พบว่าเหมาะสำหรับการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นสารอินทรีย์ คือ การทำปุ๋ยหมัก และ การทำแห้ง/อบแห้ง เช่น การศึกษาของวิษณุพงค์และคณะ (2552) ที่ทำปุ๋ยหมักร่วมจากเศษอาหารและกากของเสียของโรงงานผลิตสารให้ความหวาน ที่ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างกากของเสียต่อเศษอาหาร ในอัตราส่วนดังต่อไปนี้ 0:100, 10:90, 20:80, 30:70 และ 40:60 ทำการหมักเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์ จากนั้นนำปุ๋ยหมักที่ได้มาตรวจวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักหลังการหมักสมบูรณ์ พบว่าปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P และ K) ในปุ๋ยหมักร่วมทั้ง 5 อัตราส่วน มีปริมาณอยู่ในช่วง 1.54-8.05, 0.18-0.48 และ 0.0538-0.1026% ตามลำดับ เช่นเดียวกับ ภัทรวรรณและอรทัย (ไม่ระบุปีที่พิมพ์) ที่ศึกษาอัตราส่วนของตะกอนชีวภาพจากระบบน้ำเสียที่บำบัดด้วยวิธีการทางชีววิทยาต่อเศษหญ้าที่อัตราส่วนต่างกัน 4 ค่า ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าทุกอัตราส่วนของกระบวนการหมักปุ๋ยแบบใช้ออกซิเจนจะเสร็จสมบูรณ์โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 60 วัน โดยที่อัตราส่วนตะกอนชีวภาพต่อเศษหญ้า เท่ากับ 30 : 70 จะได้ปุ๋ยหมักที่มีปริมาณธาตุอาหารสูงที่สุดโดยมีปริมาณ N, P และ K เท่ากับ 1.27, 0.49 และ 0.53% ตามลำดับ

จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า การกำจัดวัสดุเหลือทิ้งอินทรีย์ด้วยการทำปุ๋ยหมักมีข้อเสียคือต้องใช้ระยะเวลานาน เมื่อเทียบกับการจำกัดวัสดุเหลือทิ้งอินทรีย์ด้วยการทำแห้ง ซึ่งการทำแห้งเหมาะสำหรับวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นกากตะกอนน้ำเสีย (sewage sludge) แต่มีข้อเสียหากทำแห้งด้วยการอบแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยใช้ความร้อนเนื่องจากจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม การอบแห้งวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นเสียประเภทกากตะกอนน้ำเสียก็เป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็วอีกทั้งยังสะดวกในการขนส่งและการนำไปใช้ โรงงานอุตสาหกรรมการผลิตครั่งเม็ดก็เป็นอีกหนึ่งอุตสาหกรรมที่มีวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต ซึ่งในกระบวนการผลิตครั่งเม็ดนั้นครั่งดิบจะถูกนำมาแยกสิ่งเจือปนออกด้วยการตำหรือบดครั่งให้แตกออกเป็นก้อนหยาบๆ หลังจากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรง และนำเอาครั่งที่ได้ไปล้างน้ำ จากครั่งดิบ 100 กิโลกรัมจะผลิตครั่งเม็ดได้ 80 กิโลกรัม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2535) ทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม จำนวนมากถึงร้อยละ 20 ของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิต สำหรับน้ำที่ใช้ในการล้างครั่ง ได้ผ่านการบำบัดโดยการแยกตะกอนออก ตะกอนครั่งส่วนใหญ่เป็นวัสดุอินทรีย์ ที่มีส่วนประกอบของโปรตีนจากซากครั่งและเศษไม้ วัสดุเหล่านี้มีปริมาณธาตุอาหารมีคุณลักษณะเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงดินได้

ซึ่งเห็นได้จากการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของตะกอนของเสียจากกระบวนการผลิตครั่งเม็ด พบว่ามีความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนค่อนข้างสูง (3.4-3.8 % N) ทำให้เกิดแนวคิดที่จะนำวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตครั่งเม็ด มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์โดยการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็วและเหมาะสมกับการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นสารอินทรีย์ประเภทกากตะกอนน้ำเสีย และเมื่อผลิตในรูปปุ๋ยอินทรีย์ด้วยการอบแห้งแล้วสามารถใช้กับพืชได้ โดยการนำมาทดสอบกับผักคะน้าใบซึ่งเป็นผักที่นิยมปลูกและใช้บริโภคกันอย่างแพร่หลาย การจำกัดวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นอินทรีย์ดังกล่าวเป็นการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอย่างคุ้มค่า รวมทั้งเป็นการช่วยป้องกันมลภาวะที่เกิดจากวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่เหมาะสม จากของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตครั่งเม็ด

2. เพื่อศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนและปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์ในดิน

3. เพื่อศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้ง

วัสดุอินทรีย์ (organic materials) หมายถึง สารประกอบจำพวกอินทรีย์จากเศษซากเหลือของพืช สัตว์ และ จุลินทรีย์ ซึ่งมีทั้งอยู่ในรูปที่เป็นของแข็ง และ ของเหลว วัสดุอินทรีย์นำมาใช้ปรับปรุงดินได้ โดยสามารถปรับปรุงดินได้ทุกด้าน ทั้งด้านเคมี กายภาพ และ ชีวภาพของดิน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อวัสดุอินทรีย์สลายตัวโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มเฮทเทอโรโทรพ (heterotroph) ในดินได้สารหลายชนิด มีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ดังนี้

วัสดุอินทรีย์ $\xrightarrow[\text{เฮทเทอโรโทรพ}]{}$ โพลีแซคคาไรด์
กรดอินทรีย์
กรดอะมิโน
ธาตุต่าง ๆ
ฮิวมัส
ฮอร์โมนพืช
คาร์บอนไดออกไซด์
เซลล์ของจุลินทรีย์และอื่นๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารประกอบที่มักพบในวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งที่สามารถย่อยสลายได้ ได้แก่

1) เซลลูโลส (cellulose) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์พืชหรือในสารอินทรีย์เป็น polymer ของ glucose เป็นหน่วยย่อยประมาณ 2,000-14,000 หน่วย เกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ดังนั้นการย่อยสลายของเซลลูโลสจะเริ่มจากการแตกหักของพันธะไฮโดรเจนก่อน แล้วจึงถูกย่อยสลายต่อด้วยกลุ่มเอ็นไซม์เซลลูโลส จนได้ glucose แล้วจุลินทรีย์จึงนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป (Coyne, 1999)

2) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นไซแลน (xylan) เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชหลายชนิด มีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม (hexose), และน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม (pentose) โดยมีน้ำตาลดังกล่าวเป็นองค์ประกอบประมาณ 50-200 หน่วย (ดนัย, 2544) การย่อยสลายเกิดขึ้นโดยใช้เอนไซม์เฮมิเซลลูเลส (hemicellulase) หลายชนิดที่ผลิตขึ้นโดยจุลินทรีย์ที่มีความจำเพาะเจาะจง (สมศักดิ์, 2524)

3) โปรตีน (protein) เป็นส่วนที่พบได้มากในขยะครัวเรือนและวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารต่างๆ โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่มีขนาดโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีหน่วยย่อยเป็นกรดอะมิโน นอกจากไนโตรเจนแล้วกรดอะมิโนยังมีฟอสฟอรัส, ซัลเฟอร์ และ เหล็ก เป็นองค์ประกอบ โปรตีนเป็นสารที่ย่อยสลายง่ายแต่ไม่สูญหายไปจากดิน เนื่องจากมีไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารสำหรับการสร้างมวลชีวภาพจุลินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ซึ่งเมื่อจุลินทรีย์ตายหรือเกิดกระบวนการ reminaralization โปรตีนจะถูกจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งนำไปใช้ทันที ซึ่งถือว่าเป็นการหมุนเวียนโปรตีนและอนุรักษ์โปรตีนไว้ในดินอีกทางหนึ่ง

4) แป้ง (starch) เป็นสารประกอบโพลิเมอร์ที่มีหน่วยย่อยเป็นกลูโคส แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ อะไมเลส (amylase) และอะไมโลเพ็คติน (amylopectin) เนื่องจากแป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ จุลินทรีย์ต้องขับเอนไซม์ ออกมานอกเซลล์ (extracellular enzymes) ที่ชื่อว่า อะไมเลส (amylase) ย่อยจนได้โมเลกุลน้ำตาลขนาดเล็ก จุลินทรีย์จึงสามารถนำน้ำตาลไปใช้เพื่อเป็นพลังงานหรือใช้ในกระบวนการชีวสังเคราะห์ (biosynthesis) ได้ (จักรกฤษณ์และนิวัต, 2541)

5) ไข (wax) เป็นสารที่เคลือบผนังเซลล์พืช ซึ่งมีหน่วยย่อยที่เกิดจากกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) และกรดไขมัน (fatty acid) เป็นส่วนใหญ่ ทำให้เซลล์พืชมีความแข็งแรงและป้องกันการซึมผ่านของน้ำ (Salisbury and Ross, 1991) Graca and Zimmer (2005) กล่าวว่า ความแข็งแรงของเซลล์พืชมีอิทธิพลอย่างมาก ต่ออัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในช่วงแรก นอกจากมีสารที่เคลือบพนังเซลล์แล้วความแข็งแรงของเซลล์พืชยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณเซลลูโลสและลิกนิน สารประกอบอินทรีย์ดังกล่าวเมื่อเกิดการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์แล้ว ส่วนใหญ่สามารถนำไปใช้สำหรับปรับปรุงดินเพื่อการปลูกพืชได้ เนื่องจากมีบทบาทช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและจุลินทรีย์ในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (อรพิน, 2551) นอกจากนี้ยังอาจใช้เป็นวัสดุอินทรีย์ทางเลือกเพื่อการจัดการดินที่มีปัญหาบางชนิด เช่น ดินกรด ดินทรายจัด ดินปนกรวด และดินเค็ม ซึ่งทำให้ดินมีสมบัติเหมาะสมต่อการปลูกพืชมากยิ่งขึ้น เช่น การศึกษาอิทธิพลของวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนของดินนา โดยใช้วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้ง 5 ชนิด คือ 1) ฟางข้าวหมัก (RSC) 2) กากละหุ่ง (CM) 3) วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล (filter cake: FC) 4) activated sludge จากโรงงานเบียร์ (AS) และ 5) sludge จากโรงงานสุรา (SW) โดยใช้เป็นแหล่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปุ๋ยไนโตรเจนให้ข้าวที่ปลูกในชุดดินรังสิต เปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยเคมี (F) และ ไม่ใส่ปุ๋ย (Ch) พบว่าวัสดุอินทรีย์ทุกชนิดช่วยเพิ่มไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม (NH_4^+-N) ในดินนาได้ โดยปริมาณและอัตราการปลดปล่อย NH_4^+-N ของวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิดแตกต่างกัน การใส่วัสดุอินทรีย์ทำให้ความเป็นกรดด่างของดินนาสูงขึ้นนอกจากนั้นการใส่ปุ๋ยอินทรีย์จะเพิ่มสภาพ reduction ของดินนาทำให้การปลดปล่อยธาตุเหล็กในดินนาสูงขึ้นด้วย (สมบูรณ์และคณะ, 2528)

2.1.2 วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรม และการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรที่มากขึ้นด้วย จนทำให้เกิดปัญหาในการกำจัดวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งเพิ่มมากขึ้น การนำเอาวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งดังกล่าว มาใช้เพื่อปรับปรุงดินที่ใช้ปลูกพืชจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการกำจัดวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้ง ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการผลิตพืชด้วยเนื่องจากสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งของธาตุอาหารพืช เพื่อทดแทนหรือเสริมการใช้ปุ๋ยเคมีได้ เช่น ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานผลิตเบียร์ (activated sludge: AS) วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาลในขั้นตอนการทำความสะอาดของน้ำที่ได้จากการหีบอ้อย (filter cake : FC) จีเอ็มแอล (glutamic mother mother liquor : GML) จากโรงงานผลิตผงชูรส กากกระดาษ (paper sludge) ตะกอนน้ำเสีย (sewage sludge) จากชุมชน ฟอสโฟยิปซัม (phosphogypsum) จากโรงงานผลิตปุ๋ยเคมี เศษอิฐมวลเบา ฯลฯ เป็นต้น ดังนั้นการนำวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมาใช้สำหรับปรับปรุงดินเพื่อการปลูกพืชจึงต้องมีกระบวนการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งดังกล่าวอาจมีวัสดุอื่น ๆ ซึ่งอาจจะเป็นของเสียที่เป็นอันตรายปะปนอยู่ด้วย (ปิยะ, 2553)

2.1.2.1 การใช้วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อปรับปรุงดิน

วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ปรับปรุงดินได้ โดยส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ซึ่งมีวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งหลังกระบวนการแปรรูปจำนวนมาก ซึ่งวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งสารอินทรีย์จากโรงงานอุตสาหกรรมมีคุณสมบัติและปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกันดังนี้ (ตารางที่ 1)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1 คุณสมบัติบางประการของวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งต่าง ๆ

ชนิดของวัสดุอินทรีย์	คุณสมบัติ					
	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	C (%)	C/N ratio	pH
ฟางข้าว	0.55	0.09	2.32	48.82	89	8.20
หญ้าขน	1.38	0.34	3.69	48.66	35	7.10
ต้นข้าวโพด	0.53	0.15	2.21	33.00	62	8.20
มันสำปะหลัง						
เปลือก (เปียก)	0.06	0.22	0.67	48.85	81	3.60
เปลือก (แห้ง)	0.59	0.19	0.77	31.52	53	4.45
เหง้า	1.48	0.48	1.01	54.49	37	4.70
สับปะรด						
เปลือก (โรงงาน)	1.79	0.85	5.46	46.80	26	7.60
ใบ (สด)	1.12	0.48	2.64	53.84	48	6.05
เศษ (สด)	0.82	-	-	49.95	61	9.05
ส่วนของเปลือก						
เปลือกถั่วคาโลโปโกเนียม	2.30	0.54	2.94	53.49	42	5.70
เปลือกเมล็ดกาแฟ	0.93	0.14	6.22	65.05	70	6.30
เปลือกถั่วลิสง	0.73	-	-	58.36	75	6.40
เปลือกทุเรียน	0.83	2.15	2.15	50.63	61	5.50
ขี้เลื่อย						
ไม้เบญจพรรณ	0.32	0.16	2.45	62.70	196	5.40
ไม้ยางเก่า	0.25	0.15	0.53	56.37	225	7.40
ไม้ยางใหม่	0.19	0.36	0.40	58.41	307	7.50
อ้อย						
ใบอ้อย	0.49	0.21	0.58	51.52	105	6.20
กากอ้อย	0.40	0.15	0.44	57.69	146	6.05

ที่มา: ดัดแปลงจาก พิทยากรและคณะ (2533) อ้างโดยมุกดา (2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในอุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรตามปกติจะมีวัสดุเหลือใช้หรือเศษวัสดุเหลือใช้ที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ประโยชน์โดยส่วนใหญ่เป็นวัสดุที่เน่าเสียได้ง่ายและมักก่อให้เกิดปัญหาด้านมลภาวะกับชุมชนและสภาพแวดล้อม หากมีการจัดการและกำจัดที่ไม่เหมาะสม ในกรณีที่เศษวัสดุเหลือใช้มีปริมาณมากก็จะเป็นภาระและหน้าที่ของโรงงานในการกำจัด อันเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตของภาคอุตสาหกรรม ทั้งนี้ได้มีการนำเศษวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มาใช้ให้เป็นประโยชน์ให้มีมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจในรูปแบบต่างๆกันขึ้นอยู่กับศักยภาพของวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นสารอินทรีย์เป็นหลัก จากการศึกษาของ ดุลยาและคณะ(2550) ที่ได้ศึกษาการทำปุ๋ยอินทรีย์เคมีจากของเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเลพบว่าของเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลมีธาตุไนโตรเจน (N) ธาตุฟอสฟอรัส (P) และ ธาตุโพแทสเซียม (K) เป็นองค์ประกอบสามารถนำมาผลิตน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์เพื่อพัฒนาเป็นปุ๋ยอินทรีย์เคมีใช้กับการเกษตรกรรมได้จริง ตามผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณภาพกับปุ๋ยเคมีสูตร 16-8-4 จากที่มีขายตามท้องตลาด

สำหรับการศึกษาของพงศ์เทพและคณะ (2540) ที่ทำการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากของเหลือใช้จากอุตสาหกรรมปลากระป๋อง พบว่าวัสดุเหลือใช้จากโรงงานปลากระป๋องมีศักยภาพที่สามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ ชนิดและความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก และ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายเศษปลาในส่วนของหัวปลา ก้างปลา และอวัยวะภายในของปลาคือกรดเกลือที่เข้มข้นร้อยละ 20 โดยปริมาณ และระยะเวลา 3 ชั่วโมง การย่อยเศษปลาเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ดี ควรใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 20 ระยะเวลาในการย่อย 3 ชั่วโมง จะให้ปุ๋ยปลาที่ให้ปริมาณธาตุอาหารมากกว่าและมีกลิ่นที่ดี การทดสอบปุ๋ยอินทรีย์ในรูปปั่นเม็ดกับวัสดุรองรับในสัดส่วน 1:1 สามารถใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ แต่การตอบสนองต่อพืชจะต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี แต่ถ้ามีการใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีจะให้การตอบสนองด้านการเจริญเติบโต และผลผลิตดีกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากปลาเพียงอย่างเดียว การใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากปลาในรูปสารละลายสามารถใช้ได้โดยตรงโดยให้ทางดินในอัตราที่เหมาะสมคือ 50 กิโลกรัมต่อไร่ จะให้ผลตอบสนองของพืชดีเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากปลาสามารถใช้เป็นปุ๋ยทางใบ โดยใส่ปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยรองพื้นและฉีดพ่นปุ๋ยอินทรีย์จากปลาทางใบ จะช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าวร้อยละ การใช้ filter cake ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาลในขั้นตอนการทำความสะอาด (clarification) ของน้ำที่ได้จากการหีบอ้อย filter cake ปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาช้าและปริมาณที่ปลดปล่อยต่ำกว่าปุ๋ยเคมีไนโตรเจนมาก (Chanchareonsook *et al.,* 1985) แต่ใน filter cake มีฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P) อยู่สูงถึง 2.91% ซึ่งเป็นดินที่มีปัญหาการขาดฟอสฟอรัสจึงสามารถนำ filter cake มาใช้เป็นปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินเปรี้ยวจัดได้ (Panichsakpatana *et al*., 1985) จากการศึกษาผลการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล (filter cake) ต่อการเจริญเติบโต น้ำหนักแห้ง และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าวที่ปลูกในดินรังสิตซึ่งเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ดินเปรี้ยวจัด เปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัส (KH_2PO_4) โดยใส่ 3 อัตรา คือ 0, 0.57 และ 1.71 กรัม P/ดิน 4 กิโลกรัม ทำการทดลองทั้งที่ใช้แหล่งปุ๋ยฟอสฟอรัสทั้งสองชนิดร่วมกันกับปุ๋ยเคมีไนโตรเจนในรูปยูเรีย และใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมซัลเฟต พบว่าการใส่ filter cake ทำให้น้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในข้าว และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ข้าวดูดขึ้นมาใช้เพิ่มตามอัตราใส่ที่สูงขึ้น ทั้งนี้น้ำหนักแห้ง และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่ใส่ filter cake และที่ใส่ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกันทางสถิติ (จงรักษ์และคณะ, 2539)

ปัจจุบันปุ๋ยหมักที่ผลิตกันทั่วไปมีลักษณะและสมบัติที่แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและแหล่งที่มาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ทั้งนี้เพื่อให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพและมาตรฐาน รวมทั้งเพื่อการพัฒนาเพิ่มคุณภาพปุ๋ยหมักที่ผลิตเพื่อการจำหน่ายเป็นการค้า ถ้าปุ๋ยชนิดใดที่ไม่ผ่านเกณฑ์ดังกล่าวจัดได้ว่าเป็นปุ๋ยหมักที่ไม่เหมาะสมและเป็นอันตรายต่อพืชไม่ควรนำมาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดิน จากการศึกษาของ อุษณีย์และคณะ (2552) ที่ศึกษาลักษณะและความเป็นพิษต่อพืชของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนเพื่อนำไปใช้ในการเกษตร พบว่าลักษณะสมบัติทางเคมีของกากตะกอนทั้ง 3 ชนิดที่วิเคราะห์ได้ ยังมีสมบัติบางประการ เช่น ปริมาณโพแทสเซียมต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ และปริมาณทองแดงและนิกเกิล สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชน น่าจะใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้ หากสามารถควบคุมปริมาณปุ๋ยหมักที่ใช้ หรือแก้ปัญหาเรื่องความเข้มข้นของโครเมียมและทองแดงที่สูงได้ โดยอาจใช้วิธีการตรึงด้วยสารเคมี เพื่อลดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งควรจะทำการศึกษาต่อไป

2.1.2.2 การใช้วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตครั่งเม็ดเพื่อปรับปรุงดิน

ปัจจุบันประเทศไทยมีการเลี้ยงครั่งมากทางภาคเหนือตอนบน และในภาคเหนือตอนล่างของประเทศ การเลี้ยงครั่งเป็นอาชีพเสริมของเกษตรกรที่จะเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรในชนบทไม่น้อย เหมาะที่จะเป็นอาชีพเสริมเพราะใช้เวลาในการปฏิบัติงานไม่มากนัก ในปีหนึ่งๆ ปัจจุบันการซื้อขายครั่งได้กระทำกันอย่างกว้างขวาง มีโรงงานอุตสาหกรรมรมครั่งในประเทศไทยประมาณ 20 โรง ส่วนใหญ่โรงงานเหล่านี้จะผลิตครั่งเม็ดเพื่อส่งออกตลาดต่างประเทศ ตลาดในประเทศจะมีหน้าที่จัดหาและรวบรวมครั่งแล้วนำส่งโรงงานเพื่อแปรสภาพต่อไป (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2535)

ผลผลิตครั่งที่มีการส่งออกเป็นครั่งดิบ โดยการแปรรูปเป็นครั่งเม็ดและแชลเลค ไปประเทศต่าง ๆในปี 2552-2553 อาทิเช่น สหราชอาณาจักรอาหรับอมิเลต ออสเตรเลีย แคนาดา สวิสเซอร์แลนด์ จีน เยอรมัน เดนมาร์ก กรีก สเปน เอธิโอเปีย ฝรั่งเศส ฮ่องกง ฮังการี อินโดนีเซีย อิสราเอล อินเดีย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อิตาลี จาไมก้า ญี่ปุ่น เกาหลี ลาว พม่า ศรีลังกา มาเลเซีย ไนจีเรีย เนเธอร์แลนด์ ฟิลิปปินส์ ปากีสถาน ซาอุดิอาราเบีย สิงค์โปร์ ไต้หวัน เวียดนาม เยเมน และอัฟริกาใต้ รวมเป็นเงิน 899,209,547 บาท โดยส่งออกประเทศอินเดีย 107 ล้านบาท และประเทศญี่ปุ่น 104 ล้านบาท เป็นจำนวนมากสุดตามลำดับ โดยมีปริมาณครั่งดิบ (stich lac) จำนวน 370,440 ตัน ครั่งเม็ด (seed lac) จำนวน 5,181,210 ตัน ครั่งแผ่น (button lac) จำนวน 382,300 ตัน (อรศา, ไม่ระบุปีที่พิมพ์) ครั่งเม็ด (seed lac) เป็นครั่งดิบที่นำมาแยกสิ่งเจือปนออก โดยการตำหรือบดครั่งดิบให้แตกออกเป็นก้อนหยาบ ๆ หลังจากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรง และนำเอาครั่งที่ได้ไปล้างน้ำ จะได้ครั่งสีแดง ซึ่งจะนำไปย้อมผ้าได้ การล้างครั่งจะล้างจนกระทั่งน้ำใส จึงนำเอาครั่งที่ได้ ออกตากในที่ร่มที่มีลมผ่านตลอดเวลา จะได้ครั่งที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 8-13 ก็สามารถจำหน่ายได้ ครั่งดิบ 100 กิโลกรัมจะผลิตครั่งเม็ดได้ 80 กิโลกรัม (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯเล่ม 7, ไม่ระบุปีที่พิมพ์) จากกระบวนการผลิตดังกล่าวทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมากซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัสดุอินทรีย์ วัสดุเหล่านี้มีปริมาณธาตุอาหาร สมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกัน หลายชนิดมีปริมาณมาก และคุณลักษณะเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงดินได้โดยตรง แต่บางชนิดต้องปรับสภาพบางประการให้เหมาะสมเสียก่อน จึงจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (ธงชัย, 2550)

2.1.2.3 ข้อจำกัดของวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

การนำวัสดุอินทรีย์มาใช้เพื่อปรับปรุงดินต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากวัสดุอินทรีย์บางชนิดอาจมีปัญหาซึ่งเป็นข้อจำกัดต่างๆ การใช้ปรับปรุงดินจึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ โดยเฉพาะเศษเหลือทิ้งที่ยังสดอยู่ ต้องมีความระมัดระวังมาก เพราะอาจเป็นอันตรายต่อพืชได้ กล่าวโดยรวมแล้วข้อจำกัดต่างๆ ของวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งอาจมีปัญหาบางประการดังนี้ (ธงชัย, 2550)

1) กลิ่น วัสดุอินทรีย์บางชนิดมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ กล่าวคือมีกลิ่นเหม็น ฉุน จากการบูดเน่าเสีย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) บางชนิดอาจมีสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่กว้างมาก บางชนิดอาจผ่านการย่อยสลายน้อยมาก เมื่อใส่ลงในดินปริมาณมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใส่ลงดินในบริเวณที่ใกล้รากพืชมาก อาจเกิดกระบวนการอิมโมบิไลเซชัน (immobilization) ของธาตุอาหาร บางกรณีอาจทำให้พืชไหม้ แห้งตาย เนื่องจากการย่อยสลายในบริเวณใกล้เขตรากพืชมาก เกิดความร้อนซึ่งเป็นอันตรายต่อพืชที่เจริญเติบโตอยู่

3) อาจมีการปะปนของเชื้อสาเหตุโรคพืชติดมาได้ ในกรณีที่เป็นวัสดุอินทรีย์ค่อนข้างสด เช่น เศษพืช อาจจะมีเชื้อสาเหตุของโรคพืชอาศัยอยู่ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อไปได้

4) มีค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) ไม่เหมาะสม เช่น เป็นกรด หรือด่างมากเกินไป ต้องใช้ให้ถูกต้องตามสภาพของดินหรืออาจต้องปรับค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) ของวัสดุ จึงจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างปลอดภัย

5) วัสดุเหลือใช้บางชนิดย่อยสลายได้ช้ามาก เช่น ขี้เลื่อย แกลบ แต่ถ้าพิจารณาไปอีกทางหนึ่งจะพบว่ากลับเป็นสิ่งที่ดี เพราะการย่อยสลายได้ยาก จะทำให้เกิดความคงทนอยู่ในดินนาน อีกทั้งเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อย เป็นผลดีต่อการรักษาสภาพแวดล้อมของโลกๆได้อีกทางหนึ่งด้วย

6) อยู่ในสถานะที่แตกต่างกันมาก มีทั้งที่เป็นของเหลว ของแข็ง หรือแม้แต่เปียกแฉะ และแห้ง การเลือกใช้จึงควรพิจารณาให้เหมาะสม นอกจากนี้แล้วยังมีข้อจำกัดอื่นๆอีก อาทิ ส่วนใหญ่มีปริมาณธาตุอาหารพืชในปริมาณที่ต่ำ แต่ถ้าเป็นของเหลือทิ้งจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ เช่น ฮิวมัส และกากตะกอนต่างๆ จะมีปริมาณธาตุอาหารชนิดต่างๆ ค่อนข้างสูง แต่ต้องซื้อในราคาที่แพง

2.1.2.4 การจัดการวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม จัดเป็นวัสดุอินทรีย์กลุ่มที่มีความหลากหลายมาก เพื่อความปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิต และให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดจึงควรมีการจัดการอย่างเหมาะสม หลักหารใช้วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งอย่างปลอดภัยควรดำเนินการดังนี้ (ธงชัย, 25450)

1) ควรปล่อยทิ้งไว้หรือหมักไว้ระยะหนึ่งเพื่อให้อินทรียวัตถุสลายตัว จนกระทั่งสัดส่วนของ C/N ต่ำลงประมาณ 20 ถึง 25 ก็สามารถนำไปใช้ได้อย่างปลอดภัย

2) ถ้าวัสดุเหลือทิ้งเป็นของเหลว ควรเจือจางให้พอเหมาะเสียก่อน และจึงนำไปฉีดพ่น หรือละลายไปกับน้ำชลประทาน ถ้าเข้มข้นเกินไปอาจทำให้ใบพืชไหม้แห้งตายได้

3) ถ้าวัสดุนั้นเปียกแฉะ ควรผึ่งให้แห้งพอประมาณเสียก่อน หรืออาจใช้วัสดุอินทรีย์อื่นๆ เช่น กากอ้อย ขี้เลื่อย เป็นต้น เข้าไปผสมให้อยู่ในสภาพที่พอเหมาะ และจึงนำไปใช้ หรืออาจหมักต่อไปอีก

4) หากค่าความเป็นกรดด่าง ของวัสดุอินทรีย์ไม่เหมาะสม เช่น เป็นกรดมาก ควรใช้หินปูน หรือหินโดโลไมต์ หรือหินฟอสเฟสบดปรับค่าความเป็นกรดเสียก่อน หรือถ้ามีความเป็นกรดแต่ไม่มากนัก และถ้าต้องการใช้กับดินที่เป็นด่างเพื่อปัญหาดินด่างได้ แต่ต้องผสมคลุกเคล้าให้เข้ากับดินเป็นอย่างดี ในกรณีที่วัสดุอินทรีย์เป็นด่าง ควรลดระดับความเป็นด่างลงมาระดับหนึ่งด้วยอินทรียวัตถุที่เป็นกรด หรือแม้แต่การใส่กำมะถันผงเข้าไปผสม ถ้าต้องการใช้ทันทีโดยไม่ต้องปรับความเป็นด่าง

ก็ควรใช้กับดินที่เป็นกรดโดยคลุกเคล้าให้ดี ก็สามารถลดความเป็นกรดของดินได้ในระดับหนึ่ง

5) ในกรณีที่กองวัสดุอินทรีย์มีกลิ่นเหม็น ก็ควรกองเป็นปุ๋ยหมักในระบบที่มีอากาศถ่ายเทดี คือ การกองบนพื้น และมีการกลับกองอยู่อย่างสม่ำเสมอ ใส่กากน้ำตาล (molass) และเชื้อจุลินทรีย์เร่งการสลายตัวก็จะเร่งการย่อยสลายให้เร็วขึ้นได้ จะลดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ลงได้

2.1.3 ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

ตะกอนน้ำเสีย (sewage sludge) สลัดจ์ (sludge) ในภาษาอังกฤษเป็นคำรวมที่หมายถึง สารที่เป็นผลพลอยได้ หรือวัสดุเหลือใช้จากการผลิตภัณฑ์หลัก โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เช่นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ (paper mill sludge) ตะกอนในรูปของแข็งที่แยกออกจากน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ หรือสารที่ได้จากกากตะกอนน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสีย (sewer) ในเขตชุมชนหรือเขตเทศบาลเมือง (municipal sewage sludge) ที่เป็นของผสมในรูปของแข็งที่มีลักษณะเปียกเหมือนดินผสมน้ำที่ได้จากการกรองก่อนทำให้แห้ง (ชัยวัฒน์, 2524) หรือจากคำจำกัดความในหนังสือ “ศัพท์ในวงการปุ๋ย” ตะกอนน้ำเสีย (sewage sludge) หมายถึง ของแข็งที่แยกออกมาจากน้ำเสียโดยการกรอง หลังจากกำจัดน้ำเสียโดยการทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเอง การทำปฏิกิริยาทางเคมีให้ตกตะกอนหรือจากการย่อยของจุลินทรีย์ (ยงยุทธ, 2542)

กากหรือตะกอนในรูปสลัดจ์ (sludges) ที่ได้จากน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสีย (sewer) หรือที่เรียกว่า ซิวเอจสลัดจ์ (sewage sludges) อาจเป็นสลัดจ์ที่ได้จากแหล่งต่าง ๆ ไม่ว่าจะอยู่ในรูปเดิมที่ยังไม่มีการบำบัดหรือในรูปที่มีการนำมาบำบัดแล้วก่อนการขจัดทำลายหรือนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นต่อไป (ปิยะ, 2553) อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ

1) ตะกอนน้ำเสียในรูปสลัดจ์ดิบหรือสลัดจ์สด น้ำเสียในรูปนี้ คือ น้ำเสียและกากตะกอนที่ถูกดูดหรือไหลออกมาจากท่อระบายน้ำเสียที่ยังไม่มีการบำบัดหรือปรุงแต่ง ซึ่งองค์ประกอบต่าง ๆ จะประกอบด้วยสารแขวนลอยในรูปของแข็งทั้งในรูปสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์และของเหลวในรูปน้ำเสียที่มีสารต่าง ๆละลายเจือปน

2) ตะกอนน้ำเสียในรูปแอ็คติเวทเต็ดสลัดจ์ คือ กากตะกอนที่ผ่านกรรมวิธีบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอน โดยในขั้นตอนแรกเป็นการตกตะกอนเพื่อแยกเศษวัสดุที่มีขนาดใหญ่ออกก่อน และในขั้นตอนที่สองเป็นการตกตะกอนโดยใช้จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนไปย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยมีการเติมปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยฟอสเฟต อากาศ และ แบคทีเรียเพิ่มเติมพร้อมกับการกวน จึงทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโตและขยายตัวเป็นจำนวนมากขึ้นแล้วจับตัวเป็นก้อนสีน้ำตาลเข้ม

เรียกว่า แอ๊คติเวทเต็ดสลัดจ์

3) ตะกอนน้ำเสียหมัก คือ ตะกอนน้ำเสียในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในโรงงานบำบัดน้ำเสียโดยวิธีเลี้ยงตะกอนเป็นกากตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แล้ว ซึ่งในที่สุด ตัวกากตะกอนเองจะประกอบไปด้วยเซลล์ของจุลินทรีย์ทั้งที่ตายแล้วและบางส่วนยังมีชีวิตอยู่

2.1.3.1 การใช้ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อปรับปรุงดิน

อุตสาหกรรมเกือบทุกชนิดต้องใช้น้ำในการซักล้าง และกระบวนการผลิต น้ำดังกล่าวเป็นของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทมีค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) อยู่ในช่วงกรดหรือด่างจึงอาจถูกจัดเป็นของเสียอันตรายได้ อย่างไรก็ตามตะกอนน้ำเสีย (sewage sludge) เหล่านี้มักมีธาตุอาหารต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะไนโตรเจน และฟอสฟอรัสปะปนอยู่ในปริมาณที่มากพอ ที่จะสามารถจะนำมาใช้เป็นปุ๋ยหรือผสมกับดินสำหรับปลูกพืชได้ เช่น กากตะกอนจากโรงกรองน้ำประปา ส่าเหล้าจากโรงงานผลิตสุรา โรงงานน้ำอัดลม เป็นต้น นอกจากนี้ตะกอนน้ำเสียยังสามารถนำมาใช้กับการจัดการดินมีปัญหาพวกดินเนื้อปูนได้ด้วย การศึกษาผลของการใช้กากตะกอนน้ำเสียอัตราต่าง ๆ กับข้าวฟ่างที่ปลูกในดินเนื้อปูน 3 ชนิดคือ Clareville, Orelia และ Pernitas พบว่าสามารถลดอาการใบเหลืองเนื่องจากขาดเหล็ก และทำให้น้ำหนักข้าวฟ่างที่ปลูกในกระถางเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยการใช้กากตะกอนน้ำเสีย 10-15 กรัมต่อกิโลกรัม ของดินที่สามารถทำให้ข้าวฟ่างให้ผลผลิตสูงสุดได้ (Mostaghimi *et al.,* 1988)

วิธีการใช้ตะกอนน้ำเสียหมักสำหรับการปลูกพืช มีการศึกษากันมากพอสมควร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การใช้ในไร่นากับพืชต่าง ๆ ดังตัวอย่างของ Hornick *et al.* (1984) ที่แนะนำให้ใช้ตะกอนน้ำเสียหมักที่มีไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ร้อยละ 1.5 และ 1.5 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีความชื้นร้อยละ 40 โดยใช้เกณฑ์ในการพิจารณาจากคำแนะนำการให้ปุ๋ยไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ที่พืชแต่ละชนิดควรจะได้รับ แต่อย่างไรก็ตาม กากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด เช่น โรงงานแปรรูปไม้ยางพารา โรงฟอกหนัง โรงงานถลุงโลหะ โรงงานแบตเตอรี่ เป็นต้น อาจมีปริมาณของโลหะหนักเป็นองค์ประกอบอยู่สูง และจากผลการศึกษาโลหะหนักตกค้างในชุดดินรังสิต ของปรีดาและคณะ (2547) พบว่าการใส่กากตะกอนน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร ในอัตราเดียวกับปุ๋ยอินทรีย์ที่แนะนำให้ใช้ (600-800 กิโลกรัมต่อไร่) เพื่อทดแทนปุ๋ยไนโตรเจน ทำให้มีสังกะสี ทองแดง และ นิกเกิล สูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3.2 ข้อเสียหรือข้อควรระวังในการใช้ตะกอนน้ำเสียในทางการเกษตร

ตะกอนน้ำเสีย (sewage sludge) ที่ได้จากท่อระบายน้ำเสีย (sewer) ที่ผ่านการบำบัดแล้ว (activated sludge) แม้จะมีปริมาณธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่ง N และ P ในปริมาณมาก และมีปริมาณอินทรียวัตถุสูง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงและบำรุงดิน แต่ก็มีข้อจำกัดและข้อควรระวังจากผลเสียที่อาจจะเกิดขึ้นจากองค์ประกอบและสมบัติ ที่ไม่เหมาะสมบางประการ และการใช้อย่างไม่ถูกต้องต่อมนุษย์ในชุมชนและสภาพแวดล้อมในพื้นที่ได้ (ปิยะ, 2553) ดังนี้

1) ปริมาณไนโตรเจน แม้ว่าไนโตรเจนจะเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับพืช แต่การใช้กากตะกากตะกอนน้ำเสียในปริมาณมากเกินไป อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของไนโตรเจน โดยเฉพาะไนโตรเจนในรูปไนเตรท (NO^-_3) ในน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดิน ดังนั้นการใช้กากตะกอน น้ำเสียโดยทั่วไปมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 3 และมีไนโตรเจนบางส่วนปะปนอยู่ในรูปไนเตรทไนโตรเจน (NO^-_3) ควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสมกับสมบัติดิน และ ชนิดพืชที่ปลูก ไม่ควรใช้มากเกินความจำเป็นหรือมากเกินความต้องการของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีที่มีไนโตรเจนต้องระมัดระวังปริมาณการใช้เป็นพิเศษ

2) ปริมาณโลหะหนัก องค์ประกอบส่วนหนึ่งของกากตะกอนน้ำเสียคือ ธาตุโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ทั้งที่จำเป็นต่อการเติบโตของพืช เช่น ทองแดง สังกะสี ฯลฯ และไม่จำเป็นต่อการเติบโตของพืช ที่ถ้ามีมากเกินไปอาจเกิดพิษภัยต่อสัตว์และมนุษย์ได้ เช่น ธาตุตะกั่ว แคดเมียม ปรอท นิคเกิ้ล และอื่นๆ ดังนั้นการใช้กากตะกอนน้ำเสียในรูปของแข็ง จึงควรคำนึงถึงหลักการในการใช้ ดังนี้ คือ 1) ปริมาณการใช้ต่อพืชที่ 2) องค์ประกอบของธาตุโลหะหนักชนิดต่างๆ ในกากตะกอนน้ำเสีย และ 3) ชนิดพืชหรือดินที่ใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้ากากตะกอนน้ำเสียชนิดที่ใช้มีปริมาณโลหะหนักที่เป็นพิษต่อพืช สัตว์ และ มนุษย์ในปริมาณมาก ไม่ควรนำมาใช้กับดินที่ปลูกพืชอาหาร (food chain crops) หรือถ้าจะใช้ก็ควรใช้ในปริมาณที่ต่ำเท่าที่จำเป็น

3) จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ข้อเสียอีกประการหนึ่งของกากตะกอนน้ำเสียที่แม้ว่าจะผ่านการบำบัดแล้วก็ตาม กากตะกอนก็ยังคงมีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคหลายชนิด โดยการสัมผัสกับกากตะกอนน้ำเสียโดยตรง หรือจากการสัมผัสกับน้ำที่มีกากตะกอนปะปนอยู่ นอกจากนั้นเชื้อจุลินทรีย์ในกากตะกอนน้ำเสียอาจแพร่กระจายไปในอากาศได้ ถ้ามีการฉีดพ่นกากตะกอนน้ำเสียในรูปของเหลวบนที่ดิน ดังนั้น ถึงแม้ว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียจะทำให้เชื้อจุลินทรีย์ต่างๆถูกทำลายไปแล้วบางส่วนก็ตาม แต่ถ้าจะใช้กับพืชโดยเฉพาะ กากตะกอนน้ำเสียในรูปของแข็งที่ผ่านการบำบัดแล้วควรทำลายเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ให้ได้มากกว่าร้อยละ 90 (Hornick *et al.,* 1984)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4) สารประกอบเคมีในรูปอินทรีย์สังเคราะห์ สารอินทรีย์สังเคราะห์ที่มีปนเปื้อนอยู่ในตะกอนน้ำเสียที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์และพืชได้แก่ สารตัวทำละลายต่างๆ (solvents) สารเคมีควบคุมศัตรูพืช พลาสติก และสารพอลิคลอริเนตเต็ดไบเฟนิลส์ (polychlorinated biphenyls หรือ PCBs) หากมีการนำกากตะกอนน้ำเสียที่แม้ว่าจะผ่านการบำบัดแล้วก็ตามไปใส่ในไร่นาหรือที่ดินอาจเกิดผลเสียต่อมนุษย์โดยทางอ้อม เช่น ถ้ามีการใช้กับทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ สารพิษบางชนิดอาจปนเปื้อนอยู่ในเนื้อสัตว์ที่กินหญ้าในทุ่งหญ้าดังกล่าวมากเกินไป จนถึงระดับที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้

5) กลิ่น กากตะกอนน้ำเสียในรูปของเหลวที่ยังไม่ผ่านการบำบัด เป็นวัสดุของเสียที่มีกลิ่นเหม็นมาก ดังนั้น ก่อนนำไปใช้ในรูปของเหลวหรือถ้าจะใช้โดยไม่ผ่านการบำบัดมาก่อนควรปฏิบัติ ดังนี้คือ 1) กันพื้นที่กันชน (buffer zone) เพื่อให้พื้นที่ ๆ จะใส่อยู่ห่างจากชุมชนออกไปมากพอที่จะทำให้กลิ่นเหม็นแพร่จางไปไม่รบกวนประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ชุมชน 2) ใส่โดยการฉีดสารแขวนลอยลงใต้ผิวดิน (sub-soil injection) และ 3) โดยการไถพรวนกลบลงไปในดินล่างหลังการใช้โดยการฉีดพ่นแบบกระจายลงบนผิวหน้าดิน

2.1.3.3 การหมักตะกอนน้ำเสียเพื่อใช้ประโยชน์ในการปลูกพืช

วิธีการหมักตะกอนน้ำเสียอาจทำได้หลายวิธี เช่น การนำเอาตะกอนน้ำเสียในรูปแอ็คติเวจเต็ดสลัดจ์มาหมักในสภาพที่มีอากาศโดยวิธีการที่เหมาะสม จนได้ตะกอนน้ำเสียหมักที่มีคุณภาพเหมาะสมยิ่งขึ้นที่จะนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงดินหรือปุ๋ยสำหรับการปลูกพืช วิธีการหมักตะกอนน้ำเสียอาจทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการหมักโดยวิธี “Beltsville Aerated Pile Method” (BAPM) ที่นิยมใช้กันมากในประเทศสหรัฐอเมริกา (Willson *et al.,* 1980) ที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยส่วนผสมที่หมักจุลินทรีย์จะเป็นประโยชน์ จากอินทรีย์คาร์บอนในส่วนผสมพร้อมกับปลดปล่อยความร้อนออกมา ทำให้กองวัสดุผสมที่หมักมีความร้อนสูงขึ้นถึงระหว่าง 55-75 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงพอที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคกับมนุษย์ได้ทุกชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าวิธีการหมักแบบกลับกองแบบหลายครั้ง จะทำให้เกิดผลดียิ่งขึ้น กล่าวคือ วัสดุที่หมักจะมีลักษณะคล้ายสารฮิวมัส และหลังจากการไนโตรเจนในตะกอนน้ำเสียในรูปไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^--N) ส่วนใหญ่จะเปลี่ยนไปเป็นไนโตรเจนในรูปที่ปลดปล่อยช้า เช่น ในรูปที่อยู่ในเนื้อเยื่อของจุลินทรีย์ในวัสดุหมักทำให้เมื่อนำตะกอนน้ำเสียหมักไปใส่ลงดินแม้ว่าจะใช้ในปริมาณมากก็จะเกิดภาวะปนเปื้อนของ NO_3^--N กับน้ำใต้ดินไม่มากนักหรือเกิดขึ้นน้อยลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 การแปรสภาพของไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ (Microbial Transformations of Nitrogen)

การแปรสภาพของไนโตรเจน จากอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน (N mineralization) ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนรูปอินทรีย์ไนโตรเจนจากรูปอินทรีย์ให้เป็นรูปอนินทรีย์ ได้แก่ NH_4^+ และจาก NH_4^+ เป็น NO_3^- ตามลำดับ ส่วนกระบวนการ immobilization หมายถึง การเปลี่ยนรูปสารประกอบอนินทรีย์ ไนโตรเจน คือ NH_4^+, NH_3, NO_3^- และ NO_2^- ให้เป็นรูปอินทรีย์ จุลินทรีย์ใช้สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน และ การเปลี่ยนสารประกอบเหล่านี้ให้เป็นอินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลล์และเนื้อเยื่อของชีวมวลจุลินทรีย์ในดิน กระบวนการ mineralization และ immobilization จะเกิดควบคู่กันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม (ปัทมา, 2547)

2.2.1 การแปรสภาพจากอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน (mineralization)

การแปรสภาพของไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่เป็นกระบวนการทางชีวเคมีโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ กระบวนการนี้เป็นกระบวนการแปรรูปจากสารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน เรียกว่า กระบวนการ mineralization อนินทรีย์ไนโตรเจนที่ได้จะอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ กระบวนการ mineralization ประกอบด้วย 3 กระบวนการย่อย ดังนี้

1) กระบวนการอะมิไนเซชัน (aminization)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียมไนโตรเจนไอออนหรือก๊าซแอมโมเนีย เกิดจากปฏิกิริยาของโปรตีนเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโนและเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียม ไนโตรเจนเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์และจะย่อยสลายส่วนประกอบที่เป็นโปรตีน (Bitton, 1994; Paul and Clark, 1996) ให้เปลี่ยนสภาพไปเป็นสารประกอบไนโตรเจน ออกมาในรูปของ amines, amino acid และ urea ดังสมการ (อรวรรณ, 2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\text{(โปรตีน) Protein} \longrightarrow \underset{\text{Amino acid}}{R\text{-}\overset{\overset{NH_2}{|}}{\underset{\underset{H}{|}}{C}}\text{-}COOH} + \underset{\text{Amine}}{R\text{-}NH_2} + \underset{\text{Urea}}{\overset{\overset{NH_2}{|}}{\underset{\underset{NH_2}{|}}{C}}=O} + CO_2 + \text{พลังงาน}$$

จุลินทรีย์ย่อยสลาย

2) กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification)

เป็นกระบวนการเกิดแอมโมเนีย โดยที่หลังจากกระบวนการ amnization ซึ่ง amines และ amino acids ที่ถูกปลดปล่อยมากจากกระบวนการ amnization จะถูกจุลินทย์อีกกลุ่มหนึ่งย่อยสลายต่อ ซึ่งปฏิกิริยาสุดท้ายของกระบวนการนี้คือการ hydrolysis ของ amino group ซึ่งจะปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาในรูปของ อนินทรีย์ไนโตรเจน ดังสมการ (อรวรรณ, 2551)

$$R\text{-}NH_2 + H_2O \longrightarrow NH_3 + R\text{-}OH + \text{พลังงาน}$$

$$+ H_2O \quad NH_4^+ + OH$$

สำหรับจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิด ammonification มีทั้งแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซีส ซึ่งมีความแตกต่างกันในด้านชนิดของสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายและอัตราในการย่อยสลาย ดังนั้น ปริมาณของแอมโมเนีย (NH_3) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้ขึ้นกับชนิดของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังผันแปรตามชนิดของสารอินทรีย์ไนโตรเจน ชนิดของดิน และ สภาพแวดล้อม (Alexander, 1967) สำหรับ NH_3 ที่เกิดจากกระบวนการ ammonification นอกจากจะเกิด oxidation และเปลี่ยนรูปเป็น NO_2^- และ NO_3^--N แล้ว บางส่วนจะรับ proton จากน้ำที่เกาะยึดผิว clay และเกิดเป็น NH_4^+ ion สะสมอยู่ในดินหรือมีประโยชน์ต่อพืชชั้นสูงที่อยู่ในระยะแรกของการเจริญเติบโต บางส่วนอาจถูกจุลินทรีย์พวก heterotroph นำไปใช้ในการสร้างเซลล์ และอาจถูกอนุภาคของดินเหนียวดูดซับเพื่อการแลกเปลี่ยนต่อไป (Tisdale and Nelson, 1975) จากรายงานของ Tietlma and Wessel (1992) พบว่า จุลินทรีย์พวก heterotroph มีความสามารถแย่งเอา NH_4^+-N ไปใช้ในการสร้างเซลล์ได้ดีกว่า nitrifier แบคทีเรีย ตราบใดที่มีสารประกอบอินทรีย์อยู่ในดินในปริมาณที่มากเพียงพอ

อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์จะเร็วหรือช้านั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัสดุอินทรีย์และปัจจัยสิ่งแวดล้อม (Syers and Craswell, 1995) สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนจะถูกย่อยสลายก่อน ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นส่วนใบหรือยอดอ่อน ตามด้วยส่วนที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อย สำหรับสารอินทรีย์ซึ่งมีโครงสร้างซับซ้อนมาก เช่น ลิกนินและแทนนิน จะทนต่อการย่อยสลายมาก สำหรับปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมในดินนั้น ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับกิจกรรมจุลินทรีย์ดินโดยมีผลส่งเสริมหรือยับยั้งการย่อยสลาย (Brady and Well, 2002; Paul and Clark, 1996) จากรายงานของ Paul, (1994) อ้างโดย Mengel, (1996) พบว่า การไถกลบเศษเหลือของถั่วลันเตาในอัตราที่ให้ไนโตรเจน 122-126 kg-N.tons ลงไปในดินแล้วปลูกข้าวสาลี ส่งผลให้ไนโตรเจนที่ปลดปล่อยจากถั่วลันเตามีประมาณ 35-45%ของไนโตรเจนทั้งหมด จากการศึกษาของ Muriuki *et al*. (2001) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในดินที่ใส่ปุ๋ย KNO_3 และถั่ว clover บ่มดินที่อุณหภูมิห้อง (22-24ºC) ภายใต้สภาพที่มีออกซิเจน เป็นเวลา 26 สัปดาห์ พบว่าปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจนในดินที่ใส่ปุ๋ยเคมีมากกว่าดินที่ใส่ปุ๋ยพืชสด แต่อัตราการสะสมของอนินทรีย์ไนโตรเจนและความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของสารอินทรีย์ และชีวมวลจุลินทรีย์ไนโตรเจนในดินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตลอดช่วงเวลาของการบ่มดิน

3) กระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification)

เป็นกระบวนการเกิดไนไตรต์ (nitrite) และไนเตรต (nitrate) ซึ่งเป็นชุดของกระบวนการออกซิเดชันที่เริ่มจาก NH_4^+ และผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็น NO_3^- โดยจุลินทรีย์เข้าทำปฏิกิริยามีเอ็นไซม์เป็นตัวเร่งจุลินทรีย์พวกนี้ เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่เรียกว่า แบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟอิง (nitrifying bacteria) คือในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอเนตหรือไบคาร์บอเนต พลังงานจากการออกซิไดส์สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน มีความต้องการออกซิเจนในการเข้าทำปฏิกิริยา (มุกดา, 2544) กระบวนการนี้ประกอบด้วยปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน ได้แก่

ก. ปฏิกิริยาไนโตรซิฟิเคชัน (Nitrosification) หรือแอมโมเนียมออกซิเดชัน (Ammonium oxidation)

คือปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียหรือแอมโมเนียมไปเป็นไนไตรต์ (Paul and Clark, 1996) โดยแบคทีเรียพวก *Nitrosomonas* และ *Nitrosococcus* และได้ H^+ ด้วย จึงมีผลทำให้มีความเป็นกรดเกิดขึ้นได้ ดังสมการ (มุกดา, 2544)

$$2NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow{\text{enzyme}} 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+ + \text{พลังงาน}$$

ข. ปฏิกิริยาไนไตรต์ออกซิเดชัน (Nitrite oxidation)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงไนไตรต์ไปเป็นไนเตรต (Paul and Clark, 1996) โดยแบคทีเรียพวก *Nitrobactor* ดังสมการ (มุกดา, 2544)

$$2NO_2^- + O_2 \xrightarrow[\text{oxidation}]{\text{enzyme}} 2NO_3^- + \text{พลังงาน}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากสมการจะเห็นได้ว่าแบคทีเรียไนทริไฟเออร์ (Nitrifier) เป็นแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนในการหายใจเพราะเอนไซม์ในปฏิกิริยาแอมโมเนียมออกซิเดชันต้องอาศัยก๊าซออกซิเจนในการกระตุ้น (activation) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาได้ (Wood, 1986) ปฏิกิริยาไนโตรซิฟิเคชัน และ ปฏิกิริยาไนไตรต์ออกซิเดชัน จะทำให้ไนโตรเจนไม่สะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไนเตรทที่ได้จากกระบวนการไนตริฟิเคชันจะอยู่ในสารละลายดิน ถูกพืชและจุลินทรีย์นำไปใช้ ส่วนที่เหลือก็จะสูญเสียไปโดยการชะล้างโดยการซึมผ่านชั้นดินลงสู่ดินชั้นล่าง และสูญเสียไปในรูปแก๊สในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) โดยจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนในสภาพการถ่ายเทอากาศไม่ดี (มุกดา, 2544) จากการศึกษาของ Schjonning *et al.* (2003) พบว่าค่าการแพร่ของก๊าซสัมพันธ์ (relative gas diffusivity) หรือสัมประสิทธิ์การแพร่ของออกซิเจนในดินต่อหน่วยสัมประสิทธิ์การแพร่ของแก๊สออกซิเจนในอากาศ เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของ NO_3^- ที่ดีกว่าปริมาณอากาศในดิน และจากการศึกษาของ Aulakh *et al.* (1991) ที่ศึกษาอิทธิพลของความชื้น 2 ระดับ คือที่ 60 และ 90% ซึ่งมีข้อจำกัดของปริมาณก๊าซออกซิเจน ที่ส่งผลต่อการเกิด NH_4^+ และ NO_3^- พบว่า ที่ 60% อนินทรีย์ไนโตรเจนส่วนใหญ่อยู่ในรูป NO_3^- ในขณะที่ระดับความชื้น 90% พบเพียง NH_4^+ และอนินทรีย์ไนโตรเจนของกรรมวิธีนี้ยังต่ำกว่าที่ความชื้น 60% อีกทั้งพบปริมาณ NO_3^- ต่ำกว่า คาดว่า NO_3^- เกิดการสูญหายโดยกระบวนการ denitrification

2.3 บทบาทของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์

กิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในดินส่งผลกระทบอย่างมากมายต่อคุณสมบัติดิน และระบบนิเวศของดิน มีการหมุนเวียนเป็นวัฏจักรของแร่ธาตุต่างๆ กิจกรรมจุลินทรีย์ดินมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุด โดยอาจแบ่งได้เพียง 2 พวก คือ heterotroph และ autotroph โดยพวก heterotroph เป็นกลุ่มที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดในดินและมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินหรือกิจกรรมอื่นๆ ส่วนพวก autotroph เป็นพวกที่ใช้ CO_2 เป็นแหล่งอาหารคาร์บอนเพื่อสังเคราะห์สารอินทรีย์มาสร้างองค์ประกอบเซลล์ จึงเป็นพวกที่มีบทบาทเกี่ยวข้องกับการเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดินและการออกซิเดชันของสารอนินทรีย์มากกว่า (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีศาสตร์, 2548) ดังนั้นการเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นการใช้องค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์เป็นสารอาหารและก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปของคาร์บอนและไนโตรเจน หรืออนุรักษ์ธาตุอาหารให้อยู่ในระบบดิน โดยการเกิดชีวมวลจุลินทรีย์ระหว่างที่สารอินทรีย์ย่อยสลาย และเนื่องจากอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักของชีวมวลจุลินทรีย์ จึงนิยมศึกษาบทบาทของสิ่งมีชีวิตในการย่อยสลายสารอินทรีย์จากตัววัด (parameters) ต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.1 กิจกรรมของจุลินทรีย์ (microbial activity)

กิจกรรมจุลินทรีย์เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเกิดเมตาบอลิซึม (metabolism) ของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงานและธาตุอาหารในการสร้างชีวมวลจุลินทรีย์และดำเนินกิจกรรมต่อไป กิจกรรมจุลินทรีย์เป็นการใช้ออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลาย หรือเกิดกระบวนการ oxidation สารประกอบคาร์บอนได้ผลลัพธ์เป็น CO_2 น้ำ และ พลังงาน ดังนั้นกิจกรรมจุลินทรีย์จึงสามารถวัดจากปริมาณออกซิเจนที่ใช้หรือคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น (Anderson, 1982) ดังสมการ

$$\text{Formaldehyde} + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + \text{พลังงาน}$$

โดยทั่วไปอัตราการเกิด CO_2 สูงที่สุด มักเกิดขึ้นหลังจากที่ประชากรจุลินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้นมากที่สุด ในสภาพที่มีการระบายอากาศ การปลดปล่อย CO_2 จะเกิดขึ้นประมาณ 60-80% ของคาร์บอนที่ใส่ ส่วนคาร์บอนที่เหลือยังคงตกค้างอยู่ในรูปสารประกอบและสิ่งที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นมาภายหลัง ซึ่งสารประกอบดังกล่าวเกิดจากกระบวนการ oxidation ที่ไม่สมบูรณ์ (จักรกฤษณ์และนิวัต, 2541 อ้างตามพจนีย์, 2551)

สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกัน มีผลทำให้จุลินทรีย์เกิดกิจกรรมในการย่อยสลายและมีการปลดปล่อย CO_2 ได้ในอัตราและปริมาณที่แตกต่างกัน ดังการศึกษาของ Vanlauwe *et al.* (1996) อ้างตาม พจนีย์ (2551) ศึกษาผลของคุณภาพสารอินทรีย์ต่อกระบวนการปลดปล่อยธาตุคาร์บอนและไนโตรเจนจากใบและรากของพืชวนเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ *Leuceana leucocephala, Dactyladenia (Acioa) barteri* และ *Flemingia macrophylla* ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิ 25ºC เป็นเวลา 56 วัน พบว่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 evolution) ของสารอินทรีย์ทุกชนิดมีลักษณะคล้ายกัน โดยเมื่อเวลานานขึ้นจะมีการปลดปล่อย CO_2 เพิ่มขึ้นแต่มีอัตราการเกิด CO_2 ลดลง โดยอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายยากมีสหสัมพันธ์ทางลบกับ CO_2 ที่เกิดขึ้น กล่าวคือในช่วงแรกการเกิด CO_2 มีสหสัมพันธ์ทางลบกับค่าอัตราส่วนระหว่างโพลีฟีนอลต่อไนโตรเจน และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน ในช่วง 7 และ 28 วันตามลำดับ และตั้งแต่ในช่วงตั้งแต่วันที่ 7 ถึงวันที่ 56 ของการบ่มการเกิด CO_2 มีสหสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณลิกนิน แสดงให้เห็นว่า อัตราการเกิด CO_2 ที่สูงขึ้นในช่วงแรกเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนในส่วนที่ย่อยสลายง่าย และเริ่มมีอัตราการเกิด CO_2 ลดลงเมื่อระยะเวลาการบ่มนานขึ้นเนื่องจากเหลือสารอินทรีย์คาร์บอนในส่วนที่ย่อยสลายยากพวกลิกนินและโพลีฟีนอล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2 ชีวมวลจุลินทรีย์ (microbial biomass)

ชีวมวลจุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการหมุนเวียนธาตุอาหารและกระบวนการ mineralization ของสารอินทรีย์คาร์บอน (Nunan, 1998) ซึ่งถือว่าเป็นอินทรียวัตถุที่มีชีวิตนำพลังงานที่ได้จากอินทรีย์คาร์บอนมาใช้ในการเกิดกิจกรรม ซึ่งสามารถเพิ่มปริมาณมากขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อนำสารอาหารมาสร้างเป็นเนื้อเยื่อจุลินทรีย์ (ปัทมา, 2547) และ ดังนั้นชีวมวลจุลินทรีย์จึงเป็นการวัดปริมาณธาตุอาหารในเนื้อเยื่อจุลินทรีย์ เช่น คาร์บอน, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัสหรือซัลเฟอร์ เป็นต้น แต่เนื่องจากอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักของชีวมวลจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงนิยมวัดปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอนและชีวมวลจุลินทรีย์ไนโตรเจน จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตในดินที่มีวงจรชีวิตสั้น (short turnover time) เมื่อจุลินทรีย์ตายจึงสามารถเพิ่มปริมาณไนโตรเจน โดยที่เนื้อเยื่อจุลินทรีย์ถูกย่อยสลายและมีการปลดปล่อยไนโตรเจนในระบบดินได้ (N remineralization) จึงถือได้ว่าชีวมวลจุลินทรีย์เป็นอินทรียวัตถุที่เปลี่ยนแปลงง่ายและสามารถทำให้เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารภายในดินได้ (พจนีย์, 2551)

2.3.2.1 ชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอน (microbial biomass carbon: MBC)

ชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอน (MBC) เกิดจากกระบวนการชีวสังเคราะห์ ที่เกิดขึ้นควบคู่กับการเกิดกิจกรรมจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่สารอาหาร (substrate) ที่ทำให้ MBC เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายง่าย เช่น น้ำตาล ดังการศึกษาของ Sorrensen et al. (1996) ที่เปรียบเทียบการเกิด MBC จากสารอาหารที่เป็นกลูโคส ใบซับโคเวอร์ (subclover) และใบข้าวสาลีที่ด้วย ^{14}C พบว่า $MB^{14}C$ เพิ่มขึ้นสูงสุดจากสมการตั้งต้นที่เป็นกลูโคส และเมื่อเปรียบเทียบสารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกัน พบว่าใบ subclover มีปริมาณคาร์บอนที่สามารถละลายน้ำได้มากกว่าใบข้าวสาลี และ MBC มีแนวโน้มที่จะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับไนโตรเจนในสารอินทรีย์และอนินทรีย์ไนโตรเจนในดินนา (นิตยา, 2545 อ้างตามพจนีย์, 2551) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดิน ดังนั้นสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนสูงและสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนในดินได้มาก จะส่งผลให้เกิดการสร้าง MBC ได้มาก นอกจากคาร์บอนและไนโตรเจนจะเป็นธาตุอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการมากแล้ว ยังมีธาตุอาหารอื่น ๆ ที่จุลินทรีย์ต้องการในปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสม เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เหล็ก และ ซัลเฟอร์ เป็นต้น (จักรกฤษณ์, 2533 อ้างตามพจนีย์, 2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2.2 ชีวมวลจุลินทรีย์ในโตรเจน (microbial biomass nitrogen: MBN)

ชีวมวลจุลินทรีย์ในโตรเจน (MBN) เกิดจากกระบวนการชีวสังเคราะห์ ซึ่งเป็นการนำเอาอนินทรีย์ในโตรเจนเข้าไปสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนหรือโปรตีนของเซลล์จุลินทรีย์ (Coyne, 1999) ดังนั้นในดินที่มีอินทรีย์ในโตรเจนมาก จุลินทรีย์ก็สามารถเข้าทำการย่อยสลายและเปลี่ยนรูปให้เป็นอนินทรีย์ในโตรเจน และ/หรือเกิดอินทรีย์ในโตรเจนในรูป MBN ได้มากเช่นกัน ซึ่งจากการศึกษาของ นิตยา (2545) อ้างตามพจนีย์ (2551) ที่พบว่า ในดินนาปริมาณ MBN มีแนวโน้มที่จะมีความสัมพันธ์ทางบวกกับไนโตรเจนในสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในโตรเจนที่ปลดปล่อยออกมาย จากการศึกษาของ Vityakon *et al.* (2000) ที่ศึกษา MBN จากการใส่สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกันในอัตรา 10 tons ทั้งในระบบไร่และระบบนา พบว่า หลังจากการใส่สารอินทรีย์เป็นเวลา 2, 4, 8, 16, 26 และ 52 สัปดาห์ ทั้งสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากและสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย สามารถทำให้ MBN ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าเมื่อใส่สารอินทรีย์ที่ผสมกับระหว่างฟางข้าวและซากถั่วลิสงในอัตรา 20 tons ในอัตราสูงขึ้นมีผลทำให้ MBN เพิ่มขึ้น ดังการศึกษาของ Kaewpradit *et al*. (2007) ที่พบว่าเมื่อใส่สารอินทรีย์ผสมกับฟางข้าวและถั่วลิสงในอัตรา 1:0.5 (5 และ 2.5 tons) และอัตรา 1:1 (5 และ 5 tons ตามลำดับ) พบว่า MBN จากกรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์ผสมในอัตรา 1:1 มีปริมาณมากกว่าการใส่สารอินทรีย์ผสมในอัตรา 1:0.5 ตลอดช่วงการศึกษา เช่นเดียวกับการศึกษาของ Aggangan *et al*. (1999) ที่พบว่า เมื่อบ่มใบยูคาร์ลิปตัส (*Eucalyptus globulus* Labill.) ในอัตรา 0, 5, 10, 20 และ 30 Mg tons เป็นเวลา 29 สัปดาห์ ทำให้ MBN เพิ่มปริมาณขึ้นตามอัตราที่ใส่

2.3.2.3 อัตราส่วนระหว่างชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอนต่อชีวมวลจุลินทรีย์ในโตรเจน (MBC/MBN ratio)

อัตราส่วนระหว่างชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอนต่อชีวมวลจุลินทรีย์ในโตรเจน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณไนโตรเจนที่ผ่านกระบวนการชีวสังเคราะห์เข้าสู่เซลล์เมื่อเทียบกับหนึ่งหน่วยของคาร์บอนที่เข้าสู่เซลล์ เนื่องจากผนังเซลล์ของแบคทีเรียและเชื้อรามีคาร์บอนและไนโตรเจนที่แตกต่างกัน โดยแบคทีเรียมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณ 45% และไนโตรเจนประมาณ 6-9% จึงส่งผลให้ MBC/MBN ของแบคทีเรียมีค่า 5-8 ส่วนเชื้อรามี MBC/MBN ที่กว้างกว่า เนื่องจากผนังเซลล์ของเชื้อราส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส และสามารถสร้างชีวมวลจุลินทรีย์ได้แม้ว่ามีไนโตรเจนในดินต่ำ ซึ่งส่วนใหญ่ MBC/MBN ของเชื้อราอยู่ในช่วง 4.5-15 (Coyne, 1999 อ้างตาม พจนีย์, 2551) ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่า MBC/MBN จำแนกชนิดของจุลินทรีย์ระหว่างเชื้อราและแบคทีเรียได้ (Jenkinson and Ladd, 1981) อย่างไรก็ตามการจำแนกประเภทของจุลินทรีย์โดยใช้ ค่าดังกล่าวขึ้นกับวิธีการวิเคราะห์และค่าคงที่ (K_C, K_N) ที่ใช้ ดังการศึกษาของ Jenkinson and Ladd (1981) ใช้ค่า K_N=0.68 ในการจำแนก

ชนิดของจุลินทรีย์ โดยแบคทีเรียมีค่า MBC/MBN ในช่วง 3.5-4.2 (หรือ 1.54-1.85 ในกรณีใช้ค่า K_N=0.30) ส่วนเชื้อรามีค่า MBC/MBN ในช่วง 11.4-12.8 (หรือ 5.03-5.62 ในกรณีใช้ค่า N_K=0.30) ค่า MBC/MBN แสดงถึง แนวโน้มชนิดของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นประชากรเด่นภายในดิน ได้รับอิทธิพลจากนั้นคุณภาพสารอินทรีย์และสภาพแวดล้อม ดังการศึกษาของ Kaewpradit *et al.* (2007) ที่พบความสัมพันธ์ทางบวกระหว่าง MBC/MBN และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio) ของสารอินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถปรับตัวด้วยการเกิดกระบวนการชีวสังเคราะห์ เพื่อสร้างมวลชีวภาพได้ตามสถานะของธาตุอาหารในดิน กล่าวคือในกรณีที่สารอินทรีย์มีปริมาณไนโตรเจนต่ำหรือมีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) กว้าง ค่า MBC/MBN จะมีค่าสูงด้วย กรณีที่สารอินทรีย์มีไนโตรเจนสูง จุลินทรีย์สามารถใช้ไนโตรเจนได้อย่างไม่มีขีดจำกัด ดังนั้น MBC/MBN จึงมีค่าต่ำ นอกจากนี้ Aggangan *et al.* (1999) พบว่าเมื่อใส่ใบยูคาลิปตัสในดินทำให้ MBC/CBN มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากใบยูคาลิปตัสมีปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่ำ ซึ่งค่า MBC/MBN ที่สูงขึ้นชี้ให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์จากแบคทีเรียเป็นเชื้อรา การเปลี่ยนแปลงได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากความสามารถในการใช้องค์ประกอบทางเคมีของจุลินทรีย์แต่ละชนิดแตกต่างกัน จากการศึกษาของ Brant *et al.* (2006) ที่ศึกษาการนำองค์ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ เข้าสู่เซลล์ด้วย C^{13} ในกลูโคส, กรดอะมิโนกลูตามิก และ ฟีนอล ด้วย แล้วบ่มดินเป็นเวลา 14 วัน จากนั้นตรวจหา C^{13} จากเนื้อเยื่อเซลล์ด้วยวิธี phospholipid fatty acid analysis (PLFA) พบว่า แบคทีเรียและเชื้อรา มี C^{13} ในเนื้อเยื่อใกล้เคียงกันในกรณีที่ใส่กลูโคสและ กลูตามิก แต่สำหรับฟีนอล พบว่าเชื้อรามี C^{13} ในเนื้อเยื่อมากกว่าแบคทีเรีย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การศึกษาศักยภาพของการใช้ตะกอนของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตครั่งเม็ดเพื่อนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ โดยการนำตะกอนของเสียจากบริษัท เอทีอี มาสตากิ (ประเทศไทย) จำกัด อำเภอวังพร้าว จังหวัดลำปาง โรงงานจะรับซื้อครั่งดิบจากเกษตรกร ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 ครั่งดิบ (stich lac)

จากนั้นทำการแยกสิ่งเจือปนออก โดยการตำหรือบดครั่งดิบให้แตกออกเป็นก้อนหยาบๆ จากนั้นนำเอาครั่งที่ได้ไปล้างน้ำแล้วร่อนผ่านตะแกรง น้ำที่ใช้ล้างครั่งจะลงมาตามท่อลงสู่บ่อดักตะกอน (ภาพที่ 2) แล้วปั๊มน้ำเข้าสู่เครื่องปั่นเหวี่ยง (centifies) (ภาพที่ 3) ครั่งดิบ 100 กิโลกรัมจะผลิตครั่งเม็ดได้ 80 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับคุณภาพของครั่งดิบในแต่ละฤดูกาล (ภาพที่ 5)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 2 บ่อดักตะกอน

ภาพที่ 3 เครื่องปั่นเวี่ยง (centifies)

ภาพที่ 4 ครั่งเม็ด (seed lac)

ตะกอนของเสียจากกระบวนการล้างครั่งและผ่านการปั่นเหวี่ยงมีลักษณะ เป็นตะกอนครั่งเปียก (fresh lac sediment, FLS) ซึ่งประกอบไปด้วยเศษไม้ ตัวครั่ง และ เลือดของครั่งมีลักษณะเป็นตะกอนสีน้ำตาลแดงเข้มถึงดำ เนื้อนุ่มละเอียด (ภาพที่ 5)

ภาพที่ 5 ตะกอนครั่งเปียก (fresh lac sediment, FLS)

โดยดำเนินการศึกษาศักยภาพของการใช้ตะกอนของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตครั่งเม็ด เพื่อนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ที่คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2556 โดยแบ่งการศึกษาวิจัยออกเป็น 3 การทดลองดังนี้ การทดลองที่หนึ่ง เป็นการศึกษาผลของกรรมวิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่งและผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง การทดลองที่สองเป็นการศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (N mineralization) และปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์ (microbial biomass) ในดิน และ การทดลองที่สาม เป็นการศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้า

3.1 การศึกษากรรมวิธีการผลิตและระยะในการเก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ต่อสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง

นำตะกอนครั่งเปียก (fresh lac sediment, FLS) ซึ่งเป็นวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตครั่งเม็ด ที่ผ่านกระบวนการบำบัดโดยแยกตะกอนออกจากน้ำที่ใช้ในการบวนการล้างและผลิตครั่งเม็ด ตะกอนของเสียครั่งมีลักษณะเป็นตะกอนสีดำเนื้อละเอียด ซึ่งประกอบไปด้วยซากครั่งและเศษไม้ มาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ โดยการอบแห้ง และการหมัก หลังจากนั้นนำปุ๋ยอินทรีย์ครั่งไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง

3.1.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อสมบัติปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง

การศึกษาวิจัยนี้ เป็นศึกษาวิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่งด้วยวิธีการอบแห้ง โดยชั่งตะกอนครั่งเปียก 0.5 kg ใส่ถาดทดลองที่มีขนาดความกว้าง 20 cm ยาว 30 cm แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน จนกระทั่งตะกอนแห้ง (น้ำหนักคงที่) (ภาพที่ 6) แล้วจึงวิเคราะห์หาสมบัติต่างๆ ของตะกอนครั่งแห้ง (ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 6 ตะกอนครั่งที่ผ่านการอบแห้ง

การทดลองถูกวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) จำนวน 3 ซ้ำ และ 6 กรรมวิธีทดลอง ซึ่งได้แก่อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 6 ระดับ คือ 35, 45, 55, 65 และ 75ºC ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทุก 12 ชั่วโมง มาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ดังนี้ pH (1:5), EC (1:5), OM, N, P, K, NH_4^+-N และ NO_3^--N โดยวิธีการของ กรมวิชาการเกษตร (2541), Nelson and Sommers (1996), Novozamsky et *al.* (1974), ศรีสม (2544), Helmke and Sparke (1996), Novozamsky *et al.* (1974) และ Diatloff and Rengl (2001) ตามลำดับ โดยวิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติปุ๋ยอินทรีย์ครั่งได้แสดงในตารางที่ 2

3.1.2 ผลของกรรมวิธีการหมักต่อสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง

การศึกษาวิจัยนี้ เป็นศึกษาวิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่งด้วยวิธีการหมัก โดยทำการชั่งตะกอนครั่งเปียก 10 kg ใส่ลงในถังพลาสติกที่มีขนาดความกว้าง 35 cm ลึก 25 cm จำนวน 4 ถัง ทำการหมักตะกอนครั่งเปียก โดยควบคุมปริมาณความชื้นตลอดระยะเวลาในการหมักประมาณ 30 % maximum water holding capacity : MWHC ทำการสุ่มตัวอย่างจากแต่ละถังหมักทุก 2 สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ มาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ เช่นเดียวกับ หัวข้อ 3.1.1

นำปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ผ่านการอบแห้งในตู้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 ºC มาบดด้วยเครื่องบด แล้วร่อนปุ๋ยผ่านตะแกรงขนาด 2 mm (ภาพที่ 7) และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งเริ่มต้นก่อนการทดลองจากนั้นบรรจุปุ๋ยอินทรีย์ครั่งใส่ถุงพลาสติก จำนวน 4 ถุงๆละ 1 kg แล้วจึงนำเป็นระยะเวลา 6 เดือนมาวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติต่างๆ เช่นเดียวกับ หัวข้อ 3.1.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 7 ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง

ตารางที่ 2 วิธีวิเคราะห์สมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง

สมบัติทางเคมี	วิธีการ	เอกสารอ้างอิง
1. ความเป็นกรดด่าง (pH)	ตะกอนครั่ง:น้ำ (1 : 5) วัดด้วย pH meter	กรมวิชาการเกษตร, 2541
2. ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	ตะกอนครั่ง:น้ำ (1:5) วัดด้วย EC meter	พัชรี, 2549
3. อินทรียวัตถุ (%OM)	Walkley-Black method	Nelson and Sommers, 1996
4. ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N)	colorimety method	Novozamsky et al., 1974
5. ฟอสฟอรัส (Total P)	molybdenum blue	ศรีสม, 2544
6. โพแทสเซียม (Total K)	Atomic absorption spectrophotometer	Helmke and Sparke, 1996
7. แอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N)	colorimety method	Novozamsky et al., 1974
8. ไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^--N)	nitration salicylic acid	Diatloff and Rengl, 2001

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2 การศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อกระบวนการแปรสภาพของธาตุไนโตรเจน (N mineralization) และปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์ (microbial biomass) ในดิน

การศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อ N mineralization และ microbial biomass ในดินได้ดำเนินการศึกษาในสภาพห้องปฏิบัติการโดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินจากศูนย์วิจัย สาธิต และ ฝึกอบรมการเกษตร แม่เหียะ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ทั้งหมด เป็นชุดดินแม่ริม นำมาพึ่งให้แห้งในร่ม บดและร่อนผ่านตระแกรงขนาด 2 mm. แล้ววิเคราะห์

หาสมบัติเบื้องต้น ของดินก่อนการทดลอง

ชั่งตัวอย่างดินที่ผ่านการร่อนด้วยตระแกรงขนาด 2 mm. ตามแต่ละกรรมวิธีการทดลอง ใส่ในขวดทดลอง/บิ๊กเกอร์ขนาด 100 ผสมปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง (เตรียมจาก การอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสความชื้น 10%) ในอัตราที่แตกกันตามแต่ละกรรมวิธีทดลองลงไปในดิน คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วปรับระดับความชื้นดินที่ 60% maximum water holding capacity : MWHC ด้วยน้ำกลั่น ปิดปากขวดด้วยอลูมินัมฟลอยด์ที่ถูกเจาะรูขนาดเล็กๆ ไว้เพื่อการระบายอากาศ แล้วจึงนำตัวอย่างไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยรักษาความชื้นดินไว้ที่ 60% MWHC เป็นระยะเวลา 1 เดือน

การทดลองถูกวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) มี 3 ซ้ำ และ 5 กรรมวิธีทดลอง โดยมีรายละเอียดแต่ละกรรมวิธีทดลองดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ดิน (กรรมวิธีควบคุม ไม่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์)
กรรมวิธีที่ 2 ดินผสมปุ๋ยหมัก (AG-5)* อัตรา 2 ตัน/ไร่
กรรมวิธีที่ 3 ดินผสมกับปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง อัตรา 1 ตัน/ไร่
กรรมวิธีที่ 4 ดินผสมกับปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง อัตรา 2 ตัน/ไร่
กรรมวิธีที่ 5 ดินผสมกับปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง อัตรา 3 ตัน/ไร่

*หมายเหตุ ปุ๋ยหมัก AG-5 เป็นปุ๋ยหมักที่ผลิตโดย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.2.1 การเก็บข้อมูล

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินจากแต่ละกรรมวิธีทดลองทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจน (NH_4^+-N และ NO_3^--N) และชีวมวลจุลินทรีย์ดิน

1) แอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N) และไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^--N): วิเคราะห์ปริมาณ NH_4^+-N ด้วยวิธี colorimety method ตามวิธีการของ Novozamsky et al. (1974) และปริมาณ NO_3^--N ด้วยวิธี nitration salicylic acid ตามวิธีการของ Diatloff and Rengel (2001) โดยคำนวณหาปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรทไนโตรเจน จากสมการ ดังนี้

$$NH_4^+\text{- N (mg/kg)} = \frac{C_{NH4+} \times V}{W}$$

$$NO_3^-\text{- N (mg/kg)} = \frac{C_{NO3-} \times V}{W}$$

เมื่อ C_{NH4+} : ความเข้มข้น NH_4^+-N ในตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับ Std. Curve-N (mg/kg)

C_{NO3-} : ความเข้มข้น NO_3^--N ในตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับ Std. Curve-N (mg/kg)

V : ปริมาณของสารละลายตัวอย่างที่ได้จากการสกัดดิน (ml)

W : น้ำหนักดินแห้ง (g)

2) ชีวมวลจุลินทรีย์ (microbial biomass) การวิเคราะห์หาปริมาณมวลชีวภาพจุลินทรีย์ใช้วิธี chloroform fumigation ตามวิธีการของ Nunan *et al.;* (1998) ซึ่งประกอบด้วยการหาชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอนและชีวมวลจุลินทรีย์ในโตรเจน โดยคำนวณหาปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์ ดังแสดงในสมการดังนี้

$$\text{Biomass C} = \frac{21{,}747 \times (\text{Abs รม} - \text{Abs ไม่รม})}{\text{น้ำหนักดินแห้งของตัวอย่าง } 20 \text{ g}} \ \mu C.g^{-1} \text{ Soil}$$

$$\text{Biomass N} = \frac{3{,}479 \times (\text{Abs รม} - \text{Abs ไม่รม})}{\text{น้ำหนักดินแห้งของตัวอย่าง } 20 \text{ g}} + 40 \ \mu C.g^{-1} \text{ Soil}$$

3.3 การศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้า

การศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้า ดำเนินการทดลองในสภาพโรงเรือนคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระหว่างช่วงเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555 โดยทำการปลูกผักคะน้าในกระถางทดลอง ที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบกับการปลูกผักคะน้าโดยไม่มีการใส่ปุ๋ย หรือใส่ปุ๋ยเคมี ทำการตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของดินก่อนปลูกและปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง รวมทั้งปุ๋ยหมัก (AG-5) ที่ใช้ในการทดลองจากนั้นทำการเพาะเมล็ดผักคะน้าในถาดเพาะเป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วจึงย้ายกล้ามาปลูกลงกระถางทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองถูกวางแผนแบบสุ่มบล๊อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) จำนวน 10 ซ้ำ และ 7 กรรมวิธีทดลอง ดังต่อไปนี้

กรรมวิธีที่ 1 กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 16-16-16 อัตรา 50 ก.ก. /ไร่

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยหมัก (AG-5) อัตรา 3ตัน/ไร่

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง อัตรา 3 ตัน/ไร่

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งผสมปุ๋ยหมัก (AG-5) (อัตราส่วน 1:3) อัตรา 3 ตัน/ไร่

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งผสมปุ๋ยหมัก (AG-5) (อัตราส่วน 1:1) อัตรา 3 ตัน/ไร่

กรรมวิธีที่ 7 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งผสมปุ๋ยหมัก (AG-5) (อัตราส่วน 3:1) อัตรา 3 ตัน/ไร่

3.3.1 การบันทึกข้อมูล

บันทึกผลความสูงผักคะน้าทุก 7 วัน จนกระทั่งถึงระยะเก็บเกี่ยว ที่ระยะเก็บเกี่ยว (ประมาณ 35 วันหลังย้ายกล้าปลูก) ทำการเก็บเกี่ยวผักคะน้า บันทึกน้ำหนักสดผักคะน้า และ หาน้ำหนักแห้งของผักคะน้า โดยนำผักคะน้าไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 ºC กระทั่งตัวอย่างแห้งสนิท เพื่อหาน้ำหนักแห้ง และนำตัวอย่างในส่วนเหนือดินของผักคะน้าไปบด โดยใช้เครื่องบดตัวอย่างพืชร่อนผ่านตะแกรงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณ N, P และ K โดยใช้วิธีการของ Novozamsky *et al.,* (1974), ศรีสม (2544) และ Helkme and Sparke (1996) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3 วิธีวิเคราะห์พืช

วิเคราะห์	วิธีการ	เอกสารอ้างอิง
1. Total N*	ดูดสารละลายตัวอย่างพืชที่ได้จากการย่อย ลงในหลอดทดลอง จำนวน 0.2 ml เติมสารละลาย Solution I จำนวน 3 ml และ Solution II จำนวน 5 ml ตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง แล้วนำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 *n*m	Novozamsky *et al*., 1974
2. Total P*	ดูดสารละลายตัวอย่างพืชที่ได้จากการย่อย 5 ml ลงใน volumetric flask 25 ml เติม mixed reagent จำนวน 5 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที แล้วนำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 *n*m	ศรีสม, 2544
3. Total K*	ดูดสารละลายตัวอย่างพืชที่ได้จากการย่อย จำนวน 1 ml ลงใน volumetric flask 100 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปอ่านด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 766.5 *n*m	Helkme and Sparke, 1996

*หมายเหตุ ย่อยตัวอย่างด้วยกรดผสม แสดงรายละเอียดในภาคผนวก

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่เก็บบันทึกได้นำมาวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ โดยใช้ analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของกรรมวิธีการทดลองโดย least significant difference (LSD) ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม statistix for window version 8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาผลของกรรมวิธีการผลิตและระยะในการเก็บรักษา ต่อสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง

กรรมวิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นวัสดุอินทรีย์จากโรงงานอุตสาหกรรม มีอยู่หลายวิธี เช่น การหมัก การทำแห้ง ดังนั้นจึงได้นำวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตครั่งเม็ด ที่มีลักษณะเป็นตะกอนเปียกสีดำมีกลิ่นค่อนข้างแรง เนื่องจากเป็นเศษซากของครั่งและเศษไม้ มาทดลองหากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ซึ่งการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตครั่งเม็ดนั้น ได้ทดลองโดยใช้กรรมวิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 2 กรรมวิธีด้วยกันคือ การหมักและทำแห้ง โดยทำการหมักตะกอนครั่งเปียกเป็นเวลา 8 สัปดาห์ และสำหรับการทำแห้ง ทำโดยนำตะกอนครั่งเปียกมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 35-75°C เพื่อศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง และนำปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ได้จากกรรมวิธีที่เหมาะสมไปทำการเก็บรักษาเพื่อศึกษาระยะเวลาของการเก็บรักษาต่อสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ซึ่งสมบัติเบื้องต้นของตะกอนครั่งเปียกก่อนการนำไปใช้ในการทดลองอบแห้ง การหมักและปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ใช้ในการทดลองผลของการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4 สมบัติเบื้องต้นของตะกอนครั่ง

คุณสมบัติ	pH (1:5)	EC (1:5) mS/cm	OM %	N %	P %	K %	NH_4^+-N (mg/kg)	NO_3^--N (mg/kg)
ตะกอนครั่งเปียกก่อนอบแห้ง	6.98	1.07	61.93	3.46	0.42	0.20	6969.17	0.33
ตะกอนครั่งเปียกก่อนหมัก	5.39	0.72	76.11	3.81	0.64	0.38	6484.53	1.09
ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง	6.70	0.84	37.70	3.76	0.69	0.41	3817.71	0.22

* หมายเหตุ ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตครั่งเม็ดด้วยการอบแห้งในตู้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 ºC

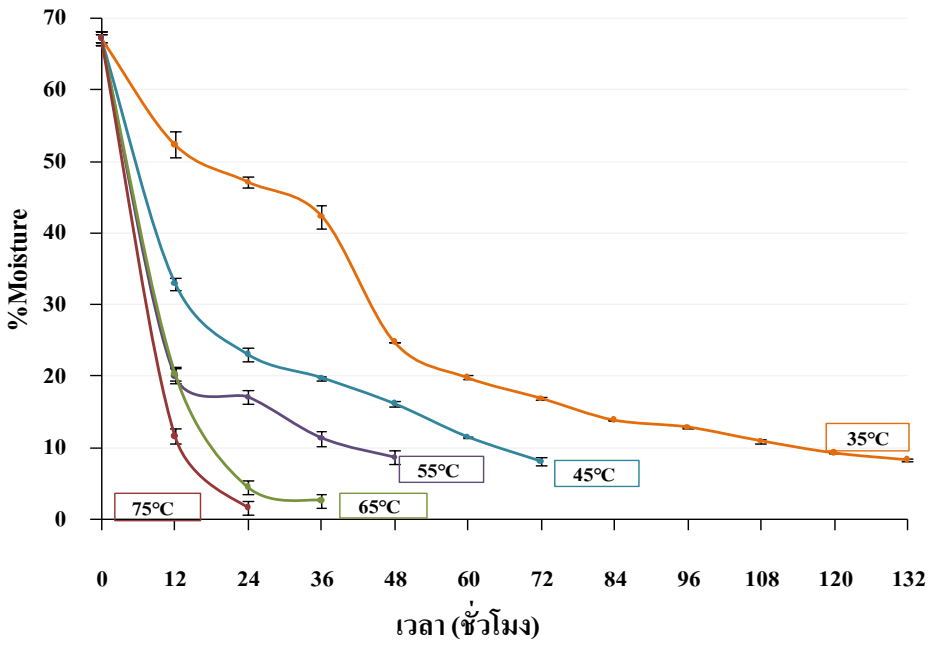
4.1.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ผลิตด้วยกรรมวิธีอบแห้งโดยใช้อุณหภภูมิที่แตกต่างกัน

4.1.1.1 ปริมาณความชื้นของตะกอนครั่งเปียกที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C

จากการนำตะกอนครั่งเปียกจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตครั่งเม็ด ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นการอบแห้งประมาณ 67% มาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 35, 45, 55, 65 และ 75°C เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง พบว่า ปริมาณความชื้นของตะกอนครั่งเปียกที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C มีอัตราการลดลงช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ให้ในการอบแห้ง เช่นเดียวกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งตะกอนครั่งเปียก หากใช้อุณหภูมิต่ำจะใช้ระยะเวลามากกว่าการใช้อุณหภูมิสูง การอบแห้งตะกอนครั่งเปียกด้วยอุณหภูมิ 35, 45, 55, 65 และ 75°C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งจนกระทั่งตะกอนครั่งมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 10 % เท่ากับ 132, 72, 48, 36 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ แนวโน้มการลดลงของปริมาณความชื้นและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งตะกอนครั่งเปียกในแต่ละอุณหภูมิ

จากภาพที่ 8 แสดงให้เห็นว่าการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่งโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิระหว่าง 35-75°C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งต่างกัน ซึ่งอัตราการลดลงของปริมาณความชื้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง การใช้อุณหภูมิต่ำ (35°C) ใช้ระยะเวลามากที่สุดถึง 132 ชั่งโมง ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (75°C) ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด เพียง 24 ชั่วโมง ซึ่งมีระยะเวลาการอบแห้งต่างกันถึง 108 ชั่วโมง การทดลองอบแห้งตะกอนครั่งด้วยอุณหภูมิต่างๆทำให้ทราบว่าควรใช้อุณหภูมิเท่าไหร่ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่งด้วยกรรมวิธีอบแห้ง แต่อย่างไรก็ตาม การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่งโดยการใช้อุณหภูมิที่สูงต้องใช้พลังงานมากทำให้สิ้นเปลืองและอาจส่งผลถึงสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์สมบัติบางประการของตะกอนครั่งที่ทำการอบแห้งในทุกๆ 12 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



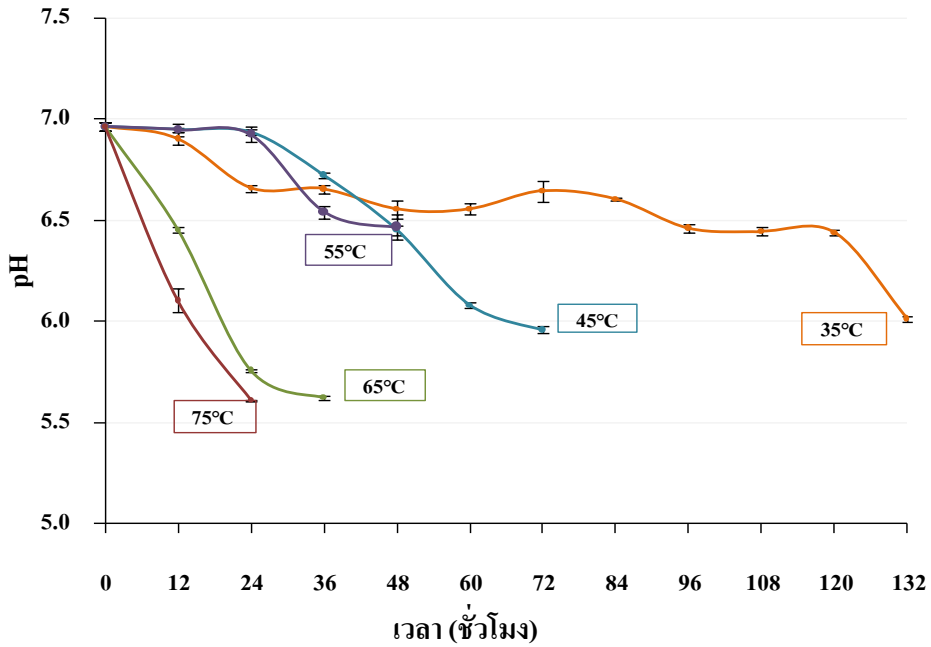
ภาพที่ 8 ปริมาณความชื้นของตะกอนครั่งเปียกเมื่ออบแห้งด้วยอุณหภูมิ 35-75°C

4.1.1.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของตะกอนครั่งเปียกที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C

ผลของการอบแห้งตะกอนครั่งเปียกต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของตะกอนครั่งทุก 12 ชั่วโมง จนกระทั่งตะกอนครั่งมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 10 % หลังจากทำการวิเคราะห์สมบัติบางประการ ได้แก่ pH, EC, Organic meter, Total N, P_2O_5, K_2O, NH_4^+-N และ NO_3^--N พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการดังกล่าวของตะกอนครั่ง เมื่อเทียบกับสมบัติบางประการของตะกอนครั่งเปียกก่อนทำการอบแห้ง ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

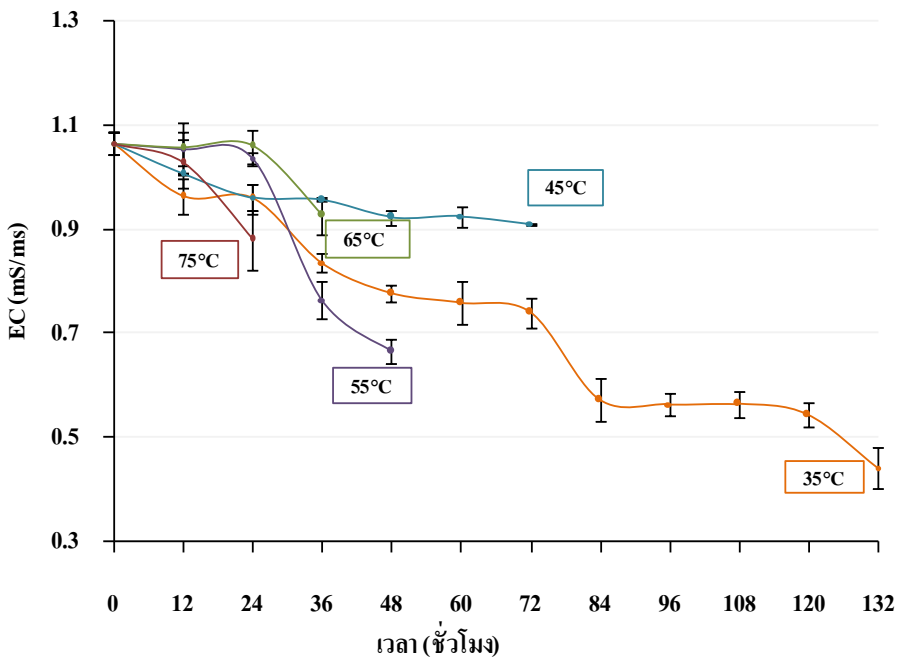
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) : การอบแห้งตะกอนครั่งทำให้ค่า pH ลดลงในทุกอุณหภูมิของการทดลอง การใช้อุณหภูมิสูงกว่า 65°C หรือต่ำกว่า 45°C ในการอบแห้งส่งผลให้ค่า pH ลดลง โดยเฉพาะการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง 75°C ที่มีผลทำให้ค่า pH ลดลงต่ำสุด จากค่า pH ของตะกอนครั่งเปียกก่อนอบแห้ง 6.98 เป็น 5.61 สำหรับการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 55°C มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH น้อยที่สุด ซึ่งมีค่า pH ลดลงเพียงเล็กน้อยจากตะกอนครั่งเปียกก่อนอบแห้ง 6.98 เป็น 6.47 (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของตะกอนครั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

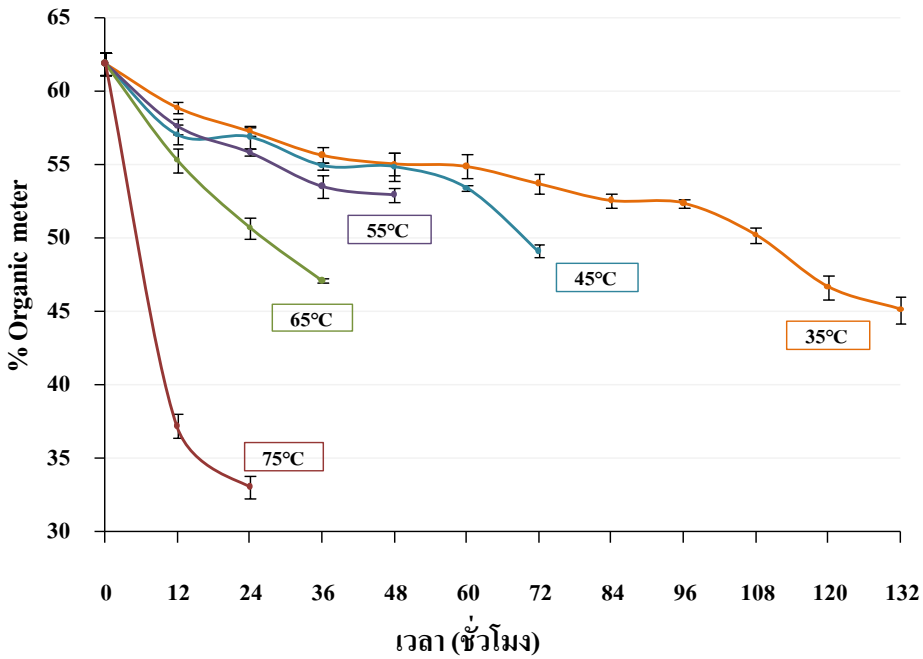
ค่าการนำไฟฟ้า (EC): การอบแห้งตะกอนครั่งทำให้ค่า EC ลดลงในทุกอุณหภูมิของการทดลอง การใช้อุณหภูมิสูงกว่า 75°C หรือต่ำกว่า 55°C ในการอบแห้งส่งผลให้ค่า EC ลดลง โดยเฉพาะการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ 35°C มีผลทำให้ค่า EC ลดลงต่ำสุด จากค่า EC ของตะกอนครั่ง 1.07 mS/cm เป็น 0.44 mS/cm สำหรับการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 65°C มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า EC น้อยที่สุด ซึ่งมีค่า EC ลดลงเพียงเล็กน้อยจากตะกอนครั่งเปียกก่อนอบแห้ง 1.07 mS/cm เป็น 0.93 mS/cm (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง EC ของตะกอนครั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

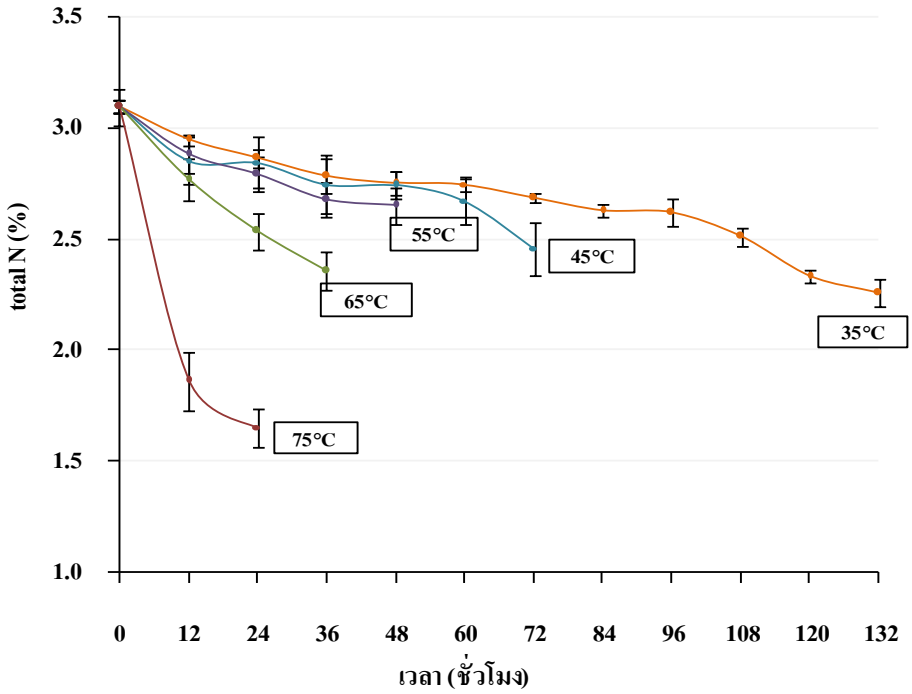
อินทรียวัตถุ (organic meter: OM): การอบแห้งตะกอนครั่งทำให้ปริมาณ OM ลดลงในทุกอุณหภูมิของการทดลอง การใช้อุณหภูมิสูงกว่า 65°C หรือต่ำกว่า 45°C ในการอบแห้งส่งผลให้ปริมาณ OM ลดลง โดยเฉพาะการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง 75°C มีผลทำให้ปริมาณ OM ลดลงต่ำสุดจากปริมาณ OM ของตะกอนครั่ง 61.93 % เป็น 33.05 % สำหรับการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 55°C มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ OM น้อยที่สุด ซึ่งมีค่าปริมาณ OM ลดลงเพียงเล็กน้อยจากตะกอนครั่งเปียกก่อนอบแห้ง 61.93% เป็น 53.00% (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง organic meter ของตะกอนครั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

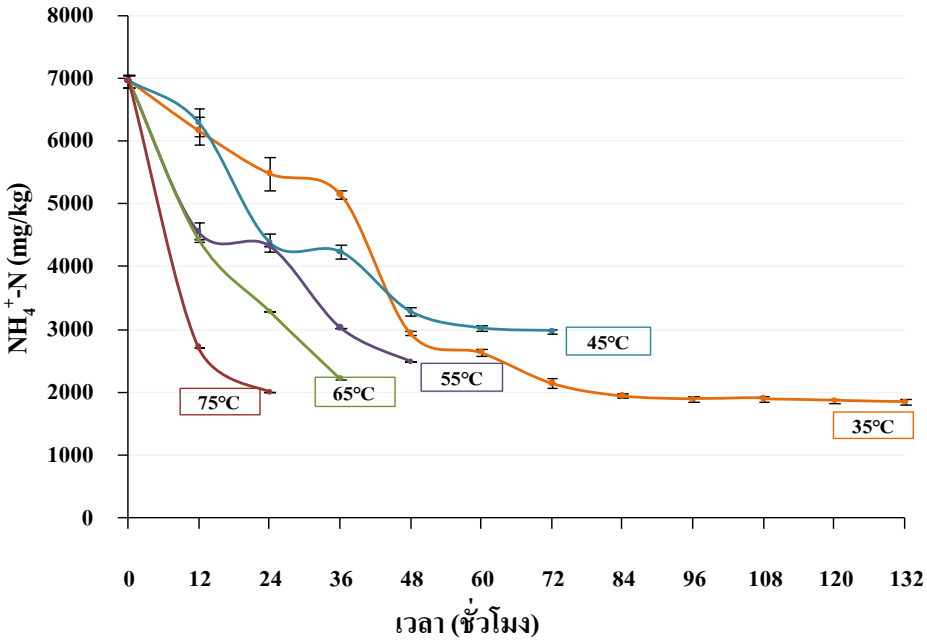
ไนโตรเจนทั้งหมด (total N): การอบแห้งตะกอนครั่งทำให้ปริมาณ total N ลดลงในทุกอุณหภูมิของการทดลอง การใช้อุณหภูมิสูงกว่า 65°C หรือต่ำกว่า 45°C ในการอบแห้งส่งผลให้ปริมาณ total N ลดลง โดยเฉพาะการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง 75°C มีผลทำให้ปริมาณ total N ลดลงต่ำสุด จาก total N ของตะกอนครั่ง 3.10 % เป็น 1.65 % เช่นเดียวกับการใช้อุณหภูมิต่ำ 35°C ที่มีผลให้ปริมาณ total N ลดลงจากปริมาณ Total N ของตะกอนครั่งก่อนอบ 3.10 % เป็น 2.25% สำหรับการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 55°C มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง total N น้อยที่สุด ซึ่งมีปริมาณ total N ลดลงเพียงเล็กน้อยจากตะกอนครั่งก่อนอบแห้ง 3.10 % เป็น 2.65% (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง total N ของตะกอนครั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

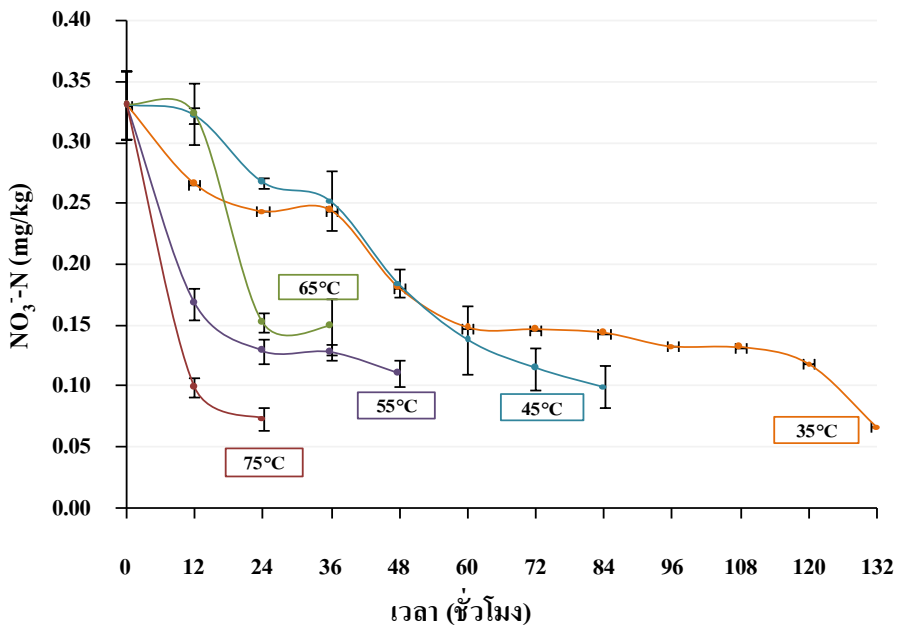
แอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N): การอบแห้งตะกอนครั่งทำให้ปริมาณ NH_4^+-N ลดลงในทุกอุณหภูมิของการทดลอง การใช้อุณหภูมิสูงกว่า 55°C หรือต่ำกว่า 35°C ในการอบแห้งส่งผลให้ปริมาณ NH_4^+-N ลดลง โดยเฉพาะการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ 35°C มีผลทำให้ปริมาณ NH_4^+-N ลดลงต่ำสุด จากปริมาณ NH_4^+-N ของตะกอนครั่ง 6,969 mg/kg เป็น 1,858 mg/kg เช่นเดียวกับการใช้อุณหภูมิสูง 75°C ที่มีผลให้ปริมาณ NH_4^+-N ลดลงจากปริมาณ NH_4^+-N ของตะกอนครั่งก่อนอบ 6,969 mg/kg เป็น 2,005 mg/kg สำหรับการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 45°C มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ NH_4^+-N น้อยที่สุด ซึ่งมีค่าปริมาณ NH_4^+-N ลดลงเพียงเล็กน้อยจากตะกอนครั่งก่อนอบแห้ง 6,969 mg/kg เป็น 2,983 mg/kg (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง NH_4^+-N ของตะกอนครั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

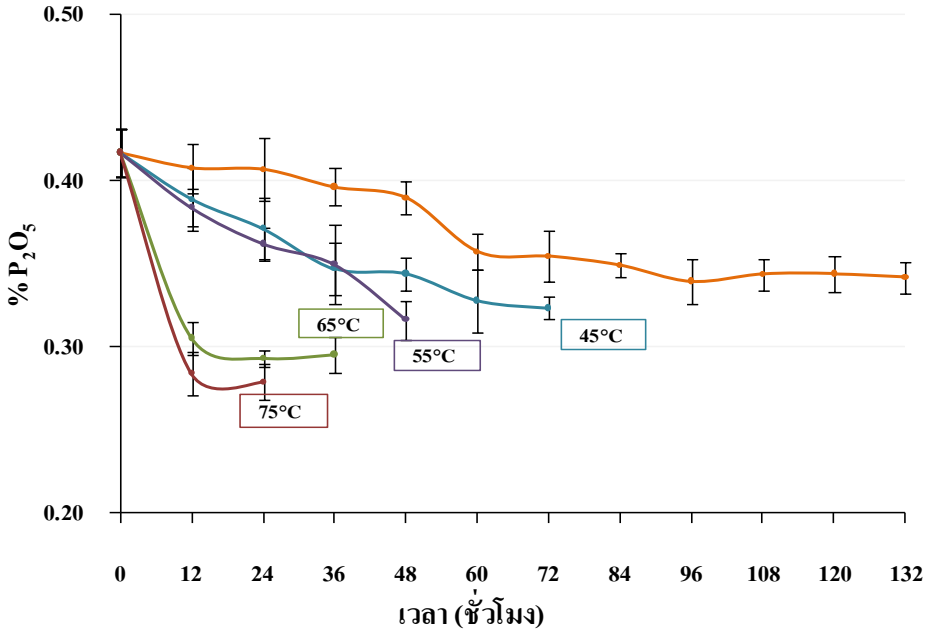
ไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^--N): การอบแห้งตะกอนครั่งทำให้ปริมาณ NO_3^--N ลดลงในทุกอุณหภูมิของการทดลอง การใช้อุณหภูมิสูงกว่า 75°C หรือต่ำกว่า 55°C ในการอบแห้งส่งผลให้ปริมาณ NO_3^--N ลดลง โดยเฉพาะการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ 35°C มีผลทำให้ปริมาณ NO_3^--N ลดลงต่ำสุด จากปริมาณ NO_3^--N ของตะกอนครั่ง 0.33 mg/kg เป็น 0.07 mg/kg เช่นเดียวกับการใช้อุณหภูมิสูง 75°C สำหรับการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 65°C มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ NO_3^--N น้อยที่สุด ซึ่งมีค่าปริมาณ NO_3^--N ลดลงเพียงเล็กน้อยจากตะกอนครั่งก่อนอบแห้ง 0.33 mg/kg เป็น 0.15 mg/kg (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง NO_3^--N ของตะกอนครั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

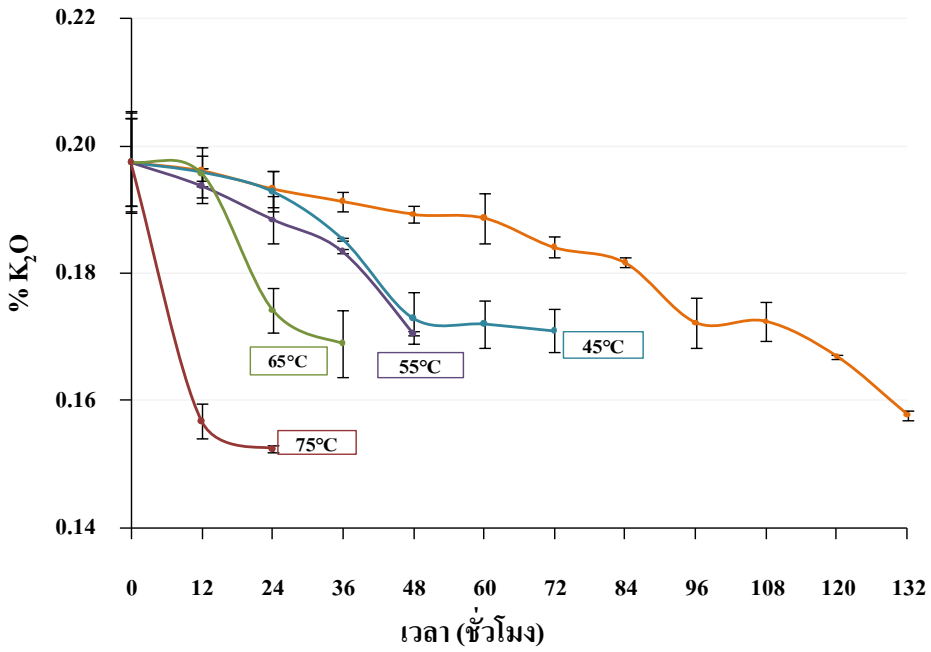
ฟอสฟอรัส (P_2O_5): การอบแห้งตะกอนครั่งทำให้ปริมาณ P_2O_5 ลดลงในทุกอุณหภูมิของการทดลอง การใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 65°C ในการอบแห้งส่งผลให้ปริมาณ P_2O_5ลดลงเพียงเล็กน้อย แต่การใช้อุณหภูมิสูง 75°C มีผลทำให้ปริมาณ P_2O_5 ลดลงต่ำสุด จากปริมาณ P_2O_5 ของตะกอนครั่ง 0.42% เป็น 0.28% สำหรับการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ 35°C มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ P_2O_5น้อยที่สุด ซึ่งมีค่าปริมาณ P_2O_5ลดลงเพียงเล็กน้อยจากตะกอนครั่งก่อนอบแห้ง 0.42% เป็น 0.34% (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง P_2O_5 ของตะกอนครั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โพแทสเซียม (K_2O): การอบแห้งตะกอนครั่งทำให้ K_2O ลดลงเพียงเล็กน้อยในทุกอุณหภูมิของการทดลอง การอบแห้งในแต่ละอุณหภูมิมีผลให้ปริมาณ K_2O ลดลงจากตะกอนครั่งก่อนอบแห้ง 0.20% เป็น 0.15-0.17% (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง K_2O ของตะกอนครั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C

4.1.1.3 สมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ได้จากการอบแห้งด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

การเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่งด้วยกรรมวิธีอบแห้ง นอกจากจะเลือกจากความสะดวกรวดเร็วและการใช้ระยะเวลาที่สั้นแล้ว ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ได้จากการอบแห้งจะต้องมีปริมาณการสูญเสียธาตุอาหารน้อยที่สุด จึงได้นำผลการวิเคราะห์สมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35-75°C ความชื้นช่วง 10±5% มาเปรียบเทียบกันทางสถิติ เพื่อใช้ผลการวิเคราะห์สมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งมาเป็นเกณฑ์การตัดสินใจ ในการเลือกกรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ด้วยกรรมวิธีอบแห้ง

จากตารางที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบสมบัติบางประการของตะกอนครั่ง ที่ผ่านการอบแห้งด้วยอุณหภูมิระหว่าง 35°C-75°C โดยนำสมบัติบางประการของตะกอนครั่งที่มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 10±5% เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ครั่งด้วยกรรมวิธีอบแห้ง พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง pH, OM, total N, P_2O_5 และ NH_4^+-N ของตะกอนครั่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นปริมาณ K_2O และ NO_3^--N ที่อุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของตะกอนครั่งเพียงเล็กน้อย อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งส่งผลอย่างมากต่อการลดลงของปริมาณ total N และ NH_4^+-N เมื่อเทียบกับสมบัติบางประการของตะกอนครั่งก่อนอบแห้ง โดยในตัวอย่างตะกอนครั่งเปียกมีค่า Total N และ NH_4^+-N เท่ากับ 3.46% และ 6,969 mg/kg ตามลำดับ การใช้อุณหภูมิต่ำ (35°C) ในการอบแห้งตะกอนครั่งส่งผลให้ OM, total N และ NH_4^+-N ลดลงต่ำสุด เหลือเพียง 50.23%, 2.51% และ 1,912 mg/kg ตามลำดับ และการใช้อุณหภูมิสูง (65°C) ในการอบแห้งตะกอนครั่งส่งผลให้ค่า pH และ P_2O_5 ลดลงต่ำสุดเหลือเพียง 5.99 และ 0.30% ตามลำดับ สำหรับอุณหภูมิที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งโดยรวมน้อยที่สุดคือ การอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 55ºC โดยมีปริมาณค่า pH, OM, total N, P_2O_5, K_2O, NH_4^+-N และ NO_3^--N เท่ากับ 6.54, 53.54%, 2.68%, 0.35%, 0.18%, 3,041 mg/kg และ 0.11 mg/kg ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่งด้วยกรรมวิธีอบแห้ง ควรใช้อุณหภูมิระหว่าง 45-55ºC โดยใช้เวลาอบแห้งประมาณ 36-60 ชั่วโมง จะได้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่มีปริมาณความชื้นช่วง 10±5%

ตารางที่ 5 สมบัติบางประการของตะกอนครั่งหลังการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

การทดลอง	สมบัติตะกอนครั่ง							
	เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	pH (1:5)	OM (%)	Total N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	NH_4^+-N (mg/kg)	NO_3^--N (mg/kg)
1. FLS [2/]	0	6.98[a/1]	61.93[a]	3.46[a]	0.42[a]	0.20[a]	6,969.17[a]	0.33[a]
2. 35ºC	108	6.49[c]	50.23[c]	2.51[c]	0.34[b]	0.17[bc]	1,912.17[e]	0.13[b]
3. 45ºC	60	6.11[d]	53.44[b]	2.67[b]	0.33[b]	0.17[bc]	3,030.10[c]	0.14[b]
4. 55ºC	36	6.57[b]	53.54[b]	2.68[b]	0.35[b]	0.18[ab]	3,041.80[c]	0.13[bc]
5. 65ºC	24	6.02[e]	50.74[c]	2.54[c]	0.30[c]	0.18[bc]	3,297.25[b]	0.14[b]
6. 75ºC	12	6.13[d]	37.19[d]	1.86[d]	0.28[c]	0.16[c]	2,723.19[d]	0.10[c]
LSD (0.05)	-	0.04	0.98	0.05	0.03	0.02	83.73	0.03
%CV	-	0.47	1.30	1.19	5.84	6.38	1.77	12.31

[1/] ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์เดียวกันที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

[2/] ตะกอนครั่งเปียกก่อนการอบแห้ง (fresh lac sediment, FLS)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ผลิตด้วยกรรมวิธีการหมัก

การศึกษาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่งด้วยกรรมวิธีการหมัก เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการหากรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง โดยนำของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตครั่งเม็ดมาผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่งด้วยกรรมวิธีการหมัก ซึ่งตะกอนครั่งเปียกที่นำมาใช้หมัก มี ค่า pH เท่ากับ 5.63 ปริมาณ OM เท่ากับ 76.11 % ปริมาณปริมาณ N, P และ K ทั้งหมด เท่ากับ 3.81, 0.64 และ 0.38 % ตามลำดับ และ มีปริมาณ NH_4^+-N และ NO_3^--N เท่ากับ 6,484 และ 1 mg/kg ตามลำดับ เมื่อทำการหมักตะกอนครั่งเปียกเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า คุณสมบัติของตะกอนครั่งเปียกมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากค่า pH ที่มีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการหมัก จากค่าเดิมเท่ากับ 5.36 เป็น 7.04 ส่วนปริมาณ OM และ total N มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีปริมาณสูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 6 เช่นเดียวกัน มีค่าเท่ากับ 83.50% และ 4.17% ตามลำดับ อีกหนึ่งคุณสมบัติที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจนคือ ปริมาณ NH_4^+-N โดยเริ่มมีการลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 4 มีค่าลดลงจากค่าเริ่มต้น 6,484 mg/kg เป็น 3,982 mg/kg ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อย 38.59 สำหรับคุณสมบัติของ P_2O_5, K_2O และ NO_3^--N มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีปริมาณการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักจากค่าเริ่มต้น เมื่อทำการหมัก ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งครบ 8 สัปดาห์ แล้วปล่อยให้แห้งทำให้ได้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่มีค่า pH, OM, Total N , %P_2O_5, %K_2O, NH_4^+-N และ NO_3^--N มีค่าเท่ากับ 7.21, 54.44%, 2.04%, 0.32%, 0.28%, 2,431 และ0.61 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 6 สมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ผลิตด้วยกรรมวิธีการหมัก

การหมัก	สมบัติตะกอนครั่ง						
	pH (1:5)	OM (%)	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	NH_4^+-N (mg/kg)	NO_3^--N (mg/kg)
1) ตะกอนครั่งเปียก	5.39[f]	76.11[e]	3.81[e]	0.64[a]	0.38[b]	6,484.53[b]	1.09[ab]
2) 2 สัปดาห์	6.60[c]	78.00[d]	3.90[d]	0.49[b]	0.50[a]	6,844.28[a]	1.18[a]
3) 4 สัปดาห์	6.52[d]	82.00[b]	4.10[b]	0.44[c]	0.51[a]	4,611.50[c]	1.09[ab]
4) 6 สัปดาห์	6.42[e]	83.50[a]	4.17[a]	0.51[b]	0.40[b]	4,615.69[c]	1.06[ab]
5) 8 สัปดาห์	7.07[b]	80.61[c]	4.03[c]	0.51[b]	0.42[b]	3,982.25[d]	0.92[ab]
6) ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง *	7.21[a]	54.44[f]	2.04[f]	0.32[d]	0.28[c]	2,431.11[e]	0.61[b]
LSD (0.05)	0.02	0.28	0.01	0.02	0.05	60.23	0.56
%CV	0.21	0.25	0.24	3.42	8.30	0.84	38.11

[1/] ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์เดียวกันที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

* หมายเหตุ ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตครั่งเม็ด ด้วยกรรมวิธีการหมัก และปล่อยให้แห้งตามธรรมชาติโดยใช้ระยะเวลาประมาณ 2 สัปดาห์

4.1.3 ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง

เมื่อนำปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง (ความชื้น 10±1%) ที่ผลิตด้วยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 ºC ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง มาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25-30ºC) และทำการตรวจสอบสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งทุก 1 เดือน เป็นระยะเวลา 6 เดือน จากผลการศึกษาพบว่า โดยส่วนใหญ่แล้วระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 7) เมื่อเทียบกับสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งก่อนทำการเก็บรักษา ยกเว้นการเปลี่ยนแปลงของ pH ซึ่งพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลง pH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่า pH เริ่มมีการลดลงให้เห็นอย่างชัดเจนในเดือนที่ 3 จนกระทั่งลดลงต่ำสุดในเดือนที่ 6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.67 หรือมีการลดลงคิดเป็นร้อยละ 29.88 จาก pH เริ่มต้น สำหรับปริมาณ NH_4^+-N เป็นที่น่าสังเกตว่า ถึงแม้ระยะการเก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ครั่งจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ NH_4^+-N อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณ NH_4^+-N มีแนวโน้มลดลงจากค่าเริ่มต้น ซึ่งจะเห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจนในเดือนที่ 3 จนกระทั่งลดลงต่ำสุดในเดือนที่ 6 มีค่าเท่ากับ 3,447 mg/kg หรือมีการลดลงคิดเป็นร้อยละ10 จากค่าเริ่มต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 7 ผลของระยะการเก็บรักษาต่อสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง

ระยะเก็บรักษา (เดือน)	สมบัติปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง						
	pH (1:5)	OM (%)	Total N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	NH_4^+-N (mg/kg)	NO_3^--N (mg/kg)
0	6.69[a1/]	37.70	3.76	0.69	0.41	3817.71	0.22
1	5.26[b]	37.16	3.76	0.64	0.40	3785.64	0.21
2	5.26[b]	37.24	3.74	0.61	0.40	3670.25	0.21
3	4.75[c]	37.70	3.73	0.60	0.40	3518.33	0.22
4	4.74[c]	36.61	3.74	0.62	0.41	3473.88	0.20
5	4.73[cd]	36.78	3.73	0.61	0.40	3406.99	0.21
6	4.70[d]	36.63	3.71	0.60	0.40	3447.54	0.20
LSD (0.05)	0.04	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	0.48	6.64	9.83	11.60	10.36	7.90	60.10

[1/] ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์เดียวกันที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

[ns] ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

4.2 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (N mineralization) และปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์ (microbial biomass) ในดิน

การศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพสารประกอบอินทรีย์ของไนโตรเจน (N mineralization) และชีวมวลจุลินทรีย์ (microbial biomass) ในดินได้ดำเนินการในสภาพห้องปฏิบัติการ โดยทำการบ่มดินกับปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราที่แตกต่างกัน สำหรับสมบัติของดิน ปุ๋ยหมัก AG-5 และปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ใช้ในการทดลอง แสดงไว้ ในตารางที่ 8 และ ตารางที่ 9 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 8 สมบัติเบื้องต้นของดินที่ใช้สำหรับทดลอง

สมบัติของดิน	ค่าวิเคราะห์
pH (1:1)	6.58
EC (1:5) µs/cm	75.85
OM (%)	1.66
Total N (mg/kg)	966.23
Avail. P (mg/kg)	17.61
Exch. K (mg/kg)	234.30
NH_4^+-N (mg/kg)	51.76
NO_3^--N (mg/kg)	4.03
Exch. Ca (mg/kg)	3225.99
Exch. Mg (mg/kg)	329.25

ตารางที่ 9 สมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยหมัก AG-5 และปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติ	pH (1:5)	EC (1:5) mS/cm	OM %	Total N %	C:N ratio	P_2O_5 %	K_2O %	NH_4^+-N (mg/kg)	NO_3^--N (mg/kg)
ปุ๋ยหมัก AG-5	6.31	1.930	8.59	1.52	3.28	1.06	0.63	327.09	58.39
ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง	5.76	0.734	39.50	2.85	8.04	0.28	0.11	1769.61	65.39

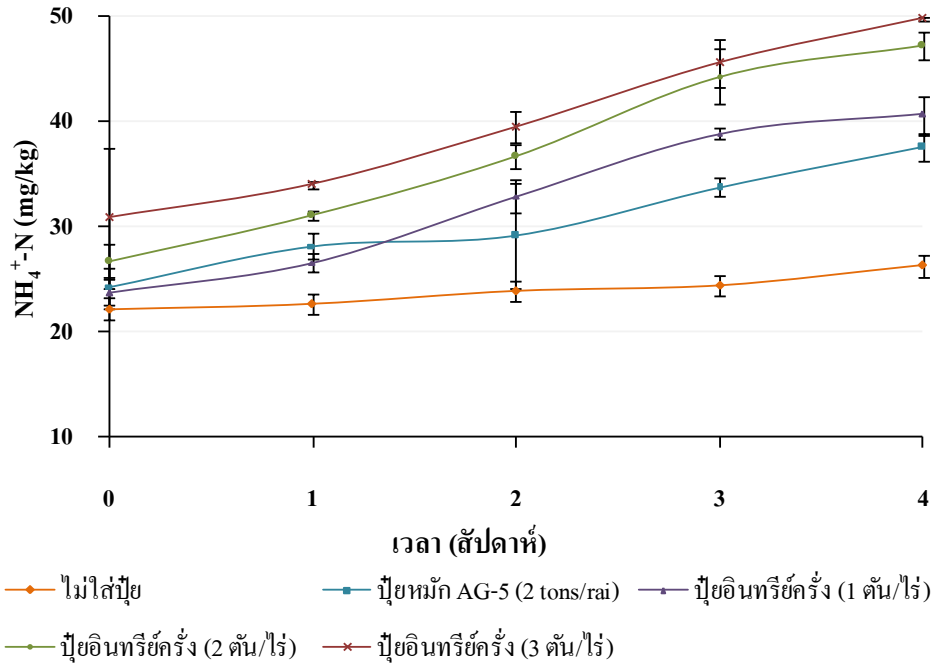
4.2.1 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (N mineralization) ในดิน

4.2.1.1 แอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N)

เมื่อทำการบ่มดินตามแต่ละกรรมวิธีทดลอง พบว่า แอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N) ในดินของทุกกรรมวิธีทดลองเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างชัดเจน ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 4 ยกเว้นกรรมวิธีที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยที่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ NH_4^+-N เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ภาพที่ 17) จากกราฟในภาพที่ 10 จะเห็นว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณ NH_4^+-N เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งอัตรา 3 ตัน/ไร่ ทำให้มีปริมาณ NH_4^+-N เพิ่มสูงที่สุด ส่วนการใส่ปุ๋ยหมัก AG-5 อัตรา 2 ตัน/ไร่ มีการเพิ่มขึ้นของ NH_4^+-N ใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตรา 1 ตัน/ไร่ ภายหลังการบ่มดิน 1 สัปดาห์ปริมาณ NH_4^+-N เริ่มมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากกระบวนการ mineralization โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตรา 3 ตัน/ไร่ (กรรมวิธีที่ 5) ทำให้มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณ NH_4^+-N สูงกว่าการใส่ปุ๋ยในอัตราอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 10) โดยมีปริมาณ NH_4^+-N เท่ากับ 34.00 mg/kg ในขณะที่การใส่ปุ๋ยหมัก AG-5 อัตรา 2 ตัน/ไร่ มีปริมาณ NH_4^+-N เพียง 28.20 mg/kg เท่านั้น และหลังจากบ่มดินเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าปริมาณ NH_4^+-N ยังมีปริมาณเพิ่มขึ้นในทุกกรรมวิธีทดลอง โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั้งในอัตรา 3 ตัน/ไร่ และ 2 ตัน/ไร่ (กรรมวิธีที่ 4 และ 5) ไม่ทำให้ปริมาณ NH_4^+-N แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทำให้มีปริมาณ NH_4^+-N สูงสุด เท่ากับ 47.25 และ 49.85 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าการใส่ปุ๋ยครั้งในอัตรา 1 ตัน/ไร่ การใส่ปุ๋ยหมัก AG-5 ในอัตรา 2 ตัน/ไร่ และไม่ใส่ปุ๋ยซึ่งเป็นกรรมวิธีควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบปริมาณ NH_4^+-N เท่ากับ 40.70, 37.59 และ 26.27 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ปริมาณ NH_4^+-N ที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั้งที่เพิ่มขึ้น



All rights reserved

ภาพที่ 17 การแปรสภาพของแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์ครั้งในอัตราที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 10 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N) ในดิน

กรรมวิธีทดลอง [2/]	NH_4^+-N (mg/kg)				
	0 สัปดาห์	1 สัปดาห์	2 สัปดาห์	3 สัปดาห์	4 สัปดาห์
1. กรรมวิธีควบคุม	22.20$^{b\ 1/}$	22.66^{d}	23.89^{e}	24.42^{e}	26.27^{c}
2. ปุ๋ยหมัก (AG-5) * อัตรา 2 ตัน/ไร่	24.33^{b}	28.20^{bc}	29.19^{d}	33.76^{d}	37.59^{b}
3. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง * อัตรา 1 ตัน/ไร่	23.74^{b}	26.60^{cd}	32.91^{c}	38.91^{c}	40.70^{b}
4. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง อัตรา 2 ตัน/ไร่	26.73^{ab}	31.06^{ab}	36.70^{b}	44.33^{b}	47.25^{a}
5. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง อัตรา 3 ตัน/ไร่	30.89^{a}	34.00^{a}	39.55^{a}	45.61^{a}	49.85^{a}
LSD (0.05)	4.58	3.95	1.85	0.69	4.46
%CV	11.88	9.19	3.79	1.23	7.35

[1/] ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์เดียวกันที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

* หมายเหตุ ปุ๋ยหมัก AG-5 เป็นปุ๋ยหมักที่ผลิตโดย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

* หมายเหตุ ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตครั่งเม็ดด้วยการอบแห้งในตู้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 ºC

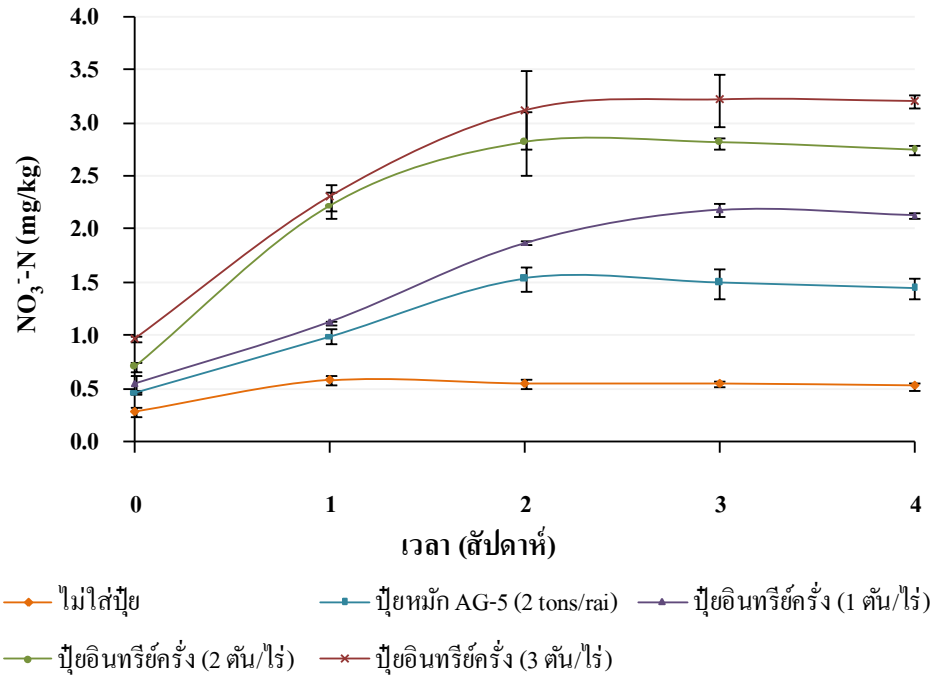
4.2.1.2 ไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^--N)

เมื่อทำการบ่มดินตามแต่ละกรรมวิธีทดลอง พบว่า ไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^--N) ในดินของทุกกรรมวิธีทดลองเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างชัดเจน ตั้งแต่ในช่วง 1 สัปดาห์แรกของการบ่มดิน ยกเว้นกรรมวิธีที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยที่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ NO_3^--N เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ภาพที่ 18) จากกราฟในภาพที่ 10 จะเห็นว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณ NO_3^--N เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งอัตรา 3 ตัน/ไร่ ทำให้ปริมาณ NO_3^--N เพิ่มสูงที่สุด ส่วนการใส่ปุ๋ยหมัก AG-5 อัตรา 2 ตัน/ไร่ มีการเพิ่มขึ้นของ NO_3^--N ใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตรา 1 ตัน/ไร่

ภายหลังการบ่มดิน 1 สัปดาห์ ปริมาณ NO_3^--N เริ่มมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากกระบวนการ mineralization โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตรา 3 ตัน/ไร่ (กรรมวิธีที่ 5) ทำให้มีปริมาณ NO_3^--N สูงกว่าการใส่ปุ๋ยในอัตราอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิต (ตารางที่ 11) โดยมีปริมาณ NO_3^--N สูงสุดเท่ากับ 2.31 mg/kg ในขณะที่การใส่ปุ๋ยหมักในอัตรา 2 ตัน/ไร่ มีปริมาณ NO_3^--N เพียง 1 mg/kg เท่านั้น และหลังจากบ่มดินเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าปริมาณ NO_3^--N มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ในทุกกรรมวิธีทดลอง โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตรา 3 ตัน/ไร่ และ 2 ตัน/ไร่ (กรรมวิธีที่ 4 และ 5) ไม่ทำให้ปริมาณไนเตรทไนโตรเจนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทำให้มีปริมาณ NO_3^--N สูงสุดเท่ากับ 2.75 และ 3.22 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าการใส่ปุ๋ยครั่งในอัตรา 1 ตัน/ไร่ การใส่ปุ๋ยหมัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

AG-5 ในอัตรา 2 ตัน/ไร่ และไม่ใส่ปุ๋ยซึ่งเป็นกรรมวิธีควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบปริมาณไนเตรทไนโตรเจนเท่ากับ 2.13, 1.45 และ0.53 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ปริมาณ NO_3^--N ที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั้งที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 18 การแปรสภาพของไนเตรทไนโตรเจนในดินที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์ครั้งในอัตราที่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 11 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^--N) ในดิน

กรรมวิธีทดลอง [2/]	NO_3^--N (mg/kg)				
	0 สัปดาห์	1 สัปดาห์	2 สัปดาห์	3 สัปดาห์	4 สัปดาห์
1. กรรมวิธีควบคุม	0.28[e 1/]	0.58[d]	0.55[e]	0.55[a]	0.53[e]
2. ปุ๋ยหมัก (AG-5)* อัตรา 2 ตัน/ไร่	0.47[d]	1.00[c]	1.54[d]	1.49[d]	1.45[d]
3. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง* อัตรา 1 ตัน/ไร่	0.55[c]	1.13[b]	1.88[c]	2.18[c]	2.13[c]
4. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง อัตรา 2 ตัน/ไร่	0.71[b]	2.23[a]	2.82[b]	2.82[b]	2.75[b]
5. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง อัตรา 3 ตัน/ไร่	0.98[a]	2.31[a]	3.13[a]	3.23[a]	3.22[a]
LSD (0.05)	0.07	0.12	0.26	0.19	0.03
%CV	7.73	5.66	8.87	6.26	0.96

[1/] ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์เดียวกันที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

* หมายเหตุ ปุ๋ยหมัก AG-5 เป็นปุ๋ยหมักที่ผลิตโดย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

* หมายเหตุ ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตครั่งเม็ดด้วยการอบแห้งในตู้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 ºC

4.2.2 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของมวลชีวภาพจุลินทรีย์ (microbial biomass) ในดิน

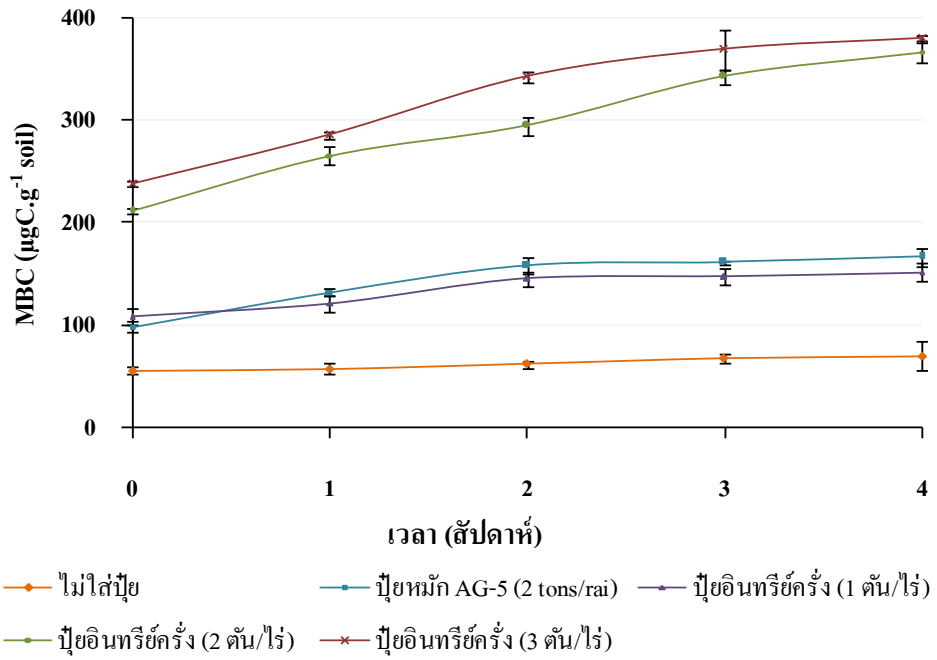
4.2.2.1 ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอน (Microbial Biomass Carbon: MBC) .ในดิน

เมื่อทำการบ่มดินตามแต่ละกรรมวิธีทดลอง พบว่า ชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอน (MBC) ในดินของทุกกรรมวิธีทดลองเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 4 ยกเว้นกรรมวิธีที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยที่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ MBC เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ภาพที่ 19) จากกราฟในภาพที่ 19 จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณ MBC เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งอัตรา 3 ตัน/ไร่ ทำให้มีปริมาณ MBC เพิ่มสูงที่สุด ส่วนการใส่ปุ๋ยหมัก AG-5 อัตรา 2 ตัน/ไร่ มีการเพิ่มขึ้นของ MBC ใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตรา 1 ตัน/ไร่

ภายหลังการบ่มดิน 2 สัปดาห์ ปริมาณ MBC เริ่มมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากกระบวนการชีวสังเคราะห์ที่เกิดขึ้นควบคู่ กับการเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง 3 ตัน/ไร่ (กรรมวิธีที่ 5) ทำให้มีปริมาณ MBC สูงกว่าการใส่ปุ๋ยในอัตราอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 12) โดยมีปริมาณ MBC เท่ากับ 343.00 $\mu gC.g^{-1}$ soil ในขณะที่การใส่ปุ๋ยหมัก AG-5 อัตรา 2 ตัน/ไร่ มีปริมาณ MBC เพียง 158.73 $\mu gC.g^{-1}$ soil เท่านั้น และหลังจากบ่มดินเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่าปริมาณ MBC ยังมีปริมาณเพิ่มขึ้นในทุกกรรมวิธี โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตรา 3 ตัน/ไร่ และ 2 ตัน/ไร่ (กรรมวิธีที่ 4 และ 5) ไม่ทำให้ปริมาณ MBC แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทำให้มีปริมาณ MBC สูงสุด เท่ากับ ซึ่งสูงกว่าการใส่ปุ๋ยครั่งในอัตรา 1 ตัน/ไร่ การใส่ปุ๋ยหมัก AG-5 ในอัตรา 2 ตัน/ไร่ และไม่ใส่ปุ๋ยซึ่งเป็นกรรมวิธีควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบปริมาณ MBC เท่ากับ 152.21, 166.90 และ 70.20 $\mu gC.g^{-1}$ soil ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ปริมาณ MBC ที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอน (microbial biomass carbon: MBC) ในดินที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตราที่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 12 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอน (Microbial Biomass Carbon: MBC) ในดิน

กรรมวิธีทดลอง [2/]	MBC ($\mu gC.g^{-1}$ soil)				
	0 สัปดาห์	1 สัปดาห์	2 สัปดาห์	3 สัปดาห์	4 สัปดาห์
1. กรรมวิธีควบคุม	55.98[e 1/]	57.84[e]	61.97[e]	67.48[d]	70.20[c]
2. ปุ๋ยหมัก (AG-5)* อัตรา 2 ตัน/ไร่	98.70[d]	132.43[d]	158.73[d]	161.59[c]	166.90[b]
3. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง* อัตรา 1 ตัน/ไร่	109.04[c]	121.92[c]	145.60[c]	148.02[c]	152.21[b]
4. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง อัตรา 2 ตัน/ไร่	212.30[b]	266.09[b]	295.31[b]	343.17[b]	367.46[a]
5. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง อัตรา 3 ตัน/ไร่	238.81[a]	286.07[a]	343.00[a]	369.79[a]	380.61[a]
LSD (0.05)	7.56	9.43	10.78	14.90	15.34
%CV	3.15	3.62	3.56	4.53	4.48

[1/] ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์เดียวกันที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

* หมายเหตุ ปุ๋ยหมัก AG-5 เป็นปุ๋ยหมักที่ผลิตโดย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

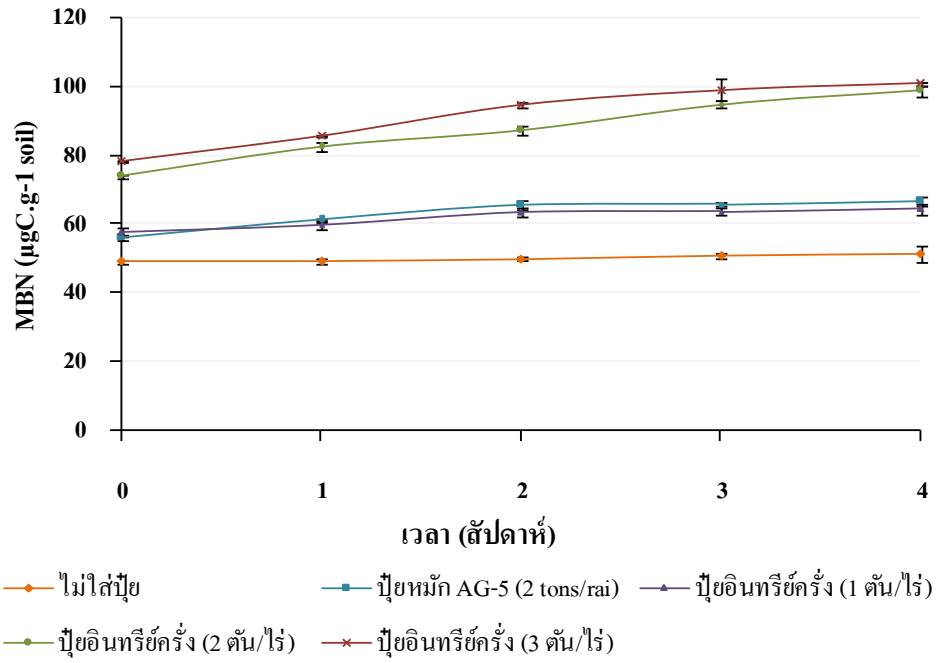
* หมายเหตุ ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตครั่งเม็ดด้วยการอบแห้งในตู้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 ºC

4.2.2.2 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์ไนโตรเจน (Microbial Biomass Narbon: MBN) ในดิน

เมื่อทำการบ่มดินตามแต่ละกรรมวิธีทดลอง พบว่า ชีวมวลจุลินทรีย์ไนโตรเจน (MBN) ในดินของทุกกรรมวิธีทดลองเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างชัดเจน ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 4 ยกเว้นกรรมวิธีที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยที่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ MBN เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ภาพที่ 20) จากกราฟในภาพที่ 20 จะเห็นว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณ MBN เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งอัตรา 3 ตัน/ไร่ ทำให้มีปริมาณ MBN เพิ่มสูงที่สุด ส่วนการใส่ปุ๋ยหมัก AG-5 อัตรา 2 ตัน/ไร่ มีการเพิ่มขึ้นของ MBN ใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตรา 1 ตัน/ไร่ เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ MBN ภายหลังการบ่มดิน 2 สัปดาห์ปริมาณ MBN เริ่มมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากกระบวนการชีวสังเคราะห์ที่เกิดขึ้นควบคู่ กับการเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตรา 3 ตัน/ไร่ (กรรมวิธีที่ 5) ทำให้มีปริมาณ MBN สูงกว่าการใส่ปุ๋ยในอัตราอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 13) โดยมีปริมาณ MBN เท่ากับ 94.87 $\mu gC.g^{-1}$ soil ในขณะที่การใส่ปุ๋ยหมัก AG-5 อัตรา 2 ตัน/ไร่ มีปริมาณ MBN เพียง 65.39 $\mu gN.g^{-1}$ soil เท่านั้น และหลังจากบ่มดินเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าปริมาณ MBN ยังมีปริมาณเพิ่มขึ้นในทุกกรรมวิธีทดลอง โดยการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตรา 3 ตัน/ไร่ และ 2 ตัน/ไร่ (กรรมวิธีที่ 4 และ 5) ไม่ทำให้ปริมาณ MBN แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทำให้มีปริมาณ MBN สูงสุด เท่ากับ 98.78 และ 100.89 $\mu gN.g^{-1}$ soil ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าการใส่ปุ๋ยครั่งในอัตรา 1 ตัน/ไร่ การใส่ปุ๋ยหมัก AG-5 ในอัตรา 2 ตัน/ไร่ และไม่ใส่ปุ๋ยซึ่งเป็นกรรมวิธีควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบปริมาณ MBN เท่ากับ 64.35, 66.70 และ 51.23 $\mu gN.g^{-1}$ soil ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ปริมาณ MBN ที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของชีวมวลจุลินทรีย์ในโตรเจน (Microbial Biomass Nitrogen: MBN) ในดินที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตราที่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 13 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์ในโตรเจน (Microbial Biomass Nitrogen: MBN) ในดิน

กรรมวิธีทดลอง [2/]	MBN ($\mu gN.g^{-1}$ soil)				
	0 สัปดาห์	1 สัปดาห์	2 สัปดาห์	3 สัปดาห์	4 สัปดาห์
1. กรรมวิธีควบคุม	48.95[e 1/]	49.25[e]	49.91[e]	50.79[e]	51.23[c]
2. ปุ๋ยหมัก (AG-5)* อัตรา 2 ตัน/ไร่	55.79[d]	61.19[d]	65.39[d]	65.85[d]	66.70[b]
3. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง* อัตรา 1 ตัน/ไร่	57.44[c]	59.50[c]	63.29[c]	63.68[c]	64.35[b]
4. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง อัตรา 2 ตัน/ไร่	73.96[b]	82.57[b]	87.24[b]	94.90[b]	98.78[a]
5. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง อัตรา 3 ตัน/ไร่	78.20[a]	85.76[a]	94.87[a]	99.16[a]	100.89[a]
LSD (0.05)	1.21	1.51	1.72	2.38	2.54
%CV	1.28	1.48	1.59	2.11	2.13

[1/] ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์เดียวกันที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

* หมายเหตุ ปุ๋ยหมัก AG-5 เป็นปุ๋ยหมักที่ผลิตโดย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

* หมายเหตุ ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตครั่งเม็ดด้วยการอบแห้งในตู้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 ºC

4.3 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้า

การศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อผลผลิตของผักคะน้า ได้ดำเนินการทดลองในสภาพโรงเรือน โดยทำการปลูกผักคะน้าในกระถางทดลอง และมีการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันตามกรรมวิธีที่กำหนด สำหรับสมบัติของดิน ปุ๋ยหมัก AG-5 และปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ ในตารางที่ 8 และ ตารางที่ 9 ตามลำดับ เช่นเดียวกับ หัวข้อ 4.2

การเจริญเติบโต : เมื่อนำต้นกล้าผักคะน้าใบที่มีอายุ 14 วัน มาปลูกลงกระถางทดลอง แล้วทำการวัดความสูงในส่วนเหนือดินของผักคะน้า ทุกๆ 5 วัน จนถึงระยะเก็บเกี่ยวเป็นเวลา 35 วัน พบว่าการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันตามแต่ละกรรมวิธีทดลอง ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของในด้านความสูงของผักคะน้าใบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 14)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 14 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเจริญเติบโตของผักคะน้า

กรรมวิธีทดลอง [1/]	ความสูง (เซนติเมตร)				
	5 วัน	10 วัน	15 วัน	20 วัน	25 วัน
1. กรรมวิธีควบคุม	5.0	7.4	10.4	12.1	13.2
2. 16-16-16 (50)	4.1	6.1	9.1	10.5	11.8
3. ปุ๋ยหมัก AG-5 * (3)	3.4	5.7	9.1	10.1	13.8
4. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง * (3)	5.6	7.5	10.3	11.6	12.1
5. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง + ปุ๋ยหมัก (1:3) (3)	4.9	7.2	10.0	12.0	13.2
6. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง + ปุ๋ยหมัก (1:1) (3)	4.0	6.4	9.5	11.7	13.7
7. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง + ปุ๋ยหมัก (3:1) (3)	4.0	6.2	9.6	11.3	13.4
LSD (0.05)	ns	ns	ns	ns	ns
%CV	45.21	36.46	34.06	32.31	31.05

[ns] ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

[1/]1. กรรมวิธีควบคุม = ดินไม่มีการใส่ปุ๋ย 2. 16-16-16 (50) = ใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 16-16-16 อัตรา 50 ก.ก. ต่อไร่
3. ปุ๋ยหมัก (3) = ใส่ปุ๋ยหมัก (AG-5) อัตรา 3 ตันต่อไร่ 4. ปุ๋ยอินทร์ครั่ง (3) = ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง อัตรา 3 ตัน ต่อไร่
5.ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง + ปุ๋ยหมัก (1:3) (3) = ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งผสมปุ๋ยหมัก (AG-5) อัตราส่วน 1:3 อัตรา 3 ตันต่อไร่
6. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง + ปุ๋ยหมัก (1:1) (3) = ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งผสมปุ๋ยหมัก (AG-5) อัตราส่วน 1:1 อัตรา 3 ตันต่อไร่ และ
7. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง + ปุ๋ยหมัก (3:1) (3) = ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งผสมปุ๋ยหมัก (AG-5) อัตราส่วน 3:1 อัตรา 3 ตันต่อไร่
* หมายเหตุ ปุ๋ยหมัก AG-5 เป็นปุ๋ยหมักที่ผลิตโดย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
* หมายเหตุ ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตครั่งเม็ดด้วยการอบแห้งในตู้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 ºC

ผลผลิต: ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งเมื่อนำมาทดสอบกับการผลิตของผักคะน้า พบว่าการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันทำให้ผลผลิตของผักคะน้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 14) การจัดการปุ๋ยโดยใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งผสมปุ๋ยหมัก (AG-5) อัตราส่วน 1:1 อัตรา 3 ตันต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 16-16-16 อัตรา 50 กก.ต่อไร่ (กรรมวิธีที่ 6 และ2) ส่งผลให้มีผลผลิตสูงสุด โดยมีน้ำหนักสดเท่ากับ 42.80 และ 39.56 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากการจัดการปุ๋ยในกรรมวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การจัดการแบบไม่มีการใส่ปุ๋ยและการจัดการปุ๋ยโดยใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งอัตรา 3 ตันต่อไร่ (กรรมวิธีที่ 1และ4) ส่งผลให้มีผลผลิตต่ำสุด ซึ่งมีน้ำหนักสดเพียง 18.63 และ 24.83 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และน้ำหนักแห้งของผักคะน้ามีค่าสูงสุด ในการจัดการปุ๋ยโดยการใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 16-16-16 อัตรา 50 กก.ต่อไร่ (กรรมวิธีที่ 2) เท่ากับ 3.55 กรัมต่อต้น ในขณะที่การจัดการแบบไม่มีการใส่ปุ๋ย (กรรมวิธีที่ 1) ส่งผลให้มีน้ำหนักแห้งต่ำสุด เท่ากับ 2.21 กรัม/ต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในส่วนเหนือดิน: สำหรับผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก (N, P และ K) ของผักคะน้าที่มีการจัดการปุ๋ยตามกรรมวิธีทดลอง พบว่าการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักของผักคะน้า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การจัดการปุ๋ยโดยใส่เคมีเกรด 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (กรรมวิธีที่ 2) ส่งผลให้มีความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก N, P และK สูงสุดเท่ากับ 4.03, 0.09 และ 3.41% ตามลำดับ สำหรับความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก N, P และ K ของผักคะน้า โดยการจัดการปุ๋ยโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งผสมปุ๋ยหมัก (AG-5) อัตราส่วน 1:1 อัตรา 3 ตันต่อไร่ (กรรมวิธี ที่ 6) ซึ่งให้ผลผลิตผักคะน้าใบสูงสุด มีค่าเท่ากับ 3.47, 0.06 และ 2.43 ตามลำดับ (ตารางที่ 15)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 15 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ต่อผลผลิตและความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก (N, P และ K) ของผักคะน้าใบ

กรรมวิธีการทดลอง [2/]	น้ำหนัก (กรัม)		ธาตุอาหารหลักพืช		
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	N (%)	P (%)	K (%)
1. กรรมวิธีควบคุม	18.63[c 1/]	2.21[c]	1.94[f]	0.01[d]	1.60[g]
2. 16-16-16 (50)	39.56[a]	3.55[a]	4.03[a]	0.09[a]	3.41[a]
3. ปุ๋ยหมัก AG-5 * (3)	38.42[ab]	2.29[ab]	4.03[a]	0.06[b]	2.93[b]
4. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง * (3)	24.83[bc]	2.36[c]	3.78[b]	0.01[d]	2.66[c]
5. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง + ปุ๋ยหมัก (1:3) (3)	38.68[ab]	3.27[ab]	2.92[e]	0.04[c]	2.59[d]
6. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง + ปุ๋ยหมัก (1:1) (3)	42.80[a]	2.53[bc]	3.47[d]	0.06[b]	2.43[e]
7. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง + ปุ๋ยหมัก (3:1) (3)	36.88[ab]	2.99[abc]	3.55[c]	0.02[d]	2.35[f]
LSD (0.05)	13.87	0.89	0.06	0.01	0.03
%CV	30.94	23.83	1.31	19.39	1.04

[1/] ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์เดียวกันที่ตามหลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

[2/] 1. กรรมวิธีควบคุม = ดินไม่มีการใส่ปุ๋ย 2. 16-16-16 (50) = ใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 16-16-16 อัตรา 50 ก.ก. ต่อไร่ 3. ปุ๋ยหมัก (3) = ใส่ปุ๋ยหมัก (AG-5) อัตรา 3 ตันต่อไร่ 4. ปุ๋ยอินทร์ครั่ง (3) = ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง อัตรา 3 ตัน ต่อไร่ 5. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง + ปุ๋ยหมัก (1:3) (3) = ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งผสมปุ๋ยหมัก (AG-5) อัตราส่วน 1:3 อัตรา 3 ตันต่อไร่ 6. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง + ปุ๋ยหมัก (1:1) (3) = ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งผสมปุ๋ยหมัก (AG-5) อัตราส่วน 1:1 อัตรา 3 ตันต่อไร่ และ 7. ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง + ปุ๋ยหมัก (3:1) (3) = ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งผสมปุ๋ยหมัก (AG-5) อัตราส่วน 3:1 อัตรา 3 ตันต่อไร่

* หมายเหตุ ปุ๋ยหมัก AG-5 เป็นปุ๋ยหมักที่ผลิตโดย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

* หมายเหตุ ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตครั่งเม็ดด้วยการอบแห้งในตู้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 ºC

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 21 ผลของการทดลองใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อผลผลิตของผักคะน้า

จากภาพที่ 21 ได้นำผักคะน้าที่ปลูกในแต่ละกรรมวิธีทดลองมาแสดงให้เห็นความแตกต่างของผลผลิตผักคะน้าใบ โดยมีภาพของผักคะน้าใบที่ยังอยู่ในกระถางทดลองและหลังทำการเก็บเกี่ยว ซึ่งจะเห็นได้ว่าผักคะน้าใบที่ปลูกด้วยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งผสมปุ๋ยหมัก (AG-5) อัตราส่วน 1:1 อัตรา 3 ตันต่อไร่ (กรรมวิธีที่ 6; T6R3) มีผลผลิตดีที่สุด เมื่อเทียบกับการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันตามแต่ละกรรมวิธีทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 กรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง

จากการศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ซึ่งต้องเป็นกรรมวิธีที่สะดวกรวดเร็วและประหยัดพลังงาน รวมทั้งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการผลิตพืชได้

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงสมบติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ผลิตด้วยกรรมวิธีอบแห้ง

จากการอบแห้งตะกอนครั่งเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่าง 35-65ºC ได้ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในปริมาณ total N และ NH_4^+-N การใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า 55°C หรือต่ำกว่า 45°C ในการอบแห้งส่งผลให้ปริมาณ total N ลดลงเหลือเพียง 2.51% หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 30 จากปริมาณเริ่มต้นก่อนอบแห้ง ซึ่งการลดลงของปริมาณ total N เป็นผลโดยตรงจากการลดลงของ NH_4^+-N โดยปริมาณ NH_4^+-N มีแนวโน้มลดลงต่ำสุดเหลือเพียง 1912.17mg/kg หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 70 เมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นก่อนการอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำต้องใช้ระยะเวลาในการอบนานขึ้น ทำให้มีโอกาสสูญเสียเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจมีผลมาจากการสูญเสียไนโตรเจนในรูปแก๊ส NH_3 โดยกระบวนการ ammonia volatilization ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีปัจจัยคืออุณหภูมิและความชื้นสูง (อรวรรณ, 2551) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Vlek and Stumpe (1978) พบว่าการระเหยของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 0-46ºC การระเหยของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นโดยประมาณ 0.25% ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1ºC การเพิ่มอุณหภูมิ มีผลทำให้อัตราส่วนของแอมโมเนียม เปลี่ยนรูปไปเป็นแก๊สแอมโมเนียเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งตะกอนครั่งเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์นั้น ควรอยู่ระหว่าง 45-55ºC เนื่องจากการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว ส่งผลน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง แต่อย่างไรก็ตาม การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่งด้วยกรรมวิธีอบแห้งทอุณหภูมิ 55ºC เป็นกรรมวิธีที่เหมาะสม ซึ่งใช้ระยะเวลาในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้อยกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 45

5.1.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ผลิตด้วยกรรมวิธีการหมัก

เมื่อทำการหมักตะกอนครั่งเปียกเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์พบว่ากรรมวิธีการหมักได้ส่งผลดีต่อสมบัติทางเคมีของตะกอนครั่ง ปริมาณคุณสมบัติทางเคมีบางประการที่ได้ทำการวิเคราะห์ ค่อนข้างเพิ่มสูงขึ้น ได้แก่ ค่า pH, ปริมาณอินทรียวัตถุ และ ไนโตรเจนทั้งหมด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 1.14, 23.17 และ 11.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ถึงแม้ว่าเมื่อเริ่มการหมักเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ จะส่งผลให้ค่า pH แนวโน้มลดลง เท่ากับ 6.57 เมื่อเทียบกับค่า pH ก่อนการหมักที่มีค่า pH สูงถึง 6.96 การลดลงของค่า pH มีผลจากการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียไอออน (NH_4^+) ไปเป็นแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) ในกระบวนการ ammonia volatilization ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Meunchang *et al.,* (2004) ที่ทำการศึกษาระยะเวลาและการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการย่อยสลายปุ๋ยหมักจาก filter cake พบว่าค่า pH ของปุ๋ยหมักมีค่าลดลง จากประมาณ 7.7 ไปอยู่ที่ 6.8 ในระหว่าง 40 วันแรกของการย่อยสลาย ซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสลายและการแปรสภาพของวัสดุหมักโดยจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามเมื่อทำการหมักเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ คุณสมบัติของตะกอนครั่งมีแนวโน้มดีขึ้นในทุกๆคุณสมบัติ เมื่อเทียบกับสมบัติทางเคมีของตะกอนครั่งก่อนทำการหมัก

5.1.3 การเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในระหว่างการเก็บรักษา

จากการนำปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ผ่านการอบแห้งในตู้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 ºC ซึ่งมีปริมาณความชื้นประมาณ 10 ± 1% มาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25-30ºC) เป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่าระยะการเก็บรักษาส่งผลให้ปริมาณค่า pH และ NH_4^+-N มีแนวโน้มลดลง การลดลงของค่า pH เกิดจากกระบวนการหายใจของจุลินทรีย์และสารประกอบที่ได้จากปฏิกิริยาดังกล่าว ได้แก่ กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ และ CO_2 จึงส่งผลให้มีการลดลงของค่า pH ดังกล่าวได้ จากการทดลองของ Tognetti *et al.,* (2006) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการย่อยสลายของขยะของเสีย เพื่อดูถึงปริมาณการปลดปล่อย CO_2 พบว่าปริมาณการปลดปล่อย CO_2 ในช่วง 50 วันแรกปริมาณปริมาณการปลดปล่อย CO_2 มีค่อนข้างสูง ส่งผลให้ปริมาณค่า pH ลดลง อย่างไรก็ตามค่า pH ของปุ๋ยอินทรีย์ที่เหมาะสมจะมีค่าอยู่ระหว่าง 5.5-8.5 (ธิติพงษ์, 2548) สำหรับปริมาณ NH_4^+-N ที่มีแนวโน้มลดลง มีผลจากปริมาณความชื้นเพียงเล็กน้อยขณะการเก็บรักษา ที่ทำให้เกิดการย่อยสลายแบบไม่มีอากาศ จะเกิดการสูญเสียธาตุอาหารในรูป CO_2 และ NH_3 ซึ่งทำให้ปริมาณไนโตรเจนลดลงได้ (มุกดา, 2543) อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในระยะเวลาที่นานมากกว่า 6 เดือน ควรมีการผสมปูนโดโลไมท์ลงไปในปุ๋ยอินทรีย์ครั่งด้วย เพื่อลดความเป็นกรดของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่เกิดขึ้นได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.2 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนในดินและปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์ในดิน

จากการศึกษาการแปรสภาพของสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนและชีวมวลจุลินทรีย์ในดินต่อปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง โดยทำการบ่มดินตามกรรมวิธีการทดลองเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนในดินและชีวมวลจุลินทรีย์ในดิน ดังนี้

5.2.1 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพของแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N) ในดิน

ภายหลังการบ่มดินตามกรรมวิธีทดลองเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ NH_4^+-N ที่เพิ่มขึ้น ในทุกกรรมวิธี ซึ่งเกิดจากการ N mineralization อินทรีย์ในโตรเจนสามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ในอัตรา 3 ตัน/ไร่ (กรรมวิธีที่ 5) มีปริมาณ NH_4^+-N สูงสุด และหลังจากบ่มดินเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ NH_4^+-N ลดลงในทุกกรรมวิธี การลดลงดังกล่าวเป็นผลมาจากการเกิดกระบวนการ immobilization ของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Armstrong (1997) ได้ศึกษาถึงผลของการย่อยสลายของใบโอ๊กในการบ่มดิน พบว่าปริมาณของ NH_4^+-N เริ่มต้นมีค่าสูง คือ 60.4 μM เมื่อสิ้นสุดการNH_4^+-N ในดินที่เติมปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ก็ยังมีการเพิ่มปริมาณ NH_4^+-N เพิ่มขึ้นมากกว่าการเติมปุ๋ยหมัก AG-5 โดยจะเห็นได้ว่า การเติมปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง เพียงอัตรา 1 ตัน/ไร่ ก็ส่งให้มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นกว่า การเติมปุ๋ยหมัก AG-5 ในอัตราที่สูงกว่าถึง 2 ตัน/ไร่ ปริมาณการเปลี่ยนแปลง NH_4^+-N ดังกล่าว เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่ในปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างที่ย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ ซึ่งต่างจากปุ๋ยหมัก AG-5 ที่ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนยากต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทดลอง 2 สัปดาห์ พบว่าปริมาณ NH_4^+-N มีค่าลดลงคือ 25.6 μM อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของ

5.2.2 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการแปรสภาพของไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^--N) ในดิน

ภายหลังการบ่มดินตามกรรมวิธีทดลอง พบว่า มีการปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ NO_3^--N จากการบ่มดิน เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ เกิดจากการ N mineralization การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตรา 2 ตัน/ไร่ (กรรมวิธีที่ 5) ทำให้มีปริมาณไนเตรทไนโตรเจน NO_3^--N สูงสุด โดยมีปริมาณ NO_3^--N สูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งจากทุกกรรมวิธี เกิดจากกระบวนการ nitrification และหลังจากบ่มดินเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ พบว่าปริมาณ NO_3^--N มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกกรรมวิธี โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ในอัตรา 3 ตัน/ไร่ (กรรมวิธีที่ 5) มีผลเพิ่มขึ้นของ NO_3^--N สูงสุด ปริมาณของ NO_3^--N มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์ที่ 3-4 การลดลงดังกล่าว สอดคล้องกับการทดลองของ Armstrong (1997)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้ศึกษาถึงผลของการย่อยสลายของใบโอ๊กในการบ่มดิน พบว่าปริมาณของ NO_3^--N เริ่มต้นมีค่าน้อย คือ 25.3 mg/kg เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 2 สัปดาห์ พบว่าปริมาณ NO_3^--N มีค่าสูงขึ้นคือ 202.2 mg/kg อย่างไรก็ตามอย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของ NH_4^+-N ในดินที่เติมปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ก็ยังมีการเพิ่มปริมาณ NO_3^--N เพิ่มขึ้น มากกว่าการเติมปุ๋ยหมัก AG-5 โดยจะเห็นได้ว่า การเติมปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตรา 2 ตัน/ไร่ ก็ส่งให้มีปริมาณเพิ่มสูงเท่ากับ การเติมปุ๋ยหมัก AG-5 ในอัตราที่สูงกว่าถึง 2 ตัน/ไร่ ปริมาณการเปลี่ยนแปลง NH_4^+-N ดังกล่าว เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ครั่งเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างที่ย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ ซึ่งต่างจากปุ๋ยหมัก AG-5 ที่ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนยากต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์

5.2.3 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอน (Microbial Biomass Carbon: MBC) ในดิน

ภายหลังการบ่มดินตามกรรมวิธีทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ในอัตรา 3 ตัน/ไร่ (กรรมวิธีที่ 5) เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ทำให้มีปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอนในดิน (microbial biomass carbon: MBC) โดยมีปริมาณ MBC สูงสุด และหลังจากบ่มดินเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าปริมาณ MBC เพิ่มขึ้นในทุกกรรมวิธี การเพิ่มขึ้นของปริมาณ MBC เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ดังการศึกษาของ Kaewpradit *et al.,* (2007) ที่พบว่าเมื่อใส่สารอินทรีย์ผสมกับฟางข้าวและถั่วลิสงในอัตรา 1 : 0.5 (5 และ 2.5 t ha^{-1}) และ อัตรา 1:1 (5 และ 5 tha^{-1} ตามลำดับ) พบว่า MBN จากกรรมวิธีที่ใส่สารอินทรีย์ผสมในอัตรา 1:1 มีปริมาณมากกว่าการใส่สารอินทรีย์ผสมในอัตรา 1:0.5 ตลอดช่วงการศึกษา การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตรา 3 ตัน/ไร่ (กรรมวิธีที่ 5) ส่งผลให้ชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอนเพิ่มขึ้นสูงสุดเช่นเดียวกับเมื่อเริ่มต้นบ่มดินในสัปดาห์แรก และการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ MBC ในดินที่เติมปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ได้เพิ่มสูงขึ้น มากกว่าการเต็มปุ๋ยหมัก AG-5 โดยจะเห็นได้ว่า การเติมปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง เพียงอัตรา 1 ตัน/ไร่ ก็ส่งให้มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นกว่าการเติมปุ๋ยหมัก AG-5 ในอัตราที่สูงกว่าถึง 2 ตัน/ไร่ ปริมาณการเปลี่ยนแปลง MBC ดังกล่าว เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่ในปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างที่ย่อยง่ายอย่างโปรตีน เนื่องจากตะกอนครั่งมีส่วนผสมส่วนใหญ่เป็นเลือดของตัวครั่ง ทำให้การย่อยสลายสารประกอบดังกล่าวง่ายต่อการทำลายพันธะโดยจุลินทรีย์ อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) แคบลง ซึ่งต่างจากปุ๋ยหมัก AG-5 ที่ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเป็น cellulose และ lignins ซึ่งเป็นสายประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนยากต่อการทำลายพันธะโดยจุลินทรีย์ การเกิดกระบวนการชีวสังเคราะห์ควบคู่กับการเกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ ส่วนใหญ่สารอาหารที่ทำให้ MBC เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น น้ำตาล จากการศึกษาของ Sorensen *et al.,* (1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่เปรียบเทียบการเกิด MBC จากสารอาหารที่เป็นกลูโคส, ใบซับโคลเวอร์ และ ใบข้าวสาลีด้วย ^{14}C พบว่า $MB^{14}C$ เพิ่มขึ้นสูงสุดจากสมการ และเมื่อเปรียบเทียบสารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกัน พบว่าใบซับโคลเวอร์ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายมีปริมาณ $MB^{14}C$ มากกว่าใบข้าวสาลี

5.2.4 ผลของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งต่อการเปลี่ยนแปลงของชีวมวลจุลินทรีย์ไนโตรเจน (Microbial Biomass Narbon: MBN) ในดิน

ภาพหลังการบ่มดินตามกรรมวิธีการทดลองเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตรา 3 ตัน/ไร่ (กรรมวิธีที่ 5) ทำให้มีปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์ไนโตรเจนในดิน (Microbial Biomass Nitrogen : MBN) โดยมีปริมาณ MBN สูงสุด และหลังจากบ่มดินเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าปริมาณ MBN เพิ่มขึ้นในทุกกรรมวิธี การเพิ่มขึ้นของปริมาณ MBN เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ซึ่งเกิดจากกระบวนการชีวสังเคราะห์ ซึ่งเป็นการนำเอาอนินทรีย์ไนโตรเจนเข้าไปสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนหรือโปรตีนของเซลล์จุลินทรีย์ (Coyne, 1999) ดังนั้นถ้าดินมีอินทรีย์ไนโตรเจนมาก จุลินทรีย์ก็สามารถเข้าทำการย่อยสลายและเปลี่ยนรูปให้เป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน และ/หรือเกิดอินทรีย์ไนโตรเจนในรูป MBN ได้ ดังการศึกษาของ Vityakon *et al*., (2000) ที่ศึกษา MBN จากการใส่สารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่างกันในอัตรา 10 t ha^{-1} ทั้งในระบบไร่และระบบนา พบว่า หลังจากการใส่สารอินทรีย์เป็นเวลา 2, 4, 8, 16, 26 และ 52 สัปดาห์ ทั้งสารอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงและสารอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่ำ สามารถทำให้ MBN ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าเมื่อใส่สารอินทรีย์ที่ผสมกับระหว่างฟางข้าวและซากถั่วลิสงในอัตรา 20 t ha^{-1} แสดงให้เห็นว่าเมื่อใส่สารอินทรีย์ในอัตราสูงขึ้นมีผลทำให้ MBN เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ MBN ในดินที่เติมปุ๋ยอินทรีย์ครั่งได้เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการเติมปุ๋ยหมัก AG-5 โดยจะเห็นได้ว่าการเติมปุ๋ยอินทรีย์ครั่งเพียงอัตรา 1 ตัน/ไร่ ก็ส่งให้มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นกว่า การเติมปุ๋ยหมัก AG-5 ในอัตราที่สูงกว่าถึง 2 ตัน/ไร่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลง MBN ดังกล่าวเกิดจากสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่ในปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างที่ย่อยง่ายอย่างโปรตีน เนื่องจากตะกอนครั่งมีส่วนผสมส่วนใหญ่เป็นเลือดของตัวครั่ง ทำให้การย่อยสลายสารประกอบดังกล่าวง่ายต่อการทำลายพันธะโดยจุลินทรีย์ อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) แคบลง ซึ่งต่างจากปุ๋ยหมัก AG-5 ที่ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเป็น cellulose และ lignins ซึ่งเป็นสายประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนยากต่อการทำลายพันธะ

5.3 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ต่อผลผลิตของผักคะน้า

เมื่อนำปุ๋ยอินทรีย์ครั่งไปใช้กับการผลิตผักคะน้า โดยมีการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกัน พบว่าผลผลิตของผักคะน้าที่มีการจัดการปุ๋ยโดยใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งผสมปุ๋ยหมัก (AG-5) อัตราส่วน 1:1 อัตรา

3 ตันต่อไร่ มีผลผลิตของผักคะน้าสูงสุด ถึงแม้จะมีความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก (N, P และ K) ในปริมาณที่ต่ำกว่าการจัดการปุ๋ยโดยใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยหมัก (AG-5) ในอัตรา 3 ตันต่อไร่ สำหรับการใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ครั้ง อัตรา 3 ตันต่อไร่ ได้ส่งผลให้ผักคะน้ามีผลผลิตต่ำ โดยมีผลผลิตใกล้เคียงกับการจัดการที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย แต่อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั้งผสมปุ๋ยหมัก อัตราส่วน 3: 1 ในอัตรา 3 ตันต่อไร่ ก็ยังสามารถส่งผลให้มีการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตคะน้าที่ดีได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ พงศ์เทพและคณะ (2540) ที่ได้ศึกษาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากของเหลือใช้จากอุตสาหกรรมปลากระป๋อง พบว่าวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมปลากระป๋อง สามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ปลาในรูปสารละลายที่ผลิตได้ ในอัตรา 50 ลิตรต่อไร่ จะให้ผลการตอบสนองต่อพืชดีเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 16-16-8 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่

สำหรับผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั้งต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก (N, P และ K) ของผักคะน้า จากการทดลองพบว่า การจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันทำให้ผลผลิตของผักคะน้า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การจัดการปุ๋ยโดยใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้มีความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักสูงสุด แต่กลับมีผลผลิตน้อยกว่าการจัดการปุ๋ยโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั้งผสมปุ๋ยหมัก (AG-5) อัตราส่วน 1:1 อัตรา 3 ตันต่อไร่ (กรรมวิธีที่ 6) ซึ่งให้ผลผลิตผักคะน้าสูงสุด

ข้อมูลจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า ปุ๋ยอินทรีย์ครั้งที่ผลิตได้จากการอบแห้งมีศักยภาพที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงบำรุงดินได้ดี เช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยหมักธรรมดา แต่มีข้อได้เปรียบคือสามารถใช้ในปริมาณที่น้อยกว่า การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั้งอย่างเดียวในอัตราที่สูงอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อพืชที่ปลูกได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเป็นกรดของปุ๋ยอินทรีย์ครั้ง หรืออาจเนื่องมาจากปุ๋ยอินทรีย์ครั้งเกิดการย่อยสลายตัว เมื่อใส่ลงไปในดินแล้วผลิตสารที่มีผลกระทบที่ขัดขวางการเจริญเติบโตของพืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการใช้ของเสียจากกระบวนการผลิตครั่งเม็ดเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งในการทดลองแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้ การทดลองที่ 1 เป็นการ ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกรรมวิธีอบแห้งและกรรมวิธีการหมักตะกอนครั่งต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง และศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง การทดลองที่สอง เป็นการศึกษาผลของการแปรสภาพของธาตุไนโตรเจน (N mineralization) และปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์ (microbial biomass) ในดินต่อปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง และ การทดลองที่สาม เป็นการศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้า จากผลการทดลองสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

6.1 วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตครั่งเม็ด มีศักยภาพเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่งด้วยกรรมวิธีอบแห้งเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็ว โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงระหว่าง 45-55ºC การใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า 55ºC หรือต่ำกว่า 45ºC ในการอบแห้งจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ครั่งได้ การอบแห้งตะกอนครั่งเปียก ด้วยอุณหภูมิที่ 55°C จึงเป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของตะกอนครั่งเพียงเล็กน้อย ทั้งยังเป็นกรรมวิธีที่ประหยัดพลังงานและใช้ระยะเวลาน้อยในการอบแห้งกว่าการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ครั่งด้วยกรรมวิธีการหมัก ที่ถึงแม้จะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำไปผลิตพืชมากกว่าการอบแห้งก็ตาม สำหรับระยะในการเก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ไม่มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ย ยกเว้นค่า pH ของปุ๋ยที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งมีค่าลดลงต่ำสุด เท่ากับ 4.67 หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษา

6.2 เมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งลงไปในดิน พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งจะช่วยเพิ่มการแปรสภาพสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (N mineralization) และเพิ่มปริมาณมวลชีวภาพ (microbial biomass) ในดินได้ดีเช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยหมักธรรมดา และนอกจากนั้นปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจน (NH_4^+-N)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และ NO_3^--N) และชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจน (MBC และ MBN)จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราที่เพิ่มขึ้นของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ผลิตได้จากการอบแห้ง มีศักยภาพที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงบำรุงดินได้ดีเช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยหมักธรรมดา แต่มีข้อได้เปรียบคือสามารถใช้ในปริมาณที่น้อยกว่า โดยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งในอัตรา 1 ตัน/ไร่ ทำให้เกิดการแปรสภาพของไนโตรเจน และเพิ่มปริมาณมวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนในดิน เทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยหมักธรรมดา (AG-5) ในอัตรา 2 ตัน/ไร่

6.3 เมื่อนำปุ๋ยอินทรีย์ครั่งไปทดสอบในการปลูกผักคะน้า พบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งผสมกับปุ๋ยหมัก (AG-5) อัตราส่วน 1:1 ในอัตรา 3 ตันต่อไร่ ทำให้ผักคะน้าเจริญเติบโตได้ดีเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมีเกรด 16-16-16 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ และการใช้ปุ๋ยหมัก (AG-5) อัตรา 3 ตันต่อไร่ อย่างไรก็ตามหากใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งอย่างเดียวในอัตรา 3 ตันต่อไร่ อาจจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชที่ปลูกได้ควรใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั่งร่วมกับปุ๋ยหมักธรรมดา โดยผสมปุ๋ยอินทรีย์ครั่งลงไปในปุ๋ยหมักในอัตราประมาณ 25-50% จะทำให้พืชตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยได้ดีที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2541. คู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ย. กลุ่มงานวิเคราะห์ปุ๋ย กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2535. การเพาะเลี้ยงครั่ง. กรมส่งเสริมการเกษตร. 32 หน้า.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีศาสตร์. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์ สุริยา สาสนรักกิจ และ สรสิทธิ์ วัชโรทยาน. 2539. อิทธิพลของ filter cake ต่อการเจริญเติบโต น้ำหนักแห้ง และปริมาณฟอสฟอรัสในข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด. วารสารดินและปุ๋ย 20 : 119-132.

จักรกฤษณ์ หอมจันทร์. 2533. จุลชีววิทยาทางดิน: ฉบับจุลภาค-รวมแก่นวิชา. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 199 หน้า.

จักรกฤษณ์ หอมจันทร์และนิวัต เหลืองชันศรี. 2541. คู่มือปฏิบัติการจุลชีววิทยาทางดิน. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 98 หน้า.

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2524. พจนานุกรมเคมี. บจก. โอ เอส พริ้นติ้งเฮ้าซ์. 486 หน้า.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2544. สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 230 หน้า

ธงชัย มาลา. 2550. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำหนักพิมพ์มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์. หน้า 226-245

ธิติพงษ์. 2548. ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่องมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2458. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://law.longdo.com/law/376/sub25312#_ftn1 (13 มีนาคม 2557)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นิตยา ดังไธสง. 2545. อิทธิพลของอินทรียวัตถุที่มีคุณภาพต่างกันต่อการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนและการสะสมอินทรียวัตถุในดินนาเนื้อทรายของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาปฐพีศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 129 หน้า.

ประวิทย์ โตวัฒนะ นิภา หลีระพันธ์ สุชน คชาทอง และ ชูสิน วรเดช. 2548. รายงานโครงงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่องโครงการฟื้นฟูที่นากุ้งร้างเพื่อปลูกพืชเศรษฐกิจ. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ปรีดา พากเพียร เกศรัชฎา กลั่นกรอง ประพิศ แสงทอง และ พิชิต พงศ์กุล. 2547. แนวทางควบคุมและการบำบัดสารโลหะหนักที่ตกค้างในดิน. วารสารดินและปุ๋ย 26 : 62-68.

ปัทมา วิทยากร. 2547. ความอุดมสมบูรณ์ของดินขั้นสูง. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 9-55.

ปิยะ ดวงพัตรา. 2553. สารปรับปรุงดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 185-228.

พงศ์เทพ อันตะริกานนท์ ประไพศรี สมใจ สุริยา สาสนรักกิจ, วัชรินทร์ รัตรนพันธ์ และ พัชรี วีระนนท์. 2540. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากขอเหลือใช้จากอุตสาหกรรมปลากระป๋อง. รายงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค้าของเหลือใช้ในอุตสาหกรรมปลากระป๋อง. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

พจนีย์ แสงมณี. 2551. ปัจจัยคุณภาพสารอินทรีย์ เนื้อดินและความชื้นที่มีอิทธิพลต่ออินทรียวัตถุในดินและการเปลี่ยนแปลงรูปไนโตรเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 223 หน้า.

พัชรี ธีรจินดาขจร.(2549). หลักและวิธีการวิเคราะห์ดินทางเคมี. ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พิทยากร ลิ่มทองม วรรณดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ เสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์ และ ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์. 2533. ระดับธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมักกับการอนรักษ์ดินและน้ำ.วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ.6 (3) : 72-75

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภัทรวรรณ อาวรณ์ และ ชวาลภาฤทธิ์. ไม่ระบุปีที่พิมพ์. การใช้ตะกอนชีวภาพจากระบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตโอเลฟินส์เป็นวัสดุผลิตปุ๋ยหมักร่วม. การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9. 8 หน้า

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์. หน้า 115-142.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2542. ศัพท์ในวงการปุ๋ย. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 238 หน้า.

วาสนา ยุวดี. 2548. คู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. สำนักวิจัย พัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วิษณุพงค์ เกลี้ยงช่วย ไกรชาติ ตันตระการอาภา ธนาศรี สีหะบุตร สุเทพ ศิลปานันทกุล และ พิศิษฐ์ วัฒนสมบูรณ์. 2552. การผลิตปุ๋ยหมักร่วมจากเศษอาหารและกากของเสียของโรงงานผลิตสารให้ความหวาน. วารสารสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ 7(1): 74-83.

ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2544. การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 141 หน้า.

สมบูรณ์ มั่นความดี จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข สรสิทธิ์ วัชโรทยาน และ Hidenori Wada. 2528. อิทธิพลของอินทรีย์วัสดุเหลือใช้ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในดินนา. วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย์) 19 : 92-99

สมศักดิ์ วังใน. 2524. จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 244 หน้า.

อรพิน โปกุล. 2551. ปุ๋ยอินทรีย์. สาขาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช. หน้า 125-140.

อรวรรณ ฉัตรสีรุ้ง. 2551. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษ์ศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 95-113.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Aggangan, R.T., A.M. O'Connell. J.F. McGrath, and B. Dell. 1999. The effects of Eucalyptus globules Labill. Leaf litter on C and N mineralization in soils from pasture and native forest.

Alexander, M. 1967. Introduction to Soil Microbiology. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp. 248-291

Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. p. 831-871. In A.L. Page, D.E. Baker, Roscoe Ellis, Jr., D.R. Keeney, R.H. Miller, and J.D. Rhoades. (eds.) Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

Armstrong H. 1997. Wastewater irrigation, base saturation and exchange acidity effects on microbial biomass C and N and N-mineralization, nitrification and respiration rates. (Online) Available: http://courses.mbl.edu/SES/data/project/1997/armstrong.pdf

Aulakh, M.S., J.W. Doran, D.T. Walters, A.R. Mosier, and D.D. Francis. 1991. Crop residue type and placement affects on denitrification and mineralization. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 1030-1025. (Online) Available: http://www.ncbi.nim.nih.gov/sites/enterz?cmd

Brady, N. C. and R.R.Well. 2002. The Nature and Properties of Soil. 13 Edition. United States of America. p. 935

Brant, J.B., E.W. Sulzman, and D. Myrold. 2006. Microbial community utilization of added carbon substrates in response to long-term carbon input manipulation. Soil Biology and Biochemistry. 38: 2219-2232.

Brookes, P.C., Landman, A., Pruden, G. and Jenkinson, D.S. (1985) Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct exterction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. Soil Biology and Biochemistry 17, 837-842.

Chanchareonsook, J., Wada, H., Mankarmda, S. and Vacharotayans, S. 1985. Effects of organic waste materials on paddy soil dynamic, pp 8-120. In Vacharotayan S. amd Yoshida T. (eds.). Utilization of organic waste materials in Agriculture.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Coyne, M.S. 1999. Soil microbiology: An exploratory approach. Delmar publishers. New York, U.S.A. 462 p.

Diatloff. E. and Z. Rengel. 2001. Compilation of simple spectrophotometric techniques for the determination of elements in nutrient solutions. Journal of Plant Nutrition. 24(1): 75-86.

Graca, M.A.S. and M. Zimmer. 2005. Leaf toughness, pp. 121-126. In M.A.S. Graca, F. Barlocher, and M.O. Gessner. (eds.), Methods to study litter decomposition: A practical guide. Springer, Dordrecht. Netherlands.

Helmke. P.A. and L. Sparks. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. In Sparks,D. L., A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston and M. E. Summer. SSSA. Book Series: 5 Method of Soil Analysis Part 3 Chemical Method. SSSA. USA. pp. 551-574.

Hornick, S. B., L. J. Sikora, S. B. Sterrett, J. J. Murray, P. D. Millner, W. D. Burge, D. Colacicco, J. F. Parr, R. L. Chaney and G. B. Willson. 1984. Utilization of sewage sludge compost as a soil conditioner and fertilizer for plant growth. Agric. Info. Bull. No. 464. U. S. D. A, Beltsville, Marylind, 32 pp.

Jenkinson, and J.N. Ladd. 1981. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover, pp. 418-417.

Kaewpradit, W., B. Toomsan, P. Vityakon, V. Limpinuntana, P Saenjan, S. Jogloy, A. Patanothai, and G. Cadisch. 2007. Regulating mineral N release and greenhouse gas emissions by mixing groundnut residues and rice straw under field conditions. European. Journal of Soil Science.

Meunchang, S., S. Panichsakpatana, R.W. Weaver. 2004. Co-composting of filter cake and Bagasse; by products from a sugar mill. (Online)

Mostaghimi, S., Matocha, J. E. and Crenshaw, C.C. 1988. Effects of sewage sludge on iron chlorosis and yield of grain sorghum grown on calcareous soils. Journal of plant Nutrition. 11 : 1397-1415.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Muriuki, A. W., L. D. King and R. J. Volk 2001. Nitrogen-15 recovery in soil incubated with potassium nitrate recovery in soil incubated with potassium nitrate and colover residues. America. Journal of Soil Science Society. 65: 1430-1436.

Nelson. D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In Sparks D.L., A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Summers. SSSA. Book Series: 5 Method of Soil Analysis Part 3 Chemical Method. SSSA. USA. pp.1123-1139.

Novozamssky. I., R. van Eck., J. Ch. Van Schouwenburg. and I. Walinga. 1974. Total nitrogen determination in plant material by means of the indophenols blue method. Netherlands. Journal of Agricultural Science. 22: 3-5.

Nunan, N., M.A. Morgan and M. Herlihy. 1998. Ultraviolet Absorbance (280 nm) of compounds released from soil during chloroform fumigation as an estimate of the Biochem. microbial biomass. Journal of Soil Biology. 30(12): pp. 1599-1988

Panichskpatana, S., Sassanrakkit, S. and Yoshida T. 1985. Effects of organic waste materials on the growth and yield of rice, pp 121-198. In Vacharotayan S. amd Yoshida T. (eds.). Utilization of organic waste materials in Agriculture.

Panichskpatana, S., Sassanrakkit, S. and Yoshida T. 1985. Effects of organic waste materials on the growth and yield of rice, pp 121-198. In Vacharotayan S. amd Yoshida T. (eds.). Utilization of organic waste materials in Agriculture.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Paul, E. J. and Clark, F.E. 1996. Soil microbiology and biochemistry. Academic Press. San Diego London Boston New York Syndey Tokyo Toronto. pp. 430

Salisbury, F.B. and C. Ross. 1991. Plant physiology. 4th ed. Wadsworth publishing Co. California. 682p.

Schjonning, P., I.K. Thomsen, P. Moldrup, and B.T. Christensen. 2003. Linking soil microbial activity to water and air-phase contents and diffusivities. America. Journal of Soil Science Society. 67: 156-165.

Sorensen, P., J.N. Ladd, and M. Amato. 1996. Microbial assimilation of 14 C of ground and unground plant materials decomposing in loamy sand and clay. Journal of Soil Biology and Biochemistry 28: 1425-1434.

Syers, J. K. and E. T. Craswell. 1995. Role of soil organic matter in sustainable agricultural systems. Soil organic matter management for sustainable agriculture. Australian Centre for International Agricultural Research Canberra. (ACIAR PROCEEDINGS) No. 56, pp. 7-14.

Tietema, A and W. W. Wedssel.1992. Gross nitrogen transformations in the organic layer of acid forest ecosystems subjected to increased atmospheric nitrogen input. Journal of Soil Biology and Biochemistry 24: 943-950.

Tisdals, S.L. and W.L. Nelson. 1975. Soil fertility and fertilizers. Mac. Millan Publishirs co., Inc. New York. pp. 122-188.

Tognetti. C., M.J. Mazzarion. And F. Laos. 2006. Improving the quality of municipal organic waste compost. Argentina. Journal of Soil Biology and Biochemistry. pp.10.

Vance, E.D., Brookes, P.C. and jenkinson D.S. (1987) An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Journal of Soil Biology and Biochemistry 19, 703-707.

Vanlauwe, O.C. Nwoke, N. Sanginga, and R. Merckx. 1996. Impact of residue quality on the C and N mineralization of leaf and root residues of three agroforestry species. Journal of Plant and Soil. 183: 221-231.

Vityakon, S. Meepech, G. Cadisch. And B. Toomsan. 2000. Soil organic matter and nitrogen transformation mediated by plant residues of different qualities in sandy acid upland and paddy soils. Netherlands. Journal of Agricultural Science. 48: 75-90.

Vlek, P.L.G. and J.M. Stumpe. 1978. Effect of solution chemistry and environmental conditions in ammonia volatilization from aqueous system. Journal of Soil Science. 42: 416-421

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Willson, G. B., J. F. Parr, E. Epstein, P. B. Marsh, R. L. Chaney, D. Colacicco, W. D. Burge, L. J. Sikora, C. F. Tester and S. B. Hornick. 1980. Manual for composting sewage sludge by the Beltsville Aerated Pile Method. U. S. D. A/U. S Environmental Protection Agency. EPA-600/8-80-022. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก

การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของดิน

1. ค่าปฏิกิริยาความเป็นกรด - ด่างของดิน (pH ดิน) (Rhoades, 1982)

ชั่งดินจำนวน 10 g ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 ml เติมน้ำกลั่น 20 ml ใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำเป็น 1:2 คนให้เข้ากันโดยคน 3 ครั้ง ห่างกันครั้งละ 5 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จึงนำไปวัด pH โดยใช้ pH-meter

2. ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) ของดิน (เนาวรัตน์, 2527)

ชั่งตัวอย่างดินจำนวน 5 g ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 ml เติมน้ำกลั่น 50 ml ใช้ในอัตราส่วนของดินต่อน้ำเป็น 1:5 คนให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จึงนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC) โดยใช้ conductivity meter

3. อินทรียวัตถุในดิน (Organic matter) (Nelson และ Somners, 1980)

ชั่งตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรง 0.5 ml จำนวน 0.5 g ใส่ erlenmeyer flask 250 ml เติม $K_2Cr_2O_7$ 1 N จำนวน 10 ml โดยใช้ volumetric pipette เขย่า flask เบา ๆ เพื่อให้น้ำยากับตัวอย่างดินผสมเข้ากัน ใส่ H_2SO_4 จำนวน 20 ml (รินกรดใส่ทีละน้อยเพื่อป้องกันการกระเด็นของอนุภาคดิน ควรเติมกรดในตู้ควัน) ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น 100 ml หยด O - phenanthroline ferrous complex ประมาณ 5 - 6 หยด แล้วนำมาไตเตรททันทีกับ standard ferrous sulfate 0.5 N จนปริมาตร ferrous sulfate ที่ใช้ในแต่ละตัวอย่าง end point ของ suspension จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นน้ำตาลแดง หาความเข้มข้นที่แท้จริงของ ferrous sulfate โดยการทำ blank คือการใช้ volumetric pipette 10 ml ดูด $K_2Cr_2O_7$ 1 N จำนวน 10 ml ใส่ erlenmeyer flask 250 ml ใส่ H_2SO_4 จำนวน 20 ml ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น 100 ml นำไปไตเตรทกับ ferrous sulfate โดยใช้ diphenylamine หรือ O - phenanthroline เป็น indicator เช่นเดียวกับตัวอย่าง จนปริมาตร ferrous sulfate ที่ใช้กับ blank end point ของ suspension จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นน้ำตาลแดง แล้วนำมาคำนวณหาความเข้มข้น ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$N1V1 = N2V2$

เมื่อ N1 = ความเข้มข้นของ $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้

V1 = ปริมาตรของ $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้

N2 = ความเข้มข้นของ Fe_2SO_4 ที่ใช้

V2 = ปริมาตรของ Fe_2SO_4 ที่ใช้

$$\text{อินทรียวัตถุ (\%)} = \frac{[10 - (M \times 0.5)] \times 0.672}{W}$$

เมื่อ M = ปริมาตร Fe_2SO_4 ที่ไตเตรทได้ (ml.)

W = น้ำหนักดิน (g.)

4. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (total N) (Nelson และ Somners, 1980)

1. วิธีเตรียมสารเคมี

1.1 เตรียม Potassium sulfate – catalyst mixture ชั่ง K_2SO_4 200 g, $CuSO_4.5H_2O$ 20 g และ Se 2 g ผสมแล้วบดให้เข้ากัน

1.2. เตรียมสารละลาย Sodium hydroxide 10 M ชั่ง NaOH 400 g ละลายและปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 ml ด้วยน้ำกลั่นที่ต้มไล่ CO_2

1.3 สารละลาย Boric acid – indicator ชั่ง H_3BO_3 20 g ใส่ลงไปในน้ำกลั่น 900 ml อุ่นให้ละลาย เทใส่ volumetric flask 1,000 ml เติม mixed indicator (bromcresol green 0.099 g และ methyl red 0.066 g. ใน ethanol 100 ml) จำนวน 20 ml ค่อย ๆ หยด NaOH 0.1 M จนกระทั่งสีของสารละลายเปลี่ยนไปเป็นสีม่วงแดง (pH จะประมาณ 5.0 ซึ่งสามารถทดสอบได้โดยรินสารละลายจำนวน 5 ml ใส่ลงไปในกระบอกตวงขนาด 25 ml แล้วใช้กระปุกน้ำกลั่นฉีดน้ำกลั่นลงไปอีก 5 ml สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีม่วงแดงเป็นสีเขียว เทสารละลายที่ทดสอบคืนลงใน volumetric flask) ปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 ml ด้วยน้ำกลั่น

1.4 Standard hydrochoric acid 0.01 M

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.วิธีการวิเคราะห์

ชั่งดินที่บดและร่อนผ่านตะแกรง 100 mesh (0.14 mm.) 1.00 g ใส่ลงไปใน Kjeldahl flask 100 ml ใส่ K_2SO_4 catalyst 1.1 g เติมกรด H_2SO_4 97 % จำนวน 3 ml หลังจากนั้นวางลงบนเตาย่อย เปิดสวิตช์แล้วปรับอุณหภูมิให้ร้อนอ่อน ๆ จนกระทั่งฟองและการกระเด็นที่เกิดขึ้นใน flask มีน้อยมาก จึงปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นจนกระทั่งเห็นไอกรดกลั่นตัวอยู่แค่ประมาณ 1/3 ของคอ Kjeldahl flask และย่อยจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีดำเป็นสีเขียวหรือฟ้าใส แล้วย่อยต่อไปอีก 5 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งตัวอย่างให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปใน flask ประมาณ 20 ml แกว่งให้เข้ากัน ถ่ายตัวอย่างใส่ขวดกลั่น ใช้น้ำประมาณ 9 ml ล้าง flask แล้วถ่ายใส่ขวดกลั่นอีก 3 ครั้ง

ตวง Boric acid – indicator 5 ml ใส่ใน erlenmeyer flask 125 ml แล้วนำไปใส่ไว้ตรงปลายทางออกของ condenser ของเครื่องกลั่น นำขวดกลั่นที่มีตัวอย่างติดตั้งเข้ากับเครื่องกลั่น เติม NaOH 10 M จำนวน 20 ml แล้วเริ่มกลั่นจนกระทั่งสารละลายใน erlenmeyer flask ที่มี Boric acid – indicator เพิ่มขึ้นมาถึงประมาณ 50 ml (สารละลายที่ได้จากการกลั่นไม่ควรจะมีอุณหภูมิสูงกว่า 25 °C) แล้วล้างปลายของ condenser ด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย นำ erlenmeyer flask ออกจากเครื่องกลั่นแล้วหยุดเครื่องกลั่น (ถ้าหยุดเครื่องกลั่นก่อนนำ erlenmeyer flask ออกจากเครื่องกลั่น สารละลายใน erlenmeyer flask จะถูกดูดกลับเข้าไปในเครื่องกลั่น) ไตเตรทสารละลายใน erlenmeyer flask ด้วย Standard HCl 0.01 M ที่บรรจุใน Microburette จนกระทั่งสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง ทำ blank โดยดำเนินการทุกอย่างเหมือนตัวอย่างดินตั้งแต่เติมกรด เกลือ และ catalyst ย่อย กลั่นและไตเตรทเหมือนตัวอย่างดิน

5. ปริมาณฟอสฟอรัสที่สามารถเป็นประโยชน์ได้ (available P) (Houba et al., 1988)

1. วิธีเตรียมสารเคมี

1.1 เตรียมสารละลาย Bray II ชั่ง NH_4F จำนวน 1.11 g ปรับปริมาตรด้วย HCl 0.1 N (เตรียมได้จาก conc.HCl 8.28 ml นำมาปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml) จนได้ปริมาตรเป็น 1,000 ml ด้วย volumetric flask ขนาด 1,000 ml

1.2 เตรียมสารละลาย Reagent A

ชั่ง Ammonium molybdate จำนวน 12.00 g เติมน้ำกลั่น 250 ml นำไปอุ่นจนกระทั่งละลาย จะได้สารละลาย (a) สำหรับสารละลาย (b) เตรียมได้จากการชั่ง antimony potassium tartrate ($KSbO.C_4H_4O_6$) จำนวน 0.2908 g ละลายในน้ำกลั่น 100 ml จากนั้นผสมสารละลาย (a) และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารละลาย (b) เข้าด้วยกันใน volumetric flask ขนาด 2,000 ml เติม H_2SO_4 5 N (เตรียมได้จาก conc.H_2SO_4 จำนวน 141 ml. หรือ 98% H_2SO_4 จำนวน 136.24 ml แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml) จำนวน 138.89 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นแล้วเก็บไว้ในขวดสีน้ำตาลและนำไปแช่ไว้ในตู้เย็น

1.3 เตรียมสารละลาย Reagent B

ชั่ง Ascorbic acid จำนวน 1.056 g เติมสารละลาย Reagent A จำนวน 200 ml ซึ่ง Reagent B นี้มีอายุการใช้งานไม่เกิน 24 ชั่วโมง

1.4 เตรียมสารละลาย standard curve P ที่มีความเข้มข้น 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 mg/kg

ใช้ volumetric pipette ดูดสารละลาย standard P 100 mg/kg จำนวน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ml ใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 25 ml เติมสารละลาย Reagent B จำนวน 4 ml และเติมสารละลาย Bray II จำนวน 5 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที นำไปอ่านค่าเปอร์เซ็นต์ Transmittance ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 *n*m แล้วบันทึกผล

2. วิธีการวิเคราะห์

ชั่งดิน 2.5 g ใส่ลงใน erlenmeyer flask ขนาด 125 ml ใช้ volumetric pipette ขนาด 25 ml ดูดสารละลาย Bray II เติมลงไปแล้วเขย่าด้วยมือเป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 ดูดสารละลายที่กรองได้จำนวน 1 ml ใส่ใน volumetric flask ขนาด 25 ml เติมสารละลาย Reagent B จำนวน 4 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที นำไปอ่านค่าการส่องผ่านของแสงเช่นเดียวกับ standard curve P ในข้อที่ 4 นำค่าที่อ่านได้มาคำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสจากสมการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$P\ (\%) = \frac{C \times Vf \times Ve \times 100}{10^6 \times Va \times W}$$

เมื่อ C = ความเข้มข้น P ในตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับ Std. curve P (mg/kg)

Vf = ปริมาตรสุดท้ายที่นำมาวิเคราะห์เท่ากับ 25 ml

Ve = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ได้จากการสกัดดินเท่ากับ 25 ml

Va = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์เท่ากับ 25 ml

W = น้ำหนักดินแห้งเท่ากับ 2.5 g

6. ปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) (Helmke และ Sparkes, 1996)

1. วิธีเตรียมสารเคมี

1.1 เตรียมสารละลาย Ammonium acetate (NH_4OAc) 1 N pH 7

ชั่ง NH_4OAc จำนวน 77.08 g ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 ml เติมน้ำกลั่น 800 ml แล้วนำไปวัด pH และปรับ pH ให้เป็น 7 โดยใช้ NH_3-solution หรือ acetic acid แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 ml ด้วยน้ำกลั่น

1.2 เตรียม standard curve ให้มีความเข้มข้นของ K เป็น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 mg/kg

ใช้ volumetric pipette ดูด standard K 5 mg/kg มาจำนวน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ml ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ml เติม NH_4OAc 1 N pH 7 จำนวน 20 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปอ่านด้วยเครื่อง flame photometer

2. วิธีการวิเคราะห์

การหาปริมาณ K ที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) ได้ในดิน

ชั่งตัวอย่างดิน 4 g ใส่ในหลอดเขย่าดิน เติมสารละลาย NH_4OAc 1 N pH 7 จำนวน 40 ml เขย่าเป็นเวลา 30 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 หลังจากนั้นดูดสารละลายที่กรองได้จำนวน 5 ml ใส่ใน volumetric flask ขนาด 25 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปอ่านด้วยเครื่อง flame photometer เช่นเดียวกันกับข้อ 2 บันทึกผลแล้วนำมาคำนวณหาปริมาณ K ที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ดังสมการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$K\ (mg/kg) = \frac{C \times Vf \times Vd}{Va \times W}$$

เมื่อ C = ความเข้มข้น K ในตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับ Std. curve K (mg/kg)

Vf = ปริมาตรสุดท้ายที่นำมาวิเคราะห์เท่ากับ 25 ml

Vd = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างทั้งหมดที่ได้จากการย่อยเท่ากับ 40 ml

Va = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์เท่ากับ 25 ml

W = น้ำหนักดินแห้งเท่ากับ 4 g

7. การหาปริมาณ Exchangeable Ca และ Mg (Suarez, 1996)

1. วิธีเตรียมสารเคมี

1.1 เตรียม standard curve ของ Ca ที่มีความเข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 mg/kg

การดูดสารละลาย standard Ca 100 mg/kg มาจำนวน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ml ตามลำดับใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 100 ml เติม NH_4OAc จำนวน 5 ml ปรับปริมาตรด้วย 0.2% Lanthanum chloride เขย่าแล้วนำไปอ่านด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 422.7 *n*m

1.2 เตรียม standard curve ของ Mg ที่มีความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 mg/kg

ดูดสารละลาย standard Mg 100 mg/kg มาจำนวน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ml ตามลำดับใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 100 ml เติม NH_4OAc จำนวน 5 ml ปรับปริมาตรด้วย 0.2% Lanthanum chloride เขย่าแล้วนำไปอ่านด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 285.2 nm

2. วิธีการวิเคราะห์

การหาปริมาณ Ca และ Mg ที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

ชั่งตัวอย่างดินจำนวน 4 g ใส่ใน centrifuge tube เติมน้ำยาสกัด NH_4OAc จำนวน 40 ml นำไปเขย่าเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 แล้วดูดสารละลายที่กรองได้จำนวน 2 ml ใส่ใน volumetric flask 25 ml ปรับปริมาตรด้วย Lanthanum chloride 0.2% เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปอ่านด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer Ca ที่ความยาวคลื่น 422.7 *n*m และ Mg ที่ความยาวคลื่น 285.2 *n*m บันทึกผลและนำมาคำนวณดังนี้

$$\text{Ca /Mg (mg/kg)} = \frac{C \times Vf \times Vd}{Va \times W}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ C = ความเข้มข้น Ca /Mg ในตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับ Std.curve Ca /Mg (mg/kg)

Vf = ปริมาตรสุดท้ายที่นำมาวิเคราะห์เท่ากับ 25 ml

Vd = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างทั้งหมดที่ได้จากการย่อยเท่ากับ 40 ml

Va = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์เท่ากับ 25 ml

W = น้ำหนักดินแห้งเท่ากับ 4 g.

การวิเคราะห์สมบัติบางประการของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง

1. ค่าปฏิกิริยาความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) (เนาวรัตน์, 2527)

ชั่งปุ๋ยอินทรีย์ครั่งจำนวน 10 g ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 ml เติมน้ำกลั่น 30 ml ใช้ในอัตราส่วนของดินต่อน้ำเป็น 1:5 คนให้เข้ากันโดยคน 3 ครั้ง ห่างกันครั้งละ 10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที จึงนำไปวัด pH โดยใช้ pH-meter

2. ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) (พัชรี, 2549)

ชั่งปุ๋ยอินทรีย์ครั่งจำนวน 5 g ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 ml เติมน้ำกลั่น 50 ml ใช้ในอัตราส่วนของดินต่อน้ำเป็น 1:5 คนให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จึงนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC) โดยใช้ conductivity meter

3. อินทรียวัตถุ (organic matter) (Nelson and Sommers, 1996)

1. เตรียมสารเคมี

1.1 เตรียมสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$ (Oxidizing agent) 1 N

ชั่ง $K_2Cr_2O_7$ (ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 2 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นใน desiccator) 49.0247 g ใส่ใน volumetric flask 1,000 ml เติมน้ำกลั่นประมาณ 500 ml เขย่าและปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml. เขย่าให้เข้ากัน

1.2. เตรียมสารละลาย $FeSO_4$ (Reducing agent) 0.5 N

ชั่ง $FeSO_4.7H_2O$ จำนวน 139.0085 g ใส่ใน volumetric flask 1,000 ml เติมน้ำกลั่นประมาณ 500 ml เขย่าให้ละลายจนหมดแล้วจึงเติม H_2SO_4 20 ml ปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml เขย่าให้เข้ากัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3 เตรียม O – phenanthroline ferrous sulfate (indicator)

ละลาย O – phenanthroline 0.74 g. และ ferrous sulfate 0.35 g. ในน้ำกลั่น 50 ml.

2. วิธีการวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ครั่งที่ร่อนผ่านตะแกรง 0.5 ml จำนวน 0.5 g ใส่ Erlenmeyer flask 250 ml เติม $K_2Cr_2O_7$ 1 N. จำนวน 10 ml โดยใช้ volumetric pipette เขย่า flask เบาๆ เพื่อให้น้ำยากับตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ครั่งผสมเข้ากัน เติม H_2SO_4 จำนวน 10 ml (รินกรดใส่ทีละน้อยเพื่อป้องกันการกระเด็นของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง ควรเติมกรดในตู้ดูดควัน) ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น 100 ml ทิ้งไว้ให้เย็น หยด O-phenanthroline ferrous complex ประมาณ 5-6 หยด แล้วนำไตเตรททันทีกับ standard ferrous sulfate 0.5 N จนปริมาตร ferrous sulfate ที่ใช้ในแต่ละตัวอย่าง end point ของ suspention จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง หาความเข้มข้นที่แท้จริงของ ferrous sulfate โดยการทำ blank คือการใช้ volumetric pipette 10 ml ดูด $K_2Cr_2O_7$ 1 N. จำนวน 10 ml ใส่ Erlenmeyer flask 250 ml ใส่ H_2SO_4 จำนวน 10 ml ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น 100 ml นำไปไตเตรทกับ ferrous sulfate โดยใช้ O-phenanthroline เป็น indicator เช่นเดียวกันกับตัวอย่าง จนปริมาตร ferrous sulfate ที่ใช้กับ blank end point ของ suspention จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง แล้วนำมาคำนวณหาความเข้มข้นดังนี้

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของ $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้

V_1 = ปริมาตรของ $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้

N_2 = ความเข้มข้นของ Fe_2SO_4 ที่ใช้

V_2 = ปริมาตรของ Fe_2SO_4 ที่ใช้

$$\text{อินทรียวัตถุ (\%)} = \frac{[(10 - (M \times 0.5)) \times 0.672]}{W}$$

เมื่อ M = ปริมาณ Fe_2SO_4 ที่ไตเตรทได้ (ml)

W = น้ำหนักดิน (g)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณ ธาตุอาหารหลัก (N, P และ K) ของปุ๋ยอินทรีย์ครั่ง

1. การเตรียมกรดย่อย (Walinga et al., 1989)

ผสม Conc. H_2SO_4 1,000 ml กับ Selenium powder 3.5 g ให้เข้ากัน แล้วนำไปให้ความร้อนบน hotplate ที่อุณหภูมิ 300˚C นานประมาณ 3-4 ชั่วโมง สีของกรดย่อยจะเปลี่ยนจากสีดำเป็นสีเหลืองอ่อนและใส จะได้กรดย่อย เก็บไว้ที่ขวดสีชา

2. การย่อยตัวอย่าง

2.1 นำตัวอย่างชั่ง 0.3xxx g (ชั่ง 4 ตำแหน่ง) บันทึกไว้ใช้คำนวณ ชั่งใส่ลงในหลอดย่อย นำกรดย่อย 100 ml ผสมกับ Salicylic acid 7.2 g (เตรียมก่อนใช้)

2.2 ใส่กรดย่อยที่ผสมแล้ว (ข้อ 2.1) จำนวน 7 ml ต่อ ตัวอย่าง (ข้อ 2.1) แช่ทิ้งไว้ข้ามคืน

2.3 ย่อยตัวอย่างที่แช่ทิ้งไว้ข้ามคืน (ข้อ 2.3) ด้วยอุณหภูมิเริ่มต้น 150 ˚C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนกระทั่งมีอุณหภูมิสูงสุด 350˚ C ตัวอย่างที่เป็นสีดำจะเริ่มเป็นสีเหลืองและใส

2.4 นำตัวอย่างที่ย่อยได้ มาปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ใน volumetric flask 50 ml จากนั้นมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

5. วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) โดยวิธี Colorimetry method (Novozamsky et al., 1974)

1. เตรียมสารเคมี

1.1 10 M NaOH (ละลาย NaOH 200 g ในน้ำกลั่น 500 ml)

1.2 Salicylic acid 110 g ใน 10 M NaOH 105 ml ปรับเป็น 250 ml (เตรียมแล้วใช้ทันที ใช้ผ้าปิดจมูก ทำใน hood)

1.3 Na_2HPO_4 buffer pH 12.3 (ชั่ง Na_2HPO_4 26.7 g ในน้ำกลั่น เติม 40% NaOH 10 ml ปรับ pH ให้เป็น 12.3 ปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 2 L. ใน volumetric flask

1.4 4% EDTA (EDTA 4 g ในน้ำกลั่น 100 ml)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1.5 Sodium Hypochlorite 1 M ใน 0.1 M NaOH (Sodium Hypochlorite 10% จำนวน 258.66 ml.) เติม 10 M NaOH 5 ml ปรับปริมาตรให้เป็น 500 ใน volumetric flask (นำมาเจือจาง 20 ml ในน้ำ 100 ml) (เตรียมก่อนใช้งาน)

1.6 Sodium Nitroprusside 50 mg (Sodium Nitroprusside 0.05 g ในน้ำ 100 ml) (เตรียมก่อนใช้งาน)

1.7 สารละลายมาตรฐาน $(NH_4)_2SO_4$ (ละลาย $(NH_4)_2SO_4$ 5.897 g ในน้ำ 1000 ml) ใน volumetric flask

2. วิธีการวิเคราะห์

2.1 เจือจางสารละลายมาตรฐาน $(NH_4)_2SO_4$ ให้มีความเข้มข้น 1.0, 2.5, 5.5, 7.5, 10.0, 12.0 และ 15.0 mg/kg ด้วยน้ำกลั่นในหลอดทดลอง

2.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานและสารละลายที่ได้จากการย่อยปุ๋ยอินทรีย์ครั่งลงในหลอดทดลอง 0.2 ml

2.3 เติมสารละลาย

Solution I 3 ml: [(1.2) 50 ml + (1.6) 100 ml + (1.4) 5 ml] เขย่า

Solution I 5 ml: [(1.3) 200 ml + (1.5) 50 ml] เขย่า

2.4 ผสมสารละลายให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์นาน 2 ชั่วโมง

2.5 อ่านค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับสารละลายมาตรฐานและคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างจากสมการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\text{Total N (mg/kg)} = \frac{C \times V}{W}$$

เมื่อ C : ความเข้มข้นของ N ในตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับ Std.Curve - N (mg/kg)

V : ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างทั้งหมดที่ได้จากการย่อย (ml)

W : น้ำหนักตัวอย่างพืชที่ใช้วิเคราะห์ (g)

6. การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P) (ศรีสม, 2544)

1. เตรียมสารเคมี

1.1 กรดย่อย ใช้กรดย่อยเดียวกับการย่อยเพื่อหาไนโตรเจน

1.2 สาร develop สี vanadate reagent (mixed reagent)

1.2.1 สารละลาย ammonium vanadate 1.25 g ในน้ำกลั่นอุ่น 200 ml เติม HNO_3 ลงไป 153.42 ml

1.1.2 ละลาย Ammonium molybdate tetrahydrate 25 g ในน้ำกลั่น

1.1.3 ละลายสารละลายจากข้อ 2.2.1 และ 2.2.2 เข้าด้วยกัน ปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml เก็บไว้ในขวดสีชา และเก็บไว้ในตู้เย็นหากไม่ใช้ทันที

2.3. เตรียม Standard phosphorus 100 mg/kg

ชั่ง KH_2PO_4 0.4390 g. เติม HNO_3 conc. 5 ml. ปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml. ด้วยน้ำกลั่น

2. วิธีการวิเคราะห์

2.1 ทำ standard set โดยให้มีความเข้มข้น 0, 4, 8, 12, 16 และ 20 mg/kg โดยใช้ volumetric pipette ดูด standard P 100 mg/kg มา 1, 2, 3, 4 และ 5 ml เติม mixed reagent 5 ml และกรดย่อยที่เจือจาง 7:100 ml มา 5 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 25 ml นำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 470 *n*m แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับค่าที่อ่านได้โดยใช้กราฟ (standard curve)

2.2 ดูดสารละลายตัวอย่างที่ย่อยได้มา 5 ml เติม mixed reagent 5 ml เติมน้ำกลั่นแล้วตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ให้เกิดสี ถ้าไม่เกิดสีให้เติมตัวอย่างเพิ่มลงไปอีก นำไปวัดความเข้มข้นของสีที่เกิดขึ้นเหมือนกับข้อ 2.1 เทียบค่าความเข้มข้นของตัวอย่างกับ standard curve แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่าง จากสมการ

$$\text{Total P (\%)} = \frac{C \times Vf \times Vd \times 100}{10^6 \times Va \times W}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ C = ความเข้มข้น P ในตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับ standard curve – P (mg/kg)

Vf = ปริมาตรสุดท้ายที่นำมาวิเคราะห์ (ml)

Vd = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างทั้งหมดที่ได้จากการย่อย (ml)

Va = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (ml)

W = น้ำหนักตัวอย่างพืชที่ใช้วิเคราะห์ (g)

7. การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total K) (Helmke and Sparke, 1996)

1. การเตรียมสาร

1.1 standard K 1,000 mg/kg

ละลาย KCl บริสุทธิ์ (อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ºC เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) จำนวน 1.9067 g ในน้ำกลั่น เติมกรด HNO_3 12 ml แล้วปรับปริมาตรใน volumetric flask ด้วยน้ำกลั่นเป็น 1,000 ml

1.2 standard K 100 mg/kg

ดูด standard K 1,000 mg/kg จำนวน 10 ml โดยใช้ volumetric pipette ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ml. แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

1.3 การเตรียม standard curve ให้มีความเข้มข้นของ K เป็น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 mg/kg

ใช้ volumetric pipette ดูด standard K 100 mg/kg มาจำนวน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ml ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากันแล้วอ่านค่าด้วยเครื่อง Flame photometer เหมือนกับ standard curve แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณ K

1.4. ดูดสารละลายตัวอย่างที่ย่อยได้มา 1 ml ใส่ใน volumetric flask ขนาด 25 หรือ 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น นำไปอ่านค่าด้วยเครื่อง Flame photometer และคำนวณหาปริมาณ K ดังสมการ

$$\text{Total K (\%)} = \frac{C \times Vf \times Vd \times 100}{Va \times W}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ C = ความเข้มข้น K ในตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับ standard curve – K (mg/kg)

Vf = ปริมาตรสุดท้ายที่นำมาวิเคราะห์ (ml)

Vd = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างทั้งหมดที่ได้จากการย่อย (ml)

Va = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (ml)

W = น้ำหนักตัวอย่างพืชที่ใช้วิเคราะห์ (g)

8. การวิเคราะห์อนินทรีย์ไนโตรเจน (Total inorganic N) (Mulvaney, 1996)

อนินทรีย์ไนโตรเจน มีอยู่ในดินด้วยกัน 2 รูป คือ แอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N) และไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^--N) ซึ่งมีการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

1. เตรียมสารละลาย KCl 2 N

ชั่ง KCl จำนวน 149.2 g ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 ml. เติมน้ำกลั่น 300 ml. ละลาย KCl ให้หมด ใส่ volumetric flask ขนาด 1,000 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2. การสกัดตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างจำนวน 10 g ใส่ในขวดพลาสติกขนาด 100 ml เติม KCl 2 N จำนวน 50 ml ปิดจุก เขย่าเป็นเวลา 30 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และนำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ NH_4^+-N และ NO_3^- -N ต่อไป

9. วิธีวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N) โดยวิธี Colorimetry method (Novozamsky et al., 1974)

1. เตรียมสารเคมี

1.1 10 M NaOH (ละลาย NaOH 200 g ในน้ำกลั่น 500 ml)

1.2 Salicylic acid 110 g ใน 10 M NaOH 105 ml ปรับเป็น 250 ml (เตรียมแล้วใช้ทันที ใช้ผ้าปิดจมูก ทำใน hood)

1.3 Na_2HPO_4 buffer pH 12.3 (ชั่ง Na_2HPO_4 26.7 g ในน้ำกลั่น เติม 40% NaOH 10 ml. ปรับ pH ให้เป็น 12.3) ปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 2 L ใน volumetric flask

1.4 4% EDTA (EDTA 4 g ในน้ำกลั่น 100 ml)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.5 Sodium Hypochlorite 1 M ใน 0.1 M NaOH (Sodium Hypochlorite 10% จำนวน 258.66 ml) เติม 10 M NaOH 5 ml ปรับปริมาตรให้เป็น 500 ใน volumetric flask (นำมาเจือจาง 20 ml ในน้ำ 100 ml) (เตรียมก่อนใช้งาน)

1.6 Sodium Nitroprusside 50 mg (Sodium Nitroprusside 0.05 g ในน้ำ 100 ml) (เตรียมก่อนใช้งาน)

1.7 สารละลายมาตรฐาน $(NH_4)_2SO_4$ (ละลาย $(NH_4)_2SO_4$ 5.897 g. ในน้ำ 1 L.) ใน volumetric flask

2. วิธีวิเคราะห์

2.1 เจือจางสารละลายมาตรฐาน $(NH_4)_2SO_4$ ให้มีความเข้มข้น 1.0, 2.5, 5.5, 7.5, 10.0, 12.0 และ 15.0 mg/kg ด้วยน้ำกลั่นในหลอดทดลอง

2.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานและสารละลายที่ได้จากการย่อยปุ๋ยอินทรีย์ครั่งลงในหลอดทดลอง 0.2 ml

2.3 เติมสารละลาย

Solution I 3 m.: [(1.2) 50 ml + (1.6) 100 ml + (1.4) 5 ml] เขย่า

Solution I 5 ml: [(1.3) 200 ml + (1.5) 50 ml] เขย่า

2.4 ผสมสารละลายให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์นาน 2 ชั่วโมง

2.5 อ่านค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับสารละลายมาตรฐานและคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างจากสมการ

$$NH_4^+ - N\ (mg/kg) = \frac{C \times V}{W}$$

เมื่อ C : ความเข้มข้นของ N ในตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับ Std.Curve – N (mg/kg)

V : ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างทั้งหมดที่ได้จากการย่อย (ml)

W : น้ำหนักตัวอย่างพืชที่ใช้วิเคราะห์ (g)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

10. วิธีวิเคราะห์ไนเตรตไนโตรเจน โดยวิธี ไนเตรชันของซาลิไซลิกแอซิด (Diatloff and Rengel, 2001)

1. การเตรียมสาร

1.1 Tri solution

Sodium salicylate 1 g Sodium chloride 0.2 g และ Ammonium sulfamate 0.1 g ละลายใน 0.01 M Sodium hydroxide 100 ml

1.2 40% w/v Sodium hydroxide (ละลาย 40 g NaOH ในน้ำกลั่น 100 ml)

1.3 10 mM potassium nitrate (ละลาย 1.01 g KNO_3 ที่ผ่านการอบแห้งที่ 105° C เป็นเวลา 6-12 ชั่วโมง ใน volumetric flask ขนาด 1,000 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น) เตรียมสารละลายมาตรฐานให้อยู่ในช่วง 0-2 mg/kg

2. วิธีการวิเคราะห์

2.1 ดูดสารละลายมาตรฐานหรือสารละลายดินที่สกัด 1 ml ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 50 ml เติมสารละลาย TRI Solution 0.5 ml เขย่าให้เข้ากัน

2.2 จากนั้นระเหยให้แห้งบน Hot plate อุณหภูมิ 100-120 ° C ประมาณ 5 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น

2.3 เติม conc.H_2SO_4 1 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่น 5 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้จนกระทั่งสารละลายเย็น

2.4 เติม 40% NaOH 5 ml เขย่าให้เข้ากันจนกระทั่งสารละลายเย็นแล้วนำแล้วนำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 *n*m เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับสารละลายมาตรฐานแล้ว คำนวณปริมาณไนเตรตไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างจากสมการ

$$NH_4^+ - N\ (mg/kg) = \frac{C \times V}{W}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ c : ความเข้มข้นของ N ในตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับ Std.Curve – N (mg/kg)

v : ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ได้จากการสกัดดิน (ml)

w : น้ำหนักดินแห้ง (g)

การหาปริมาณชีวมวลจุลินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจน (Microbial biomass C and N)

1. วิธีเตรียมสารเคมี

1.1 เตรียมสารละลาย K_2SO_4 0.5 N

ชั่ง K_2SO_4 87.14 g ละลายในน้ำกลั่น 1,000 ml

2. วิธีการวิเคราะห์

หาชีวมวลจุลินทรีย์โดยวิธี Chloroform Fumigation และ UV-apsorptionที่ 280 *n*m

ชั่งตัวอย่างดิน 20 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วขนาด 50 ml โดยแยกดินออกเป็น 3 ชุด โดย ชุดที่ 1 สำหรับรม Chloroform และชุดที่ 1 ไม่รม Chloroform นำตัวอย่างดินชุดที่ 1 ใส่ลงในโถดูดความชื้น ที่มีกระดาษทิชชูชื้นวางอยู่ด้านล่าง ใส่ Chloroform ปริมาตร 80 ml ในบีกเกอร์แล้วนำไปวางในโถดูดความชื้น ปิดฝาโถดูดความชื้นใช้เครื่องดูดอากาศ ดูดอากาศในโถดูดความชื้นออก โดยดูด 8 ครั้ง ๆ ละ 6 นาที รม Chloroform ไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกัน และดินชุดที่ 3 นำไปหาน้ำหนักแห้งของตัวอย่างดิน 20 กรัม โดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 ºC เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

เมื่อครบ 24 ชั่วโมง นำ Chloroform และกระดาษทิชชูออก ทำการดูด Chloroform ออกจากโถดูดความชื้น ด้วยเครื่องดูดอากาศ โดยดูดอากาศออกจากโถดูดความชื้น 8 ครั้ง ๆ ละ 6 นาที นำดินใส่ขวดพลาสติกที่มีฝาปิด เติม K_2SO_4 0.5 Nจำนวน 100 ml เขย่าเป็นเวลา 30 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 นำสารละลายที่กรองได้ไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงของ UV ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่มีความยาวคลื่น 280 *n*m ภายใน 1 ชั่วโมงหลังจากกรอง นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณชีวมวลคาร์บอนและชีวมวลไนโตรเจน ดังสมการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\text{Biomass C} = \frac{21{,}747 \times (\text{Abs รม} - \text{Abs ไม่รม})}{\text{น้ำหนักดินแห้งของตัวอย่าง } 20 \text{ g}} \ \mu C.g^{-1} \text{ Soil}$$

$$\text{Biomass N} = \frac{3{,}479 \times (\text{Abs รม} - \text{Abs ไม่รม})}{\text{น้ำหนักดินแห้งของตัวอย่าง } 20 \text{ g}} + 40 \ \mu C.g^{-1} \text{ Soil}$$

การวิเคราะห์คุณสมบัติของพืช

วิธีหาปริมาณ ธาตุอาหารหลัก (N, P และ K) ของผักคะน้า

1. การเตรียมกรดย่อย (Walinga et al., 1989)

ผสม Conc. H_2SO_4 1,000 ml. กับ Selenium powder 3.5 g. ให้เข้ากัน แล้วนำไปให้ความร้อนบน hotplate ที่อุณหภูมิ 300˚C นานประมาณ 3-4 ชั่วโมง สีของกรดย่อยจะเปลี่ยนจากสีดำเป็นสีเหลืองอ่อนและใส จะได้กรดย่อย เก็บไว้ที่ขวดสีชา

2. การย่อยตัวอย่าง

2.1 นำตัวอย่างชั่ง 0.3xxx g (ชั่ง 4 ตำแหน่ง) บันทึกไว้ใช้คำนวณ ชั่งใส่ลงในหลอดย่อย นำกรดย่อย 100 ml ผสมกับ Salicylic acid 7.2 g (เตรียมก่อนใช้)

2.2 ใส่กรดย่อยที่ผสมแล้ว (ข้อ 2.1) จำนวน 7 ml ต่อ ตัวอย่าง (ข้อ 2.1) แช่ทิ้งไว้ข้ามคืน

2.3 ย่อยตัวอย่างที่แช่ทิ้งไว้ข้ามคืน (ข้อ 2.3) ด้วยอุณหภูมิเริ่มต้น 150 ˚C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนกระทั่งมีอุณหภูมิสูงสุด 350˚ C ตัวอย่างที่เป็นสีดำจะเริ่มเป็นสีเหลืองและใส

2.4 นำตัวอย่างที่ย่อยได้ มาปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ใน volumetric flask 50 ml จากนั้นมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) โดยวิธี Colorimetry method (Novozamsky et al., 1974)

1. เตรียมสารเคมี

1.1 10 M NaOH (ละลาย NaOH 200 g ในน้ำกลั่น 500 ml)

1.2 Salicylic acid 110 g ใน 10 M NaOH 105 ml. ปรับเป็น 250 ml (เตรียมแล้วใช้ทันที ใช้ผ้าปิดจมูก ทำใน hood)

1.3 Na_2HPO_4 buffer pH 12.3 (ชั่ง Na_2HPO_4 26.7 g ในน้ำกลั่น เติม 40% NaOH 10 ml ปรับ pH ให้เป็น 12.3) ปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 2 L ใน volumetric flask

1.4 4% EDTA (EDTA 4 g ในน้ำกลั่น 100 ml)

1.5 Sodium Hypochlorite 1 M ใน 0.1 M NaOH (Sodium Hypochlorite 10% จำนวน 258.66 ml) เติม 10 M NaOH 5 ml ปรับปริมาตรให้เป็น 500 ใน volumetric flask

(นำมาเจือจาง 20 ml ในน้ำ 100 ml) (เตรียมก่อนใช้งาน)

1.6 Sodium Nitroprusside 50 mg (Sodium Nitroprusside 0.05 g ในน้ำ 100 m.) (เตรียมก่อนใช้งาน)

1.7 สารละลายมาตรฐาน $(NH_4)_2SO_4$ (ละลาย $(NH_4)_2SO_4$ 5.897 g ในน้ำ 1 L) ใน volumetric flask

2. วิธีการวิเคราะห์

2.1 เจือจางสารละลายมาตรฐาน $(NH_4)_2SO_4$ ให้มีความเข้มข้น 1.0, 2.5, 5.5, 7.5, 10.0, 12.0 และ 15.0 mg/kg ด้วยน้ำกลั่นในหลอดทดลอง

2.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานและสารละลายที่ได้จากการย่อยปุ๋ยอินทรีย์ครั่งลงในหลอดทดลอง 0.2 ml

2.3 เติมสารละลาย

Solution I 3 ml: [(1.2) 50 ml + (1.6) 100 ml + (1.4) 5 ml] เขย่า

Solution I 5 ml: [(1.3) 200 ml + (1.5) 50 ml] เขย่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 ผสมสารละลายให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์นาน 2 ชั่วโมง

2.5 อ่านค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับสารละลายมาตรฐานและคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างจากสมการ

$$\text{Total N (mg/kg)} = \frac{C \times V}{W}$$

เมื่อ C : ความเข้มข้นของ N ในตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับ Std.Curve – N (mg/kg)

V : ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างทั้งหมดที่ได้จากการย่อย (ml.)

W : น้ำหนักตัวอย่างพืชที่ใช้วิเคราะห์ (g.)

4. การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P) (ศรีสม, 2544)

1. เตรียมสารเคมี

1.1 กรดย่อย ใช้กรดย่อยเดียวกับการย่อยเพื่อหาไนโตรเจน

1.2 สาร develop สี vanadate reagent (mixed reagent)

1.1.1 สารละลาย ammonium vanadate 1.25 g ในน้ำกลั่นอุ่น 200 ml เติม HNO_3 ลงไป 153.42 ml

1.1.2 ละลาย Ammonium molybdate tetrahydrate 25 g ในน้ำกลั่น

1.1.3 ละลายสารละลายจากข้อ 2.2.1 และ 2.2.2 เข้าด้วยกัน ปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml เก็บไว้ในขวดสีชา และเก็บไว้ในตู้เย็นหากไม่ใช้ทันที

2.3. เตรียม Standard phosphorus 100 mg/kg

ชั่ง KH_2PO_4 0.4390 g. เติม HNO_3 conc. 5 ml. ปรับปริมาตรเป็น 1,000 ml ด้วยน้ำกลั่น

2. วิธีการวิเคราะห์

2.1 ทำ standard set โดยให้มีความเข้มข้น 0, 4, 8, 12, 16 และ 20 mg/kg โดยใช้ volumetric pipette ดูด standard P 100 mg/kg มา 1, 2, 3, 4 และ 5 ml เติม mixed reagent 5 ml และกรดย่อยที่เจือจาง 7:100 ml มา 5 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 25 ml. นำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 470 *n*m แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับค่าที่อ่านได้โดยใช้กราฟ (standard curve)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 ดูดสารละลายตัวอย่างที่ย่อยได้มา 5 ml เติม mixed reagent 5 ml เติมน้ำกลั่นแล้วตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ให้เกิดสี ถ้าไม่เกิดสีให้เติมตัวอย่างเพิ่มลงไปอีก นำไปวัดความเข้มข้นของสีที่เกิดขึ้นเหมือนกับข้อ 2.1 เทียบค่าความเข้มข้นของตัวอย่างกับ standard curve แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่าง จากสมการ

$$\text{Total P (\%)} = \frac{C \times Vf \times Vd \times 100}{10^6 \times Va \times W}$$

เมื่อ C = ความเข้มข้น P ในตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับ standard curve – P (mg/kg)

Vf = ปริมาตรสุดท้ายที่นำมาวิเคราะห์ (ml)

Vd = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างทั้งหมดที่ได้จากการย่อย (ml)

Va = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (ml)

W = น้ำหนักตัวอย่างพืชที่ใช้วิเคราะห์ (g)

5. การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total K) (Helmke and Sparke, 1996)

1. การเตรียมสาร

1.1 standard K 1,000 mg/kg

ละลาย KCl บริสุทธิ์ (อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ºC เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) จำนวน 1.9067 g ในน้ำกลั่น เติมกรด HNO_3 12 ml แล้วปรับปริมาตรใน volumetric flask ด้วยน้ำกลั่นเป็น 1,000 ml

1.2 standard K 100 mg/kg

ดูด standard K 1,000 mg/kg จำนวน 10 ml โดยใช้ volumetric pipette ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

1.3 การเตรียม standard curve ให้มีความเข้มข้นของ K เป็น 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 mg/kg

ใช้ volumetric pipette ดูด standard K 100 mg/kg มาจำนวน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 ml ใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 ml. แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากันแล้วอ่านค่าด้วยเครื่อง Flame photometer เหมือนกับ standard curve แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณ K

1.4. ดูดสารละลายตัวอย่างที่ย่อยได้มา 1 ml ใส่ใน volumetric flask ขนาด 25 หรือ 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น นำไปอ่านค่าด้วยเครื่อง Flame photometer และคำนวณหาปริมาณ K ดังสมการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\text{Total K (\%)} = \frac{C \times Vf \times Vd \times 100}{Va \times W}$$

เมื่อ C = ความเข้มข้น K ในตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับ standard curve – K (mg/kg)

Vf = ปริมาตรสุดท้ายที่นำมาวิเคราะห์ (ml)

Vd = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างทั้งหมดที่ได้จากการย่อย (ml)

Va = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (ml)

W = น้ำหนักตัวอย่างพืชที่ใช้วิเคราะห์ (g)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวศิริรัตน์ ปากประโคน

วัน เดือน ปี เกิด 31 ตุลาคม พ.ศ. 2530

ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2548 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจาก โรงเรียนสิรินธร จังหวัดสุรินทร์

ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved