

ศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ

Study on Plant Available Nitrogen Release in the soils Applying Different Organic Fertilizers

วีณา นิลวงศ์¹
Weena Nilawonk¹

บทคัดย่อ

ปุ๋ยอินทรีย์ถือได้ว่าเป็นกุญแจหลักสำหรับการผลิตในระบบเกษตรอินทรีย์ มีหลากหลายชนิดตามวัตถุดิบที่ใช้หรือแหล่งที่มา ทำให้มีความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชในรูปที่เป็นประโยชน์ที่แตกต่างกันออกไป การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดดินและปุ๋ยอินทรีย์ต่อปริมาณและอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในช่วงระยะเวลา 1 ปี ดำเนินการทดลองในกระถาง ณ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วางแผนการทดลองแบบ 4x4 แฟกเตอร์เรียล แบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์จำนวน 3 ซ้ำ ปัจจัยหลักประกอบด้วยดิน 4 ชนิดที่มีเนื้อดินแตกต่างกัน (ดินแม่แตง หางดง สันทราย และแมริม) และปัจจัยรอง ได้แก่ การไม่ใส่และใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 3 ชนิด (ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน) ในอัตรา 2 ต้นต่อไร่ คำนวนปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจากการดูดใช้ในโตรเจนของหญ้าที่ระยะ 30, 60, 90, 150, 240 และ 360 วันหลังปลูก และศึกษาอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนในดินจากความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ในโตรเจนและระยะเวลาโดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย ผลการทดลองพบว่าปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนสูงที่สุดในดินแม่แตงและหางดงเมื่อมีการใส่ปุ๋ยคอกโดยมีปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 769 และ 768 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนในดินทั้งสองชนิดเมื่อใส่ปุ๋ยคอกเท่ากับ 2.40 และ 2.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์และอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุของปุ๋ยอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.885** และ 0.897** ตามลำดับ

คำสำคัญ : ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน การปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์กับพืช

Abstract

The organic fertilizer is the main source of plant nutrients for organic farming under the variation of plant nutrients content which involve to the source and raw materials, which affects to the release ability and amount of plant available nutrients. The objective of the study was to determine the effect of soils with organic fertilizers to the amount and release rate of plant available N. It was studied under greenhouse experiment by Ruzi grass continuous planting, at Faculty of Agricultural Production, Maejo University. The 4x4 factorial in randomized complete block design (RCBD) and 3 replications was used. The main factors consists of the 4 soils (Mae Tang: Mt, Hang Dong: Hd, San Sai: Sai and Mae Rim: Mr soils) and 3 organic fertilizers (compost, manure and earthworm vermicompost) 2 ton.rai⁻¹. Estimating the accumulation of plant available N and release rate during 1 year, by determining the N uptake of Ruzi grass at 30, 60, 90, 150, 240 and 360 days after planting. The data was fitted using simple linear regression to estimate the release

¹คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

rate of plant available N. The results showed that the plant available N and release rate were significantly highest in Mt and Hd soil with compost (769 and 768 mg kg⁻¹), and release rate of plant available N were 2.04 and 2.10 mg kg⁻¹ day⁻¹. The amount of plant available nitrogen and release rates showed the significant correlation with organic matter of organic fertilizers. The coefficient of determination (Adj. R²) were 0.885 for amount of plant available N, and 0.897 for release rate at $P < 0.01$.

Keywords: manure, compost, earthworm vermicompost, plant available nitrogen release

คำนำ

ในปัจจุบันเกษตรอินทรีย์และเกษตรปลอดภัยถือเป็นวิถีการเกษตรที่ได้รับความนิยมในกลุ่มเกษตรกรในประเทศไทยเป็นอย่างมากเนื่องจากกระแสรักสุขภาพในปัจจุบันที่ทำให้คนหันมาบริโภคอาหารปลอดภัย การผลิตในระบบเกษตรดังกล่าวมีปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการผลิตอย่างมาก ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่หลักเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชแทนปุ๋ยเคมีแล้วยังส่งผลดีต่อสมบัติทางกายภาพของดินอีกด้วย ปุ๋ยอินทรีย์ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย หมายถึง ปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ หมัก บด ร่อน สกัด หรือด้วยวิธีการอื่น และวัสดุอินทรีย์ถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมี ในขณะที่ธงชัย (2550) ได้ให้ความหมายของปุ๋ยอินทรีย์ไว้ คือ ปุ๋ยที่มีองค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์ต่างๆซึ่งได้มาจากซากพืช ซากสัตว์ รวมทั้งสิ่งขับถ่ายจากสัตว์ เศษเหลือของสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อพืชเมื่อได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ในปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดจะประกอบไปด้วยธาตุอาหารพืชและปริมาณที่แตกต่างกันออกไปตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ซึ่งอัตราปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมส่งเสริมการเกษตรได้แนะนำแก่เกษตรกรโดยทั่วไป คือ 2-4 ตันต่อไร่ สำหรับพื้นที่นาข้าว แปลงพืชไร่ และพืชผัก (กลุ่มงานส่งเสริมดินและปุ๋ย, 2561)

ไนโตรเจน (N) จัดว่าเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Plant available nitrogen; PAN) ในดินอยู่ในรูปของอนินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนียม (NH₄⁺) และไนเตรต (NO₃⁻) (Sullivan, 2008) ความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตปุ๋ย เช่น ปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักหญ้าแห้งมีปริมาณไนโตรเจน 1.23 เปอร์เซ็นต์ แต่ฟางข้าวมีปริมาณ 0.85% ในขณะที่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนซึ่งเกิดจากกระบวนการย่อยสลายขยะอินทรีย์จะมีปริมาณไนโตรเจนสูงถึง 1.2 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าใช้มูลวัวเป็นอาหารไส้เดือนปริมาณไนโตรเจนจะลดลงอย่างมาก (อานนติ, 2550) นอกจากปริมาณของไนโตรเจนในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆที่จะมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของพืชแล้ว ปัจจัยแวดล้อมและสมบัติดินก็มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนต่อพืชที่ปลูก เนื่องจากว่าไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารพืชที่สามารถสูญเสียไปจากดินได้ง่ายมากหากสภาวะแวดล้อมในดินไม่เหมาะสม เช่น ความชื้น ความชื้นกรด-ด่าง อุณหภูมิ การระบายอากาศ (Christianson et al., 1979) และเนื้อดิน ซึ่งปัจจัยต่างๆเหล่านี้จะทำให้มีการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนอินทรีย์ไปเป็นอนินทรีย์สารในอัตราเร็วที่แตกต่างกันออกไป ในดินที่มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูงหรือเป็นดินเหนียวจัดจะเกิด Nitrogen Mineralization ต่ำ (Chae and Tabatabai, 1986) จากการศึกษาของศุภกาญจน์ และคณะ (2553) พบว่าอัตราการปลดปล่อยอนินทรีย์ไนโตรเจนจะสูงที่สุดในช่วง 2 สัปดาห์หลังการผสมมูลสุกร มูลโค และมูลไก่ลงไปในชุดดินยโสธร โดยมีปริมาณ 15-20 กรัม ไนโตรเจน ต่อดิน 100 กรัม หรือประมาณ 15-35 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบทั้งหมดของปุ๋ย ซึ่งระยะเวลาการปลดปล่อยสูงสุดมีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Nilawong (2012) ได้ศึกษาการปลดปล่อยอนินทรีย์ไนโตรเจน (NH₄⁺-N และ NO₃⁻-N)

ในดินโดยการบ่มดินกับปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนในสัดส่วนต่างๆ พบว่าเมื่อสัดส่วนดินต่อปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเท่ากับ 1:0.5 และ 1:1 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้มีการปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจนมากที่สุดในสัปดาห์ที่ 2 หลังการบ่ม แต่จากการศึกษาของชุตติมณฑน์ (2553) พบว่าการเร่งการปลดปล่อยอินทรีย์ไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์โดยนำมาหมักกับน้ำเป็นเวลา 12 วัน ทำให้มีการปลดปล่อยออกมามากที่สุดเมื่อหมักด้วยอัตราส่วนปุ๋ยอินทรีย์ต่อน้ำ 1:8 แต่มีการลดลงอย่างมากของ NH_4^+ และ NO_3^- หลังการบ่ม เนื่องจากการสูญเสียไปโดยกระบวนการ Denitrification การศึกษาความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่มักศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในรูปอินทรีย์สารและทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ควบคุมได้ง่าย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในดินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์

ดังนั้นการวัดความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนต่อพืชโดยวัดจากปริมาณที่พืชดูดใช้ในโตรเจนอาจทำให้ทราบถึงความเป็นประโยชน์ที่แท้จริงของไนโตรเจน Sulivans and Andrews (2012) จึงได้มีการศึกษาการปลดปล่อยของไนโตรเจนในรูปอินทรีย์สารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยตรงโดยการคาดคะเนการปลดปล่อยของอินทรีย์ไนโตรเจนจากการดูดซับไนโตรเจนของพืชเข้าไปใช้ในการเจริญเติบโตของข้าวไร่ ซึ่งพบว่าเมื่อไถกลบต้นข้าวไร่ลงไปในดินจะมีการย่อยสลายเร็วที่สุดที่ระยะ 4-6 สัปดาห์หลังการไถกลบ และมีการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (NH_4^+-N , NO_3^--N) อัตรา 8.97 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่ Georgios *et al.* (2007) ได้ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการสะสมของไนเตรต (NO_3^-) ในผักกาดหอมที่มีการปลูกต่อเนื่องกัน 3 ฤดูปลูก พบว่าปริมาณของ NO_3^- ในใบผักกาดหอมมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ NO_3^- ในดินและปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ หนักรูฐี้ได้ถูกเลือกมาใช้เพื่อการศึกษาความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินเนื่องจากว่าเป็นพืชที่ทนทานต่อความแห้งแล้งและเจริญเติบโตได้ดีในทุกสภาพแวดล้อม แม้กระทั่งดินกรดหรือสภาวะการขังน้ำและมีการตอบสนองที่ดีต่อความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดิน (Cook *et al.*, 2005; Batista *et al.*, 2014)

ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสมบัติดินและปุ๋ยอินทรีย์ที่มีต่อการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชซึ่งอยู่ในรูปของอินทรีย์สาร (NH_4^+-N และ NO_3^--N) ที่จะเกิดขึ้นในดิน และคาดคะเนปริมาณและอัตราการปลดปล่อยของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในช่วงระยะเวลา 360 วัน โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression analysis) ซึ่งข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดทำคำแนะนำปุ๋ยอินทรีย์เฉพาะพื้นที่สำหรับการปลูกผักอินทรีย์

อุปกรณ์และวิธีการ

ตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษานี้มีความหลากหลายของปริมาณอนุภาคดินเหนียวและการใช้ประโยชน์พื้นที่เพื่อทำการเกษตรอินทรีย์ ได้แก่ พืชผักและพืชไร่ ใน จังหวัดเชียงใหม่ สุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบเก็บตัวอย่างรวม (Composite sample) ชั้นไผ่พรวนที่ความลึก 0-20 เซนติเมตรจำนวน 4 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินแม่แตง(Mt) ชุดดินสันทราย (Sai) ชุดดินหางดง(Hd) และชุดดินแมริม(Mr) นำดินมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เก็บเศษหินและพืชซาก นำดินมาบดแล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. ทำการทดลองในโรงเรือนโดยการปลูกหนักรูฐี้เพื่อเป็นพืชทดสอบในกระถาง วางแผนการทดลองโดยจัดสิ่งทดลองแบบ 4x4 แฟกทอเรียล แบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วยปัจจัย a คือ ชุดดิน 4 ชุด ได้แก่ 1. ชุดดินแม่แตง ; Mt (a1) 2. ชุดดินหางดง; Hd (a2) 3. ชุดดินสันทราย ; Sai (a3) 4. ชุดดินแมริม ; Mr (a4) และปัจจัย b คือ การไม่ใส่ และใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 3 ชนิด อัตราแนะนำ 2 ตันต่อไร่ (กลุ่มงานส่งเสริมดินและปุ๋ย, 2561) ได้แก่ 1. ไม่ใส่ปุ๋ย (b1) 2. ปุ๋ยหมัก(b2) 3. ปุ๋ยคอก (b3) 4. ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (b4) เตรียมกระถางปลูกให้มีความจุดินได้ประมาณ 3 กิโลกรัม นำผ้าขาวมารองใต้กระถาง นำดินที่ผสมกับปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน

ดิน : ปุ๋ยอินทรีย์เท่ากับ 2.5 : 0.5 กิโลกรัม ทำให้อัตราปุ๋ยอินทรีย์เท่ากับ 2 ตันต่อไร่ ตามคำแนะนำการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ของกลุ่มงานส่งเสริมดินและปุ๋ย (2561) ใส่ในกระถางหลังจากนั้นทำการปลูกหน่อกล้วยที่โดยใช้ 10 เมล็ดต่อกระถาง ตลอดระยะการทดลองทำการรักษาระดับความชื้นในดินให้อยู่ที่ระดับความจุความชื้นสนาม (Field capacity) โดยการให้น้ำทางจานรองกระถางและใช้วิธีวัดความชื้นในดินด้วยเทนซิโอมิเตอร์ ดูแลกำจัดวัชพืชอื่นๆในกระถาง เมื่อหน่อกล้วยที่เจริญเติบโตเต็มที่และกระจายจนเต็มพื้นที่ในกระถางก็ตัดส่วนเหนือดินตามระยะ เวลาที่กำหนด คือ 30 60 90 150 240 และครั้งสุดท้ายที่ 360 วันหลังการปลูก

วิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพบางประการของดินก่อนปลูก ได้แก่ เนื้อดิน (Soil texture) โดยวิธี Hydrometer ค่าปฏิกิริยาดิน (Soil pH) โดยใช้ อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 แล้ววัดด้วย pH meter ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) วิเคราะห์โดยวิธี Walkley and Black method (Walkley and Black, 1947) ปริมาณอนินทรีย์ไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+, \text{NO}_3^-$) วิเคราะห์โดยการสกัดด้วย 2 M KCl แล้วนำไปกลั่นด้วย MgO และ Delvarda's alloy (Mulvaney, 1996) ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ (Available P) วิเคราะห์โดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) วิเคราะห์โดยการสกัดด้วย 1.0 M NH_4OAc pH 7 (Jackson, 1958) สมบัติดินก่อนปลูกแสดงใน Table 1 ดินที่นำมาใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีความแตกต่างของปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความเป็นกรด-ด่าง เนื้อดินและปริมาณอนุภาคดินเหนียว

Table 1 Soil properties before study.

Soils	pH	OM (g kg ⁻¹)	Inorganic N ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$)	Avail. P	Exch.K	Clay (%)	Texture
			(mg kg ⁻¹)				
Mt	6.3	0.593	81	16	75	26.1	Sandy clay loam
Hd	4.9	0.637	81	31	308	48.1	Clay
Sai	6.9	0.574	86	39	76	14.1	Sandy loam
Mr	5.9	0.577	109	19	118	10.7	Sandy loam

วิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์โดยวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้สัดส่วนปุ๋ยต่อน้ำเท่ากับ 5:10 โดยน้ำหนัก ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) วิเคราะห์โดยวิธี Walkley and Black method ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) วิเคราะห์โดยวิธีการย่อยด้วย conc. H_2SO_4 แล้วกลั่นด้วยวิธี Kjeldahl สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5) โพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O) โซเดียมทั้งหมด (Total Na) แคลเซียมทั้งหมด (Total Ca) และแมกนีเซียมทั้งหมด (Total Mg) วิเคราะห์โดยการย่อยด้วยกรดผสม $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ วัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยวิธีทำให้เกิดสี วัดปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม ด้วยเครื่อง atomic adsorption spectrophotometer (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) สมบัติปุ๋ยอินทรีย์แสดงใน Table 2 โดยปุ๋ยทั้งสามชนิดมีค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 7.83-9.76 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุและไนโตรเจนทั้งหมดแตกต่างกัน

Table 2 Some properties of compost, manure and earthworm vermicompost.

Properties	Compost	Manure	Earthworm Vermicompost
pH (5:10 w/w)	7.83	8.27	9.76
Organic matter (g kg ⁻¹)	356.7	393.2	258.5
Total N (g kg ⁻¹)	18.0	20.0	11.5
Total P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)	8.3	46.2	14.4
Total K ₂ O (g kg ⁻¹)	6.0	30.7	17.3
Total Na (g kg ⁻¹)	7.6	18.3	17.7
Total Ca (g kg ⁻¹)	29.3	86.7	17.4
Total Mg (g kg ⁻¹)	6.0	15.3	51.0

วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทั้งหมด (Plant available N: PAN) โดยการวิเคราะห์จากปริมาณ N ที่พืชดูดซับไปใช้ (Plant uptake) ตลอดระยะเวลาที่ปลูก 360 วัน ในตัวอย่างหญ้ารูซี่ จากส่วนเหนือดินของหญ้ารูซี่ที่ระยะเวลา 30 60 90 150 240 และ 360 วัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างพืชไปอบแห้ง ชั่งน้ำหนัก แล้วบดละเอียดเพื่อนำไปวิเคราะห์ N โดยการย่อยด้วยกรด H₂SO₄ เข้มข้น แล้วนำไปกลั่นเพื่อวิเคราะห์ปริมาณ N ทั้งหมดด้วย Kjeldahl method (Jone, 2001) คำนวณปริมาณ N ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (plant available N) ซึ่งอยู่ในรูปของอินทรีย์ไนโตรเจนที่พืชนำจากดินไปใช้โดยพิจารณาจากการดูดซับไนโตรเจน (N Uptake) ของพืช (Nilawonk *et al.*, 2008) คำนวณโดย

$$\text{Nitrogen uptake} = \frac{\%N \times \text{dry matter}}{100} \quad (\text{Sharma } et al., 2012)$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (Least Significant Different) ด้วยโปรแกรม SPSS V.13 for Window วิเคราะห์และสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและอัตราการปลดปล่อยของ PAN ในดินกับสมบัติของดินและปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple linear regression) โดยวิธี Stepwise regression

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Plant available N: PAN)

จากการศึกษาพบว่าชนิดดินและปุ๋ยอินทรีย์มีผลต่อการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) (Table 3) โดยชนิดดินและปุ๋ยอินทรีย์ที่ทำให้มีการปลดปล่อย PAN ออกมามากที่สุด คือ ดินแม่แดงและดินหางดงเมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยคอกทำให้มี PAN เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 769 และ 768 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากว่าดินแม่แดงและดินหางดงมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดินสันทรายและดินแมริม (Table 1) ส่งผลให้มีไนโตรเจนที่สามารถปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากกว่า และนอกจากนี้การที่ดินแม่แดงและหางดงมีปริมาณดินเหนียวสูงจึงช่วยลดการสูญเสียไนโตรเจนไปจากดินที่เกิดจากกระบวนการ Denitrification เนื่องจากว่ากิจกรรมของจุลินทรีย์

ดินที่ทำให้เกิดกระบวนการ Nitrogen mineralization และ Organic matter mineralization ลดลง (Chae and Tabatabai, 1986) ในส่วนของปุ๋ยคอกพบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุและไนโตรเจนทั้งหมดมีปริมาณสูงกว่าปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน (Table 2) ส่งผลให้มี PAN สูงที่สุดเมื่อใส่ลงไปในดินแม่แดงและหางดง

Table 3 Effect of soils and organic fertilizers on content of plant available N (mg kg^{-1}) and release rate ($\text{mg kg}^{-1} \text{day}^{-1}$).

Treatments	Soils	Organic fertilizers	Plant available N (mg kg^{-1}) ^{1/}	Release rate ($\text{mg kg}^{-1} \text{day}^{-1}$) ^{2/}
1	Mt	No fertilizer	299±12e	0.74±0.11d
2		Compost	656±21abc	1.62±0.21b
3		Manure	769±34a	2.04±0.24a
4		Earthworm - vermicompost	535±14cd	1.41±0.13c
5	Hd	No fertilizer	201±20ef	0.53±0.10e
6		Compost	619±29bcd	1.63±0.18b
7		Manure	768±35a	2.10±0.23a
8		Earthworm - vermicompost	560±14cd	1.50±0.14bc
9	Sai	No fertilizer	130±5f	0.25±0.06f
10		Compost	487±16d	1.32±0.03c
11		Manure	717±32ab	1.96±0.27b
12		Earthworm - vermicompost	n.d.	n.d.
13	Mr	No fertilizer	182±18ef	0.43±0.11e
14		Compost	495±31d	1.30±0.10c
15		Manure	728±37ab	1.85±0.27b
16		Earthworm - vermicompost	n.d.	n.d.
F-test				
Soil			**	**
Organic fertilizer			**	**
CV (%)			12.86	9.15

n.d. = no data (Out of growth of Ruzi grass at initial of the experiment.)

^{1/} and ^{2/} mean within the same column followed by the same letter indicated no statistical difference using LSD ($P < 0.01$).

ในการศึกษาครั้งนี้วิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนโดยการสร้างสมการที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง PAN และระยะเวลา (วัน) ซึ่งสมการที่ถูกเลือกมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ Linear regression equation เนื่องจากเป็นรูปแบบสมการที่ง่ายในการประยุกต์ใช้และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination; R^2) ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลในครั้งนี้ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์โดยใช้ Power function equation และ Parabolic function equation ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายเพื่ออธิบายกลไกการปลดปล่อยของธาตุอาหารพืชในดิน (Nilawonk *et al.*, 2008)

อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Plant available N release rate) สร้างสมการ $Y = a + bx$ โดยกำหนดให้ y = ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (plant available N; PAN) (mg kg soil^{-1}), a = ค่าคงที่, b = อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (release rate; $\text{mg kg soil}^{-1} \text{ day}^{-1}$) และ x = เวลา (day) รูปแบบการปล่อยธาตุไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์ 3 ชนิด และดินแม่แตงที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยอินทรีย์นั้น แสดงใน Figure 1 ผลการวิเคราะห์จากสมการได้ค่าพารามิเตอร์ดัง Table 4

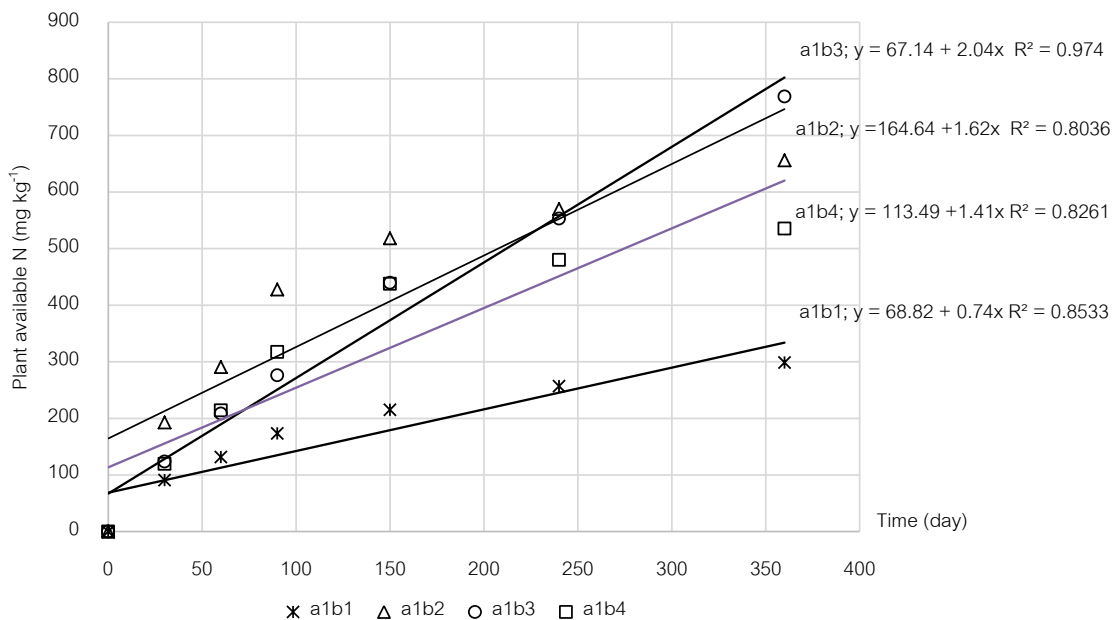


Figure 1 Linear regression analysis of plant available N release rate (b) in Mt soil (a1) with control (b1), compost (b2), manure (b3) and earthworm vermicompost (b3).

Table 4 Linear regression parameters of three soils with and without organic fertilizer amended.

Treatments /Soils	Mae Tang			Hang Dong			San Sai			Mae Rim		
	a	$b^{1/}$	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2
Control	68.82	0.74	0.853**	56.41	0.53	0.823**	67.05	0.25	0.824**	71.44	0.43	0.846**
Compost	164.64	1.62	0.804**	126.27	1.63	0.825**	74.06	1.32	0.905**	89.95	1.30	0.863**
Manure	67.14	2.04	0.974**	39.17	2.10	0.986**	58.22	1.96	0.967**	115.78	1.85	0.930**
Earthworm Vermicompost	113.49	1.41	0.826**	105.46	1.50	0.844**	-	-	-	-	-	-

**significant at $P < 0.01$

จากการศึกษาพบว่าอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินทั้งสี่ชุดดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) (Table 3) และให้ผลการศึกษาเป็นไปในทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของ PAN โดยอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนสูงที่สุดพบในดินแม่แดงและหางดงที่มีการใส่ปุ๋ยคอก คือ 2.04 และ 2.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน รองลงมาคือปุ๋ยหมัก (1.62 และ 1.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน) และปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (1.41 และ 1.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน) จากการศึกษาจะเห็นได้ PAN และ อัตราการปลดปล่อยของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (Table 3) ถึงแม้ว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุและไนโตรเจนทั้งหมดที่พบจะมีปริมาณไม่แตกต่างกันมากนักอาจเนื่องจากการใช้ปุ๋ยคอกทำให้อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนที่สามารถเป็นประโยชน์ต่อพืชในดินเพิ่มสูง เพราะการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์และกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุไปเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนในดินที่เกิดขึ้นได้เร็วกว่า (Yanardag *et al.*, 2017) ซึ่งจากการศึกษาของ Nilawonk (2012) พบว่าอัตราการปลดปล่อยของอนินทรีย์ไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$ และ $\text{NO}_3^- - \text{N}$) ในดินจะเพิ่มขึ้นสูงขึ้นมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน นอกจากนี้จากการศึกษาของ Agegnehu *et al.* (2016) ยังชี้ให้เห็นว่าอัตราการดูดซับไนโตรเจนในดิน การให้ผลผลิตและมวลชีวภาพของข้าวโพดเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) และอนินทรีย์ไนโตรเจน ($\text{NO}_3^- - \text{N}$ และ $\text{NH}_4^+ - \text{N}$) ในปุ๋ยหมักและวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ในการปรับปรุงดิน

2. อิทธิพลของสมบัติดินและปุ๋ยอินทรีย์ต่อการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจน

เมื่อทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง PAN กับสมบัติของดินและปุ๋ยอินทรีย์ (Table 1 และ 2) โดยการใช้ Linear multiple regression model พบว่า สมการที่แสดงค่า Adj R² สูงสุดและมีความแตกต่างทางสถิติ ได้แก่ สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PAN กับปริมาณของอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยคอก (OM-Organic fertilizer) ดังสมการ

$$\text{PAN} = 202 + 35.1 (\text{OM-Organic fertilizer}) \quad \text{Adj } R^2 = 0.885^{**} \quad (1)$$

ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1 จะเห็นว่า PAN มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยอินทรีย์ที่แทนที่จะเป็นปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อาจเป็นไปได้ว่าไนโตรเจนทั้งหมดในปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่อยู่รูปของอินทรีย์ไนโตรเจน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจึงสามารถบ่งบอกถึงปริมาณไนโตรเจนได้ดีกว่าการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด เนื่องจากการเกิด Organic mineralization จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งทำให้อินทรีย์ไนโตรเจนมีการสูญเสียไปน้อยกว่าและสามารถเป็นประโยชน์ต่อพืชในระยะยาวได้จึงแสดงความสัมพันธ์กับ PAN ในระยะ 1 ปี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Oudart *et al.* (2015) ที่แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณจุลินทรีย์ในปุ๋ยคอกสามารถลดการสูญเสียไนโตรเจนไปโดยกระบวนการ Volatilization และช่วยกักเก็บไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้คงอยู่ในดินในระยะยาว ในขณะที่การศึกษาของ Valenzuela-Solano *et al.* (2005) ได้แสดงให้เห็นถึงอัตราการเกิด Mineralization ของไนโตรเจนในดินที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินโดยการใช้วัสดุอินทรีย์คลุมดินซึ่งทำให้อุณหภูมิของดินเพิ่มขึ้นและรักษาความชื้นไว้ในดินส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินและทำให้ผลผลิตของของไวคาโดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตำรับควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วง 36 วันแรกหลังจากการใส่ปุ๋ยหมักลงสู่ดินจะทำให้อัตราการเกิด Immobilization เพิ่มขึ้น 6.5-11.4% แต่เมื่อปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดินลดลง กลับพบว่าอัตราการเกิด Mineralization ในดินที่มีการใส่อินทรีย์วัตถุ (หญ้าอัลฟาฟา) เกิดเพิ่มขึ้นและปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 57% ของปริมาณไนโตรเจนที่มีทั้งหมด ในขณะที่การศึกษาของ Dui-an *et al.* (2013) ได้แสดงให้เห็นถึงการลดลงของความเข้มข้นของ $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ เป็นอย่างมากในช่วงแรกของการย่อยสลายของปุ๋ยคอก (ขี้หมู+ฟางข้าว) ในขณะที่ความเข้มข้นของ $\text{NO}_3^- - \text{N}$ เพิ่มขึ้นและค่อยๆลดลงเพราะถูกทำให้สูญเสียไปโดยกระบวนการ Denitrification เมื่ออุณหภูมิเพิ่มเนื่องจากการทำงานของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น และ เมื่อทำการ

วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยของ PAN กับสมบัติของดินและปุ๋ยอินทรีย์ (Table 1 และ 2) โดยใช้ Linear multiple regression analysis พบว่า สมการที่แสดงค่า Adj. R² สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยของ PAN กับปริมาณของอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยคอก (OM-Organic fertilizer) ดังสมการ

$$\text{Release rate of PAN} = 0.481 + 0.97 (\text{OM-Organic fertilizer}) \quad \text{Adj } R^2 = 0.897^{**} \quad (2)$$

จากสมการที่ (1) และ (2) แสดงให้เห็นว่าปริมาณ PAN ทั้งหมดที่ถูกปลดปล่อยออกมาและอัตราการปลดปล่อย เพิ่มขึ้นตามปริมาณของอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อใส่ลงไปในดินทั้ง 4 ชนิด ในขณะที่สมบัติอื่นๆ ของดินและปุ๋ยอินทรีย์มีผลค่อนข้างน้อยในระดับที่ไม่แตกต่างทางสถิติ จากการศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าปริมาณของอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดสามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดถึงความเป็นประโยชน์และการปลดปล่อยของไนโตรเจนที่มีต่อพืชเมื่อใส่ลงไปในดินตั้งแต่ระยะเริ่มต้นไปจนถึง 1 ปี ซึ่งเห็นได้จากการวิเคราะห์จนถึงวันที่ 360 ก็ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและอัตราการปลดปล่อยของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยอินทรีย์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Al-Batanina *et al.* (2016) ที่แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้เกิดขึ้นในรูปของปุ๋ยหมักในระยะยาวส่งผลให้อัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชผันแปรตั้งแต่ 1-3% ของไนโตรเจนทั้งหมดต่อปี

นอกจากนี้จากผลการทดลองจะเห็นถึงข้อจำกัดของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเมื่อใช้ร่วมกับดินที่มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวต่ำ ซึ่งทำให้พืชรูขี้อย่างไรก็ตามไม่สามารถเจริญเติบโตได้เมื่อใช้ในปริมาณที่เท่ากับการใช้ปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักในดินสันทรายและแอมริม อาจเกิดจากความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดิน (Soil buffer capacity) ที่ต่ำซึ่งมีส่วนสัมพันธ์กับปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง pH และค่าการนำไฟฟ้าของดินจนกระทบต่อพืชที่ปลูก (Jansen van Rensburg *et al.*, 2009) นอกจากนี้แอนติ (2550) ยังชี้ให้เห็นว่าสมบัติโดยทั่วไปของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจะมีค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าค่อนข้างสูง (Electrical conductivity; EC) ทำให้เกิดการสะสมความเค็มในดินและส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของพืช และยังพบว่าปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้จากการเลี้ยงไส้เดือนด้วยเศษผักผลไม้จะมีค่า EC ผันแปรตั้งแต่ 12-38 dS/m ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่เค็มมาก

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าชนิดดินและปุ๋ยอินทรีย์มีผลต่อปริมาณและอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าดินแม่แดงและดินหางดงเมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยคอกทำให้มีการปลดปล่อยไนโตรเจนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 769 และ 768 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่อัตราการปลดปล่อยเท่ากับ 2.40 และ 2.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน เนื่องจากว่าดินแม่แดงและดินหางดงมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดินสันทรายและดินแอมริมส่งผลให้มีไนโตรเจนที่สามารถปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากกว่า และในขณะเดียวกับการที่ดินแม่แดงและหางดงมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวจะช่วยลดการสูญเสียไนโตรเจนไปจากดินที่เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่ทำให้เกิดกระบวนการ Nitrogen mineralization และ Organic matter mineralization จะลดลง ซึ่งสามารถช่วยลดการสูญเสียของไนโตรเจนจากกระบวนการ Denitrification (Chae and Tabatabai, 1986) ในขณะที่ปุ๋ยคอกมีความสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้สูงสุดเนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและไนโตรเจนรวมทั้งหมดมากกว่าปุ๋ยหมักและปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชกับสมบัติของดินและปุ๋ยอินทรีย์ชี้ให้เห็นว่าปริมาณของอินทรีย์วัตถุใน

ปุ๋ยอินทรีย์เป็นตัวกำหนดความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินในระยะเวลา 1 ปีเมื่อพิจารณาจากสมการที่ได้จากการใช้สมการถดถอยเชิงพหุซึ่งแสดง ค่า Coefficient of determination (Adj. R^2) สูงสุดเท่ากับ 0.885** และ 0.897** ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มงานส่งเสริมดินและปุ๋ย. 2561 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงบำรุงดิน. สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร. แหล่งที่มา: http://www.agriqua.doe.go.th/soil_fert/soil_fer.html, 5 มกราคม 2561.
- ชุดิมนฑ์ ชูพุดชา. 2553. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์กับการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักคะน้าในระบบเกษตรอินทรีย์. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยสุรนารี. 73 หน้า.
- ธงชัย มาลา. 2550. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์, ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน ม.เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 298 หน้า
- ศุภกาญจน์ ล้วนมณี สมฤทัย ต้นเจริญ ภาวนา ลิกขานนท์ และสุปราณี มั่นหมาย. 2553. ศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยผสมอินทรีย์เคมี ภายใต้สภาพความชื้นสนาม: การทดลองย่อย ศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยหมัก. ผลการปฏิบัติงาน ประจำปีงบประมาณ 2553 เล่มที่ 1, กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- อานันต์ ดันโซ. 2550. ไส้เดือนดิน (Earthworm) พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี. 259 หน้า
- Al-Bataina, B.B., T.M. Young and E. Ranieri. 2016. Effects of compost age on the release nutrients. International soil and water conservation research, (4): 230-236.
- Agegnehu, G., A.M. Bass, P.N. Nelson and M.I. Bird. 2016. Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agriculture soil. Science of the Total Environment, 543: 295-306.
- Batista, K., A.A. Giacomini, L. Gerdes, W. T. Mattos, M.T. Colozza, and I.P. Otsuk. 2014. Influence of nitrogen on the production characteristics of ruzi grass. African Journal of Agricultural Research, 9(5): 533-538.
- Bray, R.H. and N. Kurtz, 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 39-45.
- Chae, Y.M. and M.A. Tabatabai. 1986. Mineralization of nitrogen in soils amended with organic wastes. J. Environ. Qual. 15: 193-198.
- Christianson, C.B., R.A. Hedlin, and C. M. Cho. 1979. Loss of nitrogen from soil during nitrification of urea. Can. J. Soil Sci. 59: 147-154.
- Cook, B.G., B.C. Pengelly, S.D. Brown, J.L. Donnelly, D.A. Eagles, M.A. Franco, J. Hanson, B.F. Mullen, I.J. Partridge, M. Peters, and R. Schultze-Kraft. 2005. Tropical forages: an interactive selection tool, CSIRO, DPI&F(Qld), CIAT and ILRI, Brisbane, AU.
- Dui-an, L., Y. Bai-xing, W. Li-xia, D. Zhi-qiang and Z. Yu-bin. 2013. Changes in phosphorus fractions and nitrogen forms during composting of pig manure and rice straw. Journal of integrative Agriculture, 12(10): 1855-1864.
- Georgios, C. P., D.E. Constantinos, and A.K. Victor. 2007. Effect of organic and inorganic fertilizers applied during successive crop seasons on growth and nitrate accumulation in lettuce. Scientia Horticulturae, 111:319-325.
- Jackson, M.L. 1958. Soil chemical analysis. Prentice Hall of Inc, New Jersey. 219-221.
- Jansen van Rensburg, H.G., A.S. Claassens, and D.J. Beukes. 2017. Relationships between soil buffer capacity and selected soil properties in a resource-poor farming. S. Afr. J. Plant Soil, 26(4).
- Sullivan, D.M. and N.D. Andrews. 2012. Estimating plant-available nitrogen release from cover crops. A Pacific Northwest Extension Publication, Oregon State University. 23p.
- Mulvaney, R.L. 1996. "Nitrogen-Inorganic forms" In: D.L. Sparks *et al.* (eds.), Method of soil analysis ; Part 3 Chemical Methods, American society of agronomy, Madison, pp: 1123-1184.

- Nilawonk, W. 2012. Effects of vermicompost on plant-available nitrogen content in organic cropping soils in ChiangMai, Thailand. 5th Annual International Symposium on Agriculture, 16-19 July 2012, Athens, Greece.
- Nilawonk, W, T. Attanandana, A. Phonphoem, R. Yost and X. Shuai. 2008. Potassium release in representative maize-Producing soils of Thailand. Soil Science Society of America Journal 72(3), 791-797.
- Oudart, D., P. Robin, J.M. Paillat and E. Paul. 2015. Modelling nitrogen and carbon interactions in composting of animal manure in naturally aerated piles. Waste Management 46, 588-598.
- Sharma, N.K., R.J. Singh and K. Kumar. 2012. Dry matter accumulation and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) under Poplar (*Populus deltoides*) based agroforestry system. International Scholarly Research Network, ISRN Agronomy, 7 pages.
- Valenzuela-Solano, C. and D.M. Crohn. 2005. Nitrogen mineralization from eucalyptus yardwaste mulch applied to young avocado trees. Biol Fertil Soils, 41:38-45.
- Walkley, A. and I. A. Black .1947. Chromic acid titration method for determination of soil organicmatter. Soil Sci. Amer. Proc. 63:257.
- Yanardag, I.H., R. Zornoza, F. Bastida, A. Buyukkilic-Yanardag, C. Garcia, A. Faz, and A. R. Mernut. 2017. Native soil organic matter conditions the response of microbial communities to organic inputs with different stability. Geoderma, 295: 1-9.