บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 พลวัตไนโตรเจนในดินนา

สภาพดินนาน้ำขัง ไนโตรเจนส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ (Organic-N) และแอมโมเนียม (NH_4-N) มากกว่าไนโตรเจนในรูปของไนเตรท (NO_3-N) ทั้งนี้เพราะในฤดูแล้งดินนาอยู่ในสภาพมีอากาศถ่ายเทสะดวก แอมโมเนียมที่ได้จากการสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์ในกระบวนการ mineralization จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทจากกระบวนการ nitrification ซึ่งไนเตรทจะถูกพืชดูดไปใช้หรือสะสมไว้ในดิน Ponnamperuma (1985) พบว่า ไนเตรทในดินนามีอยู่ในช่วง 5 - 39 ไมโครกรัม/ดิน 1 กก. ทั้งนี้ปริมาณของไนเตรทขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรีย์วัตถุของพืชปลูกหรือวัชพืชที่เกิดขึ้นก่อนการปลูกข้าว ประกอบกับการไถพรวนดินเพื่อปลูกพืชหรือการกำจัดวัชพืชซึ่งทำให้การระบายอากาศในดินดีขึ้นและเอื้ออำนวยให้เกิดกระบวนการ nitrification เพิ่มมากขึ้น และเมื่อมีการไขน้ำเข้าท่วมแปลงนา ไนเตรทจะสูญเสียไปอย่างรวดเร็วจากกระบวนการ denitrification ในรูปของก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) รวมทั้งการถูกชะล้างไปกับน้ำ (leaching) ซึ่ง George *et al.* (1992) ได้อ้างงานวิจัยของ Bacon *et al.* (1991) พบว่าร้อยละ 90 ของไนเตรทที่สูญเสียไปเกิดขึ้นหลังจากมีน้ำขังภายใน 1 - 2 วัน ดังนั้นสภาพการขาดออกซิเจนในดินนา โอกาสที่ทำให้แอมโมเนียมถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทเกิดขึ้นได้น้อย ประกอบกับการสูญเสียไนเตรทเกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็ว ดังนั้นจึงทำให้ดินนามีไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในรูปของแอมโมเนียมมีมากกว่าไนโตรเจนในรูปอื่นๆ

2.2 บทบาทปุ๋ยพืชสดในดินนา

การไถกลบปุ๋ยพืชสดลงไปในดินจะทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุสองกระบวนการตามสภาพแวดล้อม คือ ในสภาพดินที่มีการระบายอากาศดี (aerobic condition) การสลายตัวของอินทรีย์วัตถุจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยมีเชื้อราเป็นตัวการสำคัญซึ่งผลที่ได้จากการสลายตัวนี้จะได้สารอ๊อกไซด์ (oxide) เช่น ไนเตรท ซัลเฟต และคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น และนอกจากนี้ยังมีส่วนที่ยากต่อการสลายตัวรวมอยู่ด้วย กระบวนการที่สองเป็นการย่อยสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในสภาพดินขาดออกซิเจน (anaerobic condition) ซึ่งเกิดได้ช้ากว่ากระบวนการแรก โดยมี anaerobic bacteria เป็นตัวการสำคัญและผลที่ได้จะเป็นพวกก๊าซต่างๆ เช่น แอมโมเนีย

มีเทน ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และกรดอินทรีย์ต่างๆ อินทรีย์วัตถุที่สลายตัวแล้วจากกระบวนการทั้งสอง ซึ่งเรียกว่า ฮิวมัส จะทำให้คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินดีขึ้น นอกจากนี้การสลายตัวของอินทรีย์วัตถุยังปลดปล่อยธาตุอาหารพืชออกมาอย่างช้า ๆ และเป็นประโยชน์กับพืชที่ปลูกตามหลังได้ (Ladha *et al.*, 1992) ทั้งนี้ปริมาณธาตุอาหารพืชจะถูกปลดปล่อยออกมาจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ ชนิด อายุ และส่วนของพืชที่ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลาย Singh *et al.* (1991) ได้รายงานเกี่ยวกับการปลูกพืชตระกูลถั่วชนิดต่างๆ เพื่อใช้เป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าวว่ามีประสิทธิภาพเท่ากับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 3 - 148 กก.N/เฮกตาร์ ทั้งนี้ปริมาณและอัตราการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนของปุ๋ยพืชสด ขึ้นอยู่กับปริมาณของไนโตรเจน สัดส่วนระหว่างธาตุคาร์บอนกับธาตุไนโตรเจน (C/N เรโช) และลิกนินในพืชเป็นสำคัญ ซึ่งเรโชของธาตุทั้งสองกว้าง และปริมาณลิกนินสูง ทำให้มีการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนได้น้อยและช้า กิจกรรมการย่อยสลายปุ๋ยพืชสดโดยจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งนอกจากจะมีการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนแล้ว ปุ๋ยพืชสดยังเป็นแหล่งของธาตุอาหารอื่นๆ ได้แก่ ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม รวมทั้งธาตุอาหารรอง เช่น เหล็ก แมงกานีส เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การปลดปล่อยธาตุอาหารจากการย่อยสลายปุ๋ยพืชสดนี้ ยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและการจัดการ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น วิธีการไถกลบพืช ชนิดของดิน และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Singh *et al.*, 1991)

การใช้ปุ๋ยพืชสดทำให้คุณสมบัติทางเคมีของดินนาเปลี่ยนไป กล่าวคือ ทำให้ค่า Eh (redox potential) ลดลงจาก +200 mV เป็น -200 mV ภายใน 1 - 2 วันหลังจากมีน้ำขัง ค่า E.C (electrical conductivity) สูงขึ้น เนื่องจากการสลายของ NH_4^+ Na^+ K^+ Fe^{2+} Ca^{2+} และ Mg^{2+} เพิ่มมากขึ้น และมีการเปลี่ยนแปลงของ pH โดย pH จะสูงขึ้นในดินที่เป็นกรด (acid soils) และลดลงในดินที่เป็นด่าง (alkaline soils) (Wen and Yu, 1988) แต่โดยทั่วไปดินนาส่วนใหญ่จะเป็นดินกรด การไถกลบปุ๋ยพืชสดทำให้ pH ของดินสูงขึ้นได้อย่างรวดเร็วและเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่งแล้วจะคงที่ ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 7 และ pH ในสภาพนี้จะมีค่าสูงกว่าในสภาพที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยพืชสด การเพิ่มขึ้นของ pH ทำให้ธาตุฟอสฟอรัส เหล็ก และแมงกานีส ละลายออกมาเป็นประโยชน์กับพืชได้มากขึ้น (Ponnamperuma,1972) การเพิ่มอินทรีย์วัตถุจากการใช้ปุ๋ยพืชสดยังทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูงขึ้น (cation exchange capacity, CEC) ทั้งนี้เนื่องจาก ฮิวมัสมีค่า CEC ระหว่าง 150 - 300 meq/ดิน100g ในขณะที่แร่ดินเหนียวมีค่าระหว่าง 3 - 150 meq/ดิน100g (Allison, 1973) นอกจากนี้อินทรีย์วัตถุที่เกิดจากการย่อยสลายปุ๋ยพืชสด ยังทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ ทำให้มีการสร้างเม็ดดินที่เสถียรเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นดินรวมลดลง มีการระบายน้ำดีขึ้น สามารถเก็บรักษาความชื้นได้มากขึ้น (Allison, 1973) อย่างไรก็

ตาม การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในดินนา ไม่เป็นประเด็นที่สำคัญกับการปลูกข้าว เพราะการปลูกข้าวจะมีการไถเตรียมดินในขณะที่ดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำหรือการทำเทือก ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดวัชพืชและกักเก็บน้ำไว้ Singh *et al.* (1991) ได้รายงานว่า ความสามารถการอุ้มน้ำของดินนี้จะมีประโยชน์กับพืชที่ปลูกตามหลังข้าว

2.3 การสะสมน้ำหนักแห้งและการตรึงไนโตรเจนของถั่วเขียว

การปลูกพืชตระกูลถั่วร่วมระบบกับการปลูกข้าวในเขตอาศัยน้ำฝนนั้น เกษตรกรสามารถปลูกเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต และหลังการเก็บเกี่ยวทำการไถกลบใช้เป็นปุ๋ยพืชสดได้ ซึ่งพืชตระกูลถั่วที่สำคัญที่ใช้ปลูกร่วมระบบได้แก่ ถั่วพุ่ม ถั่วเขียว ถั่วลิสง ถั่วเหลือง และถั่วมะแฮะ การปลูกถั่วเขียวก่อนการปลูกข้าวมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตมากกว่าการปลูกถั่วเขียวหลังการเก็บเกี่ยวข้าว เนื่องจากมีการขาดน้ำในระยะการเจริญพันธุ์ (Senthong and Pandey, 1989) ประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนของถั่วเขียวในสภาพดินนา ขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุ และระยะการเจริญเติบโต ตลอดจนปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่นความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความเป็นกรด-ด่างของดิน การขาดน้ำ การมีน้ำขัง เป็นต้น ตลอดจนประสิทธิภาพของเชื้อไรโซเบียม ซึ่ง Ladha *et al.* (1992) รายงานว่าเชื้อไรโซเบียมตามธรรมชาติ มีความทนทานต่อสภาพน้ำขัง และสามารถแข่งขันกับเชื้อไรโซเบียมที่คลุกไปกับเมล็ดได้ดีกว่า อีกทั้งปมที่เกิดจากเชื้อไรโซเบียมตามธรรมชาติมักมีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศได้ต่ำ การตรึงไนโตรเจนจะมีความสัมพันธ์กับการสร้างน้ำหนักแห้งของถั่วเขียว โดยพันธุ์ที่สามารถสร้างน้ำหนักแห้งได้มากทำให้มีการถ่ายเทสารประกอบที่ได้จากการสังเคราะห์แสง ไปยังปมถั่วเพื่อการเจริญของเชื้อไรโซเบียมได้ปริมาณที่มากตาม IRRI (1986) รายงานว่า การปลูกถั่วเขียวสำหรับใช้เป็นปุ๋ยพืชสด เมื่อทำการไถกลบถั่วเขียวอายุ 30 วัน ได้น้ำหนักแห้ง 2.3 ตัน/เฮกตาร์ และมีไนโตรเจนสะสมทั้งหมด 54 กก.N/เฮกตาร์ ในขณะที่ถั่วเขียวอายุ 60 วัน มีน้ำหนักแห้งและไนโตรเจนทั้งหมด 5.5 ตัน/เฮกตาร์ และ 136 กก.N/เฮกตาร์ ตามลำดับ และเมื่อมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตออกไป 0.9 ตัน/เฮกตาร์ คงเหลือเป็นน้ำหนักแห้ง 4.7 กก./เฮกตาร์ และปริมาณไนโตรเจน 100.7 กก.N/เฮกตาร์

ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลกระทบกับการตรึงไนโตรเจน จากการทดลองของ Singleton (1992) อ้างโดย George *et al.* (1992) พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 0 50 100 200 และ 400 μgN/g ทำให้ถั่วเหลืองที่อายุ 33 วัน มีการสะสมไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้น และจากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบว่าเป็นไนโตรเจนที่

ได้จากการตรึงจากบรรยากาศเป็นร้อยละ 99 95 78 42 และ 0 ตามลำดับ ซึ่งเท่ากับ 168 280 251 219 และ 0 กก.N/เฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่น้อย ๆ ในระยะแรกของการเจริญเติบโต (starter N) ทำให้ถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโตดีขึ้น และตรึงไนโตรเจนได้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในสภาพดินนา Wanatabe and Cholitkul (1989) ยังพบว่า ธาตุฟอสฟอรัสจะมีไม่เพียงพอกับความต้องการของการเจริญเติบโตของถั่วและเชื้อไรโซเบียม ทำให้การเจริญเติบโตของถั่วและประสิทธิภาพการตรึงไนโตรเจนลดลง ดังนั้นการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศให้ได้ปริมาณสูงสุด จึงต้องมีการจัดการดินและพืชให้เหมาะสมเพื่อทำให้พืชได้น้ำหนักแห้งมาก การลดปริมาณไนเตรทในบริเวณรากพืช (rhizosphere) และการใช้เชื้อไรโซเบียมที่มีประสิทธิภาพในการแข่งขันกับเชื้อที่มีอยู่ตามธรรมชาติ และสามารถตรึงไนโตรเจนได้ดี ทั้งในสภาพดินที่มีและไม่มีไนเตรท (Peoples and Craswell, 1992)

2.4 ประสิทธิภาพของถั่วเขียวต่อการเพิ่มผลผลิตของข้าว

การไถกลบถั่วเขียวเพื่อใช้เป็นปุ๋ยพืชสดหรือจากการไถกลบซากพืชที่เหลือหลังการเก็บเกี่ยวลงไปในดิน ปุ๋ยพืชสดสามารถเป็นแหล่งของธาตุอาหารและเพิ่มผลผลิตกับข้าวได้ ซึ่งผลผลิตของข้าวที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับอายุของถั่วที่ถูกไถกลบลงไปในดิน กล่าวคือ การไถกลบถั่วเขียวที่อายุ 20 - 40 วัน เป็นเวลา 3 ปี ทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นเทียบกับการไม่มีถั่วเขียวปลูกร่วมระบบเป็นร้อยละ 40 - 143 และถ้ามีการเก็บเกี่ยวผลผลิตถั่วเขียวออกไปจากแปลง ก็ยังทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 (Singh *et al.*, 1991) ทั้งนี้ไนโตรเจนในต้นถั่วเขียวจะเป็นประโยชน์สูงสุด เมื่อมีการไถกลบลงไปในดินในสภาพน้ำขัง ซึ่ง Meelu and Morris (1988) ได้ให้คำแนะนำว่าพืชตระกูลถั่วที่ถูกไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสดมีประสิทธิภาพเท่ากับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนรองพื้นในนาข้าว และจะทำให้ผลผลิตของข้าวได้สูงมากขึ้น ถ้าหากมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มเติมในระยะข้าวกำเนิดช่อดอก นอกจากปุ๋ยพืชสดจะเป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนได้โดยตรงแล้ว ยังเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้กับดิน ช่วยปรับปรุงด้านเคมีและกายภาพของดิน อีกทั้งยังเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยเคมี ลดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของก๊าซอีกด้วย (De Datta and Hundal, 1984)

2.5 สมดุลไนโตรเจนในระบบถั่วเขียว-ข้าว

ปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากสมดุลไนโตรเจนในระบบการปลูกถั่วเขียว - ข้าว จะได้มากหรือน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับปริมาณไนโตรเจนที่ถั่วเขียวสามารถตรึงได้จากบรรยากาศและการสูญ

เสียปริมาณไนโตรเจนจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตออกไป รวมทั้งปริมาณไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยออกมาในขณะที่มีการย่อยสลายและประสิทธิภาพของการใช้ไนโตรเจนของข้าวที่ปลูกตามหลัง Myers and Wood (1987) รายงานว่าไนโตรเจนทั้งหมดในถั่วเขียว 172 กก.N/เฮกตาร์ เป็นการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศ 112 กก.N/เฮกตาร์ สูญเสียไนโตรเจนจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตออกไป 89 กก.N/เฮกตาร์ คงเหลือสำหรับพืชที่ปลูกตามหลัง ได้ใช้ประโยชน์จากสมดุลไนโตรเจนในระบบนี้ 9 กก.N/เฮกตาร์ โดยกำหนดให้ปริมาณไนโตรเจนในรูปสารประกอบอินทรีย์ ถูกเปลี่ยนไปเป็นไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืชได้ร้อยละ 20 และข้าวสามารถใช้ไนโตรเจนจากกระบวนการนี้ได้ร้อยละ 80 ซึ่งเท่ากับการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 27 กก.N/เฮกตาร์ (ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมีของข้าวเป็นร้อยละ 30) อย่างไรก็ตาม การประเมินค่าปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวจะได้รับประโยชน์จากสมดุลไนโตรเจนในระบบการปลูกถั่วเขียว - ข้าว ยากที่จะวัดและติดตามได้โดยตรง จึงมีการประเมินทางอ้อมโดยอาศัยการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนของข้าว ที่ทำให้ได้ผลผลิตเท่ากับการปลูกถั่วเขียวร่วมระบบ (nitrogen fertilizer equivalent, NFE) Singh (1991) พบว่าการปลูกถั่วเขียวเพื่อใช้เป็นปุ๋ยพืชสดในนาข้าวทำให้ผลผลิตข้าวในปีที่ 3 ได้เท่ากับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 100 กก.N/เฮกตาร์ Morris *et al.* (1986) พบว่าการไถกลบถั่วเขียวอายุ 40 - 45 วัน เพื่อใช้เป็นปุ๋ยพืชสดสำหรับข้าว ซึ่งมีไนโตรเจนสะสมทั้งหมด 74 - 78 กก.N/เฮกตาร์ ได้ค่า NFE เท่ากับ 80 กก.N/เฮกตาร์